

## DESARROLLO DE UN PROCESO A ESCALA DE LABORATORIO PARA LA PRODUCCIÓN DE BLOQUES ECOLÓGICOS A PARTIR DE RESIDUOS DEL CULTIVO DEL CHAMPIÑÓN OSTRA (*PLEUROTUS SPP*).

### Development of a laboratory scale process for the production of ecological blocks from residues from the cultivation of the mushroom ostra (*pleurotus spp*)

Camilo Alejandro Pineda Soto<sup>3</sup>, Mateo Alejandro Jácome Pinargote<sup>1</sup>, Julián Andrés Chandi Pozo<sup>2</sup>, Julio Amilcar Pineda-Insuasti<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Richard Montgomery High School. Rockville, MD 20852, United States.

<sup>2</sup> Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Ibarra, Ecuador

<sup>3</sup> Centro Ecuatoriano de Biotecnología y Ambiente (CEBA), Ibarra. Ecuador

Autor para correspondencia: Mateo A. Jácome Pinargote Email: [mateo.jacome@hotmail.com](mailto:mateo.jacome@hotmail.com)

Recibido: 10 Octubre 2021

Aceptado: 11 Diciembre 2021

#### RESUMEN

Se evidenció una baja productividad en la producción del hongo comestible ostra por fermentación en estado sólido de residuos agroindustriales. Se estudió el proceso de fermentación sólida del bagazo de caña con la cepa de *Pleurotus ostreatus* ceba-glii-po-010606 aplicando un diseño experimental factorial 2<sup>2</sup>. Los factores estudiados fueron el tamaño de partícula y el diámetro de la biocelda. Se demostró con un 95 % de confiabilidad la existencia de diferencias significativas entre los factores estudiados, se logró una productividad máxima de 15,34 g

MSH/(kg MSS.día), cuando se trabajó con 1,8 cm de tamaño de partícula y 30,48 cm de diámetro de biocelda. Los resultados logrados representan un aporte tecnológico potencial para el desarrollo industrial del hongo ostra sobre bagazo de caña y una oportunidad para la diversificación de la industria azucarera.

**PALABRAS CLAVE:** bloques, construcción, biomasa, champiñón, *Pleurotus*.

#### INTRODUCCIÓN

A partir de la década del 2000 la bioeconomía empezó a tomar fuerza en los países europeos, sin embargo en América Latina y el Caribe la atención en el tema ha sido escasa, con el paso de los años, el hombre ha pasado por varias etapas económicas, cuando se originó la economía industrial la contaminación se convirtió en un elemento que pasó

desapercibido afectando gravemente el estado de nuestro planeta, es necesario enfrentar el crecimiento acelerado de la población mundial, el cambio climático y el metabolismo lineal de consumo en el que se ha basado nuestro estilo de vida; la bioeconomía se define como un modelo económico basado en la producción de recursos biológicos renovables y la conversión de estos recursos en productos con valor

añadido creando un metabolismo económico sostenible. (Von Braun, 2015).

La bioeconomía se formaliza mediante la producción, utilización y conservación de los recursos biológicos, en estas actividades también se incluyen los conocimientos, la ciencia, la tecnología y la innovación que proporcionen soluciones sostenibles para lograr una economía sostenible que no afecte las condiciones de vida de las futuras generaciones. (International Advisory Council on Global Bioeconomy, 2020).

En la actualidad en América Latina y el Caribe se efectúan estudios sobre la valorización de los residuos agrícolas pues la pandemia por COVID-19 ha mostrado la importancia de vincular la bioeconomía para preservar el futuro de las economías de la región. Adicionalmente el uso de biomasa en generación de energía, en la preparación de alimentos para animales y en bioinsumos de construcción fomentan el desarrollo sostenible por medio de la bioeconomía. (Aragón et al., 2020).

Con la aparición de la bioeconomía se desarrollaron usos para la biomasa y residuos de la agricultura, se produjo la aparición de nuevos materiales de construcción que permiten el progreso de la arquitectura como ciencia. Antiguamente los materiales usados en la construcción eran materiales brindados por la naturaleza y se los encontraba cerca al sitio de trabajo, así se tienen sistemas constructivos como el tapial que consiste en crear muros portantes a base de tierra arcillosa húmeda y paja compactada en un encofrado de madera, el adobe que es la elaboración de bloques de tierra arcillosa húmeda y paja apilados y unidos con la misma mezcla. Sin embargo, con la aparición del hormigón, el acero, el vidrio, el bloque de concreto y el ladrillo han cambiado radicalmente la forma de crear arquitectura, pues la aparición de estos materiales ha traído consigo propiedades físicas diferentes con un

alto costo ambiental. En la actualidad se busca erradicar o disminuir el impacto ambiental, creando proyectos sustentables y sostenibles, tal es así que arquitectos reconocidos buscan la implementación de nuevas tecnologías en sus proyectos y nuevos materiales ecológicos.

Se presenta por ejemplo los bloques de HEMPCRETE creados a base de cáñamo, los mismos cuentan con una gran fracción de biomasa y una pequeña de cemento dando como resultado un material ligero y duradero, además gracias al cáñamo se absorbe de CO<sub>2</sub> de la atmósfera disminuyendo el impacto ambiental de la construcción. (Arrigoni et al., 2017) Este material de construcción de base biológica permite mitigar el calentamiento global y puede ser utilizado en paredes, suelo y techo, es un bien aislante térmico y cuenta con capacidades de transferencia y almacenamiento de humedad, adicionalmente contribuye a la reducción de residuos luego de su vida útil por ser mayoritariamente elaborado con un componente natural. (Collet et al., 2013).

Según Arehart et al. (2020) los bloques de HEMPCRETE presentan emisiones negativas de CO<sub>2</sub> es decir almacenan el carbono logrando que los edificios que usan el material sean de bajas emisiones pues se estima que se reducen entre el 18,5% y el 38,4% de las emisiones iniciales mediante el proceso de carbonatación, mostrando los grandes beneficios de aplicar materiales naturales en la arquitectura moderna, por otro lado, el micólogo Phillip Ross ha estudiado por años las diversas posibilidades para el uso de los hongos, partiendo de sus propiedades físicas ha concluido que este puede usarse para la creación de envases, muebles, e incluso desarrollo el prototipo de un bloque sólido de micelio. (Fernández et al., 2019).

¿Pero cómo es posible que el micelio se convierta en un producto altamente resistente? La degradación de la materia orgánica a base del micelio produce enzima

que actúan como un pegamento el cual compacta la materia y según la cepa del micelio este puede moldearse. Varias investigaciones científicas han concluido que el micelio tiene propiedades mecánicas y físicas similares a las del material poliestireno expandido con un plus ambiental que es la biodegradación del mismo. (Xing et al., 2018) El uso de micelio en la arquitectura ha permitido la creación de elementos como el Hy-Fi que en 2014 ganó la 15 edición del Programa de Jóvenes Arquitectos del MoMA, en donde se construyó un pabellón con 10000 bloques de micelio hechos a base de desechos de maíz y apoyados en una estructura de madera, cabe mencionar también el Terreform One, un movimiento de científicos, artistas y arquitectos que promueven actividades en New York como la construcción de un modelo arquitectónico del New Museum de New York con ladrillos de micelio mezclados con aluminio reciclado. (Illana, 2016) Finalmente se concluye que el micelio es un elemento de construcción similar a los bloques o ladrillos comunes, no es un elemento estructural pues no cuenta con la resistencia adecuada a la compresión, sin embargo ¿Qué pasaría si combináramos el micelio con materiales orgánicos antiguamente usados en la construcción? ¿Las propiedades físicas y mecánicas aumentarían o solo debilitarían la compactación del material?

Tras la evidencia de proyectos arquitectónicos con micelio, en la presente investigación se plantea experimentar el comportamiento del hongo mezclado en porcentajes con algunos materiales de construcción orgánicos usados en la antigüedad, esperando que las propiedades físicas y mecánicas de los

productos finales aumenten en comparación con un bloque de micelio sin ningún aditivo, además se busca desarrollar un bioproceso a escala de laboratorio para la producción de un bloque constructivo a partir del champiñón ostra (*leurotus spp*), mediante el análisis de bioprocesos, que permita el máximo aprovechamiento de la materia prima en el marco del desarrollo sustentable.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se investigó a escala de laboratorio la producción de bloques ecológicos fabricados a partir de residuos del cultivo del champiñón ostra (*Pleurotus ostreatus*). El trabajo experimental se realizó en la planta piloto de Biotecnología Fúngica del Centro Ecuatoriano de Biotecnología del Ambiente (CEBA), localizada en la ciudad de Ibarra, a 2200 metros sobre el nivel del mar y con una temperatura promedio de 18 °C. Los análisis químicos se realizaron en la empresa Biodiversity®.

### Cepa, inóculo, sustrato y residuo

Como inóculo se utilizó el micelio del hongo ostra de producción nacional de marca comercial BIODIVERSITY®, preparado en granos de trigo (*Triticum aestivum L.*) con la cepa nativa de *Pleurotus ostreatus* cepa- gliie-po-010606, perteneciente a la colección de cultivos BIOBANCO-CEBA. Como sustrato para el cultivo se utilizó residuos de la cosecha de frijol (*Phaseolus vulgaris*) cultivado en la zona del Valle del Chota de la ciudad de Ibarra. Luego de la cosecha del champiñón ostra se genera un residuo orgánico el cual se utilizó para la fabricación de los bloques ecológicos de este trabajo.



Foto 1. Biomasa de residuos de frejol cultivada en el valle del chota, Ecuador y cultivo de champiñón ostra (*Pleurotus* spp.)

### **Barro de construcción y cal**

Se utilizó barro de construcción (60% arena - 40% Arcilla) sin marca, adquirido en ferretería de la ciudad de Ibarra. La cal utilizada fue de marca Chimborazo adquirida en ferretería de la ciudad de Ibarra

### **Diseño experimental y análisis estadístico**

Se estableció como unidad experimental un bloque ecológico de 2000 g y se definieron como factores de estudio el uso del barro de construcción entre un 20 y 30 % y la cal entre un 20 y 30 %. Se establecieron como parámetros de operación un bloque geométrico de 20x10x5 cm, un tiempo de secado natural de 7 días, temperatura de 18 °C y presión de 101,3 KPa. La variable de respuesta seleccionada fue la resistencia del bloque, medida en Kg/cm<sup>2</sup>. Se utilizó el software estadístico STATGRAPHICS CENTURIÓN-19, para crear un diseño experimental factorial estándar 2<sup>2</sup>, con tres replicas, completamente aleatorio, con un total de 12 tratamientos experimentales.

### **Procedimiento**

Se procede con la selección y pesaje de las materias primas e insumos (residuos de cultivo

de champiñón ostra, cal, barro, agua y cola blanca), luego se realiza el mezclado manual de los materiales en un recipiente de plástico de 20 l y se procede con el moldeado del bloque ecológico en los moldes construidos de madera, seguido del secado natural, luego del secado se extrae el bloque ecológico del molde y se procede con su almacenamiento y pruebas de resistencia.

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En la figura 1, se presenta la muestra de cal utilizada en el experimento, su composición química promedio viene dada por 90% de CaO, 80% de CaO disponible, 3% de SiO<sub>2</sub>, 3% de MgO, 0,1 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 0,3% de azufre, 1% de humedad. De igual forma se puede ver la muestra de barro de construcción de composición 60% Arena - 40% Arcilla. Se aprecia también la muestra de residuos del cultivo del champiñón ostra, en su estructura se encuentra la siguiente composición: Humedad 15,13%; Materia seca 84,87%; Cenizas 8,37%; Fibra Cruda 45,35%; Grasa (EE) 0,56%; Proteína bruta 1,51%; Relación Carbono/Nitrógeno (C/N) 120,36%.



En la Tabla I, se presenta la matriz de resultados experimentales, como se puede apreciar se logra un mínimo de 8,75 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia y un máximo 10,75 kg/cm<sup>2</sup>, cuando se trabaja con una 20% de barro y 20 % de cal,

este resultado es mayor a los reportados en la literatura para bloques ecológicos (3), debido principalmente al mayor tiempo de retención del agua de la biocelda de mayor diámetro.





TABLA 1 MATRIZ DE RESULTADOS EXPERIMENTALES

<b>BLOQUE</b>	<b>Barro</b>	<b>Cal</b>	<b>Resistencia</b>
	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>
1	20	30	9,87
1	30	20	9,24
1	20	20	10,75
1	30	30	8,75
2	30	30	8,86
2	20	20	10,45
2	20	30	9,93
2	30	20	9,17
3	30	20	9,31
3	20	30	9,76
3	20	20	10,63
3	30	30	8,91

En la Tabla 2, se presenta el análisis de varianza para la resistencia, La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Resistencia en piezas separadas para cada uno de los efectos. entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 3 efectos tienen un valor-P menor que 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95,0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 98,5853% de la variabilidad en Resistencia. El estadístico R-

cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 97,4063%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,113284. El error medio absoluto (MAE) de 0,0661111 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5,0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5,0%.

TABLA 2 ANÁLISIS DE VARIANZA PARA RESISTENCIA

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Barro	4,26021	1	4,26021	331,96	0,0000
B:Cal	1,00341	1	1,00341	78,19	0,0001
AB	0,0954083	1	0,0954083	7,43	0,0343
bloques	0,00666667	2	0,00333333	0,26	0,7795
Error total	0,077	6	0,0128333		
Total (corr.)	5,44269	11			

R-cuadrada = 98,5853 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 97,4063 por ciento

PRESS = 0,308

R-cuadrado (predicho) = 94,341 por ciento

Error estándar del est. = 0,113284

Error absoluto medio = 0,0661111

Estadístico Durbin-Watson = 3,35613 (P=0,9705)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,696537

En la figura 3, se presenta el Diagrama de Pareto estandarizado para resistencia, lo cual corrobora que existe diferencia significativa entre el uso del barro y la cal y la correlación barro / cal.

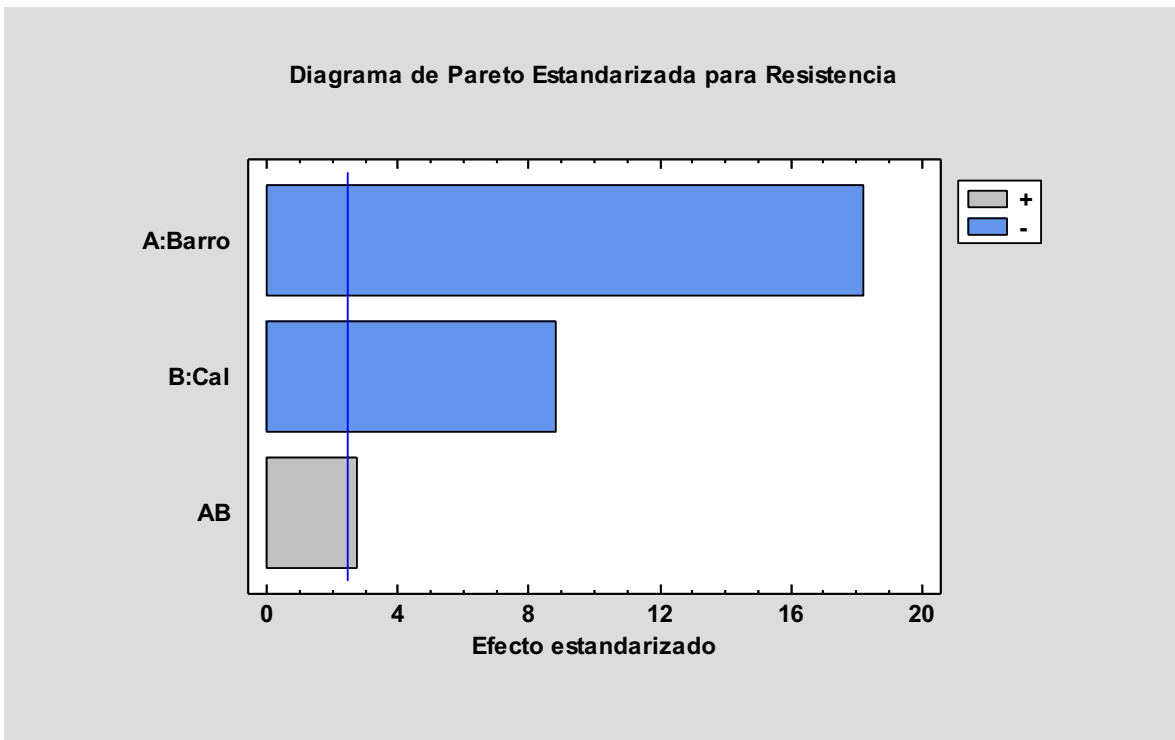


Figura 3. Diagrama de Pareto Estandarizado para Resistencia

Como se observa en la figura 4 de superficie de respuesta estimada, a medida que disminuye

la cantidad de barro y la cal se logra un óptimo en el valor del intervalo estudiado.

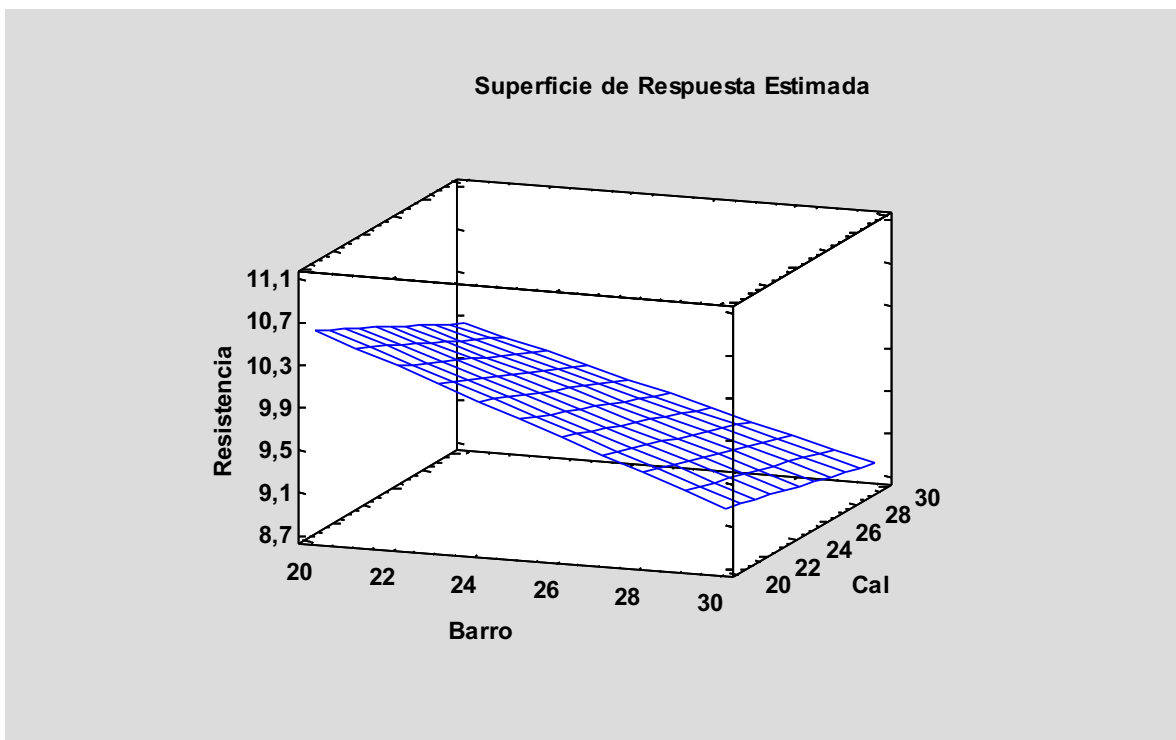


Fig. 4. Superficie de respuesta estimada



**Modelo matemático empírico ajustado a los datos:**

$$\text{Resistencia} = 16,29 - 0,208333 * \text{Barro} - 0,147 * \text{Cal} + 0,00356667 * \text{Barro} * \text{Cal}$$

Con la ecuación anterior se predice que la resistencia óptima en el rango estudiado es de 10,61 kg/cm<sup>2</sup>, cuando se opera con 20% de cal y 20 % de barro.

**CONCLUSIONES**

Existe diferencia significativa para el factor de estudio barro y cal en el proceso de fabricación del bloque ecológico con residuos del cultivo del champiñón ostra (*Pleurotus ostreatus*), la resistencia máxima lograda es de 10,61 kg/cm<sup>2</sup>, cuando se opera con 20% de cal y 20

% de barro. El residuo del cultivo de éste tipo de champiñón, muestra ser una materia prima potencial para la producción de bloques ecológicos y representa una alternativa para la construcción ecológica de bajo costo.

**AGRADECIMIENTO**

Los autores expresan su agradecimiento al Centro Ecuatoriano de Biotecnología y Ambiente y la empresa Biodiversity® por la cooperación en la realización de la investigación.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Aragónés, M., Girón, C., Fajardo, M., Chavier, N., Páez, D., Ureña, M., Moreno, J., García, M., & de la Viña, G. (2020). *Tecnologías de la bioeconomía para valorizar residuos y desperdicios: oportunidades de negocio para la agricultura familiar* (H. Priscila (ed.)). Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Arehart, J. H., Nelson, W. S., & Srubar, W. V. (2020). On the theoretical carbon storage and carbon sequestration potential of hempcrete. *Journal of Cleaner Production*, 266, 121846. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121846>
- Arrigoni, A., Pelosato, R., Melià, P., Ruggieri, G., Sabbadini, S., & Dotelli, G. (2017). Life cycle assessment of natural building materials: the role of carbonation, mixture components and transport in the environmental impacts of hempcrete blocks. *Journal of Cleaner Production*, 149, 1051–1061. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.161>
- Collet, F., Chamoin, J., Pretot, S., & Lanos, C. (2013). Comparison of the hygric behaviour of three hemp concretes. *Energy and Buildings*, 62, 294–303. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.03.010>
- Fernández, N., Gaggino, R., Kreiker, J., & Positieri, M. J. (2019). Desarrollo Tecnológico de Paneles Multicapa a partir de Residuos Lignocelulósicos Bioligados con Micelio de Hongos. *Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN*, 4, 4–10. <https://doi.org/10.33414/ajea.4.370.2019>
- Illana, C. (2016). Hifas de hongos como material de construcción II. *Revista de Micología YESCA*, 28(December), 19–22. <http://dspace.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/20741/24.%0AHongos%0Acomo%0Amaterial%0Ade%0Aempaquetado.pdf?sequence=1>
- International Advisory Council on Global Bioeconomy. (2020). *Global Bioeconomy Policy Report (IV)*:

*A decade of bioeconomy policy development around the world* (Issue IV).

Von Braun, J. (2015). Bioeconomía y desarrollo sostenible - dimensiones. In *Bioeconomía: nuevas oportunidades para la agricultura* (48th ed., pp. 7–13). Naciones Unidas.

Xing, Y., Brewer, M., El-Gharabawy, H., Griffith, G., & Jones, P. (2018). Growing and testing mycelium bricks as building insulation materials. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 121(2). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/121/2/022032>