



## Departamento de Ingeniería bioquímica

Universidad Icesi

---

### Micoempaquetando con residuos: un caso aplicado a la valorización de cáscaras de chontaduro y bagazo de caña del Valle del Cauca.

**Isabella Bedoya, Daniela González, Andrés Ceballos, Carlos Andrés Álvarez<sup>a</sup>**

*Departamento de Ingeniería Bioquímica, Universidad ICESI, Santiago de Cali, Colombia.*

#### ABSTRACT

---

En los últimos años, la producción y consumo de materiales de base petroquímica ha aumentado significativamente, por lo que la búsqueda de alternativas sostenibles se convierte en una prioridad para las empresas de base biotecnológica. Los biomateriales a base de micelio son el resultado de aprovechar el potencial de biomasa lignocelulósica empleando hongos capaces de colonizar dichos compuestos. La línea investigativa de la Universidad Icesi se enfoca en fabricar estos materiales aprovechando residuos agroindustriales del Valle del Cauca como lo son el polvillo de bagazo de caña y cáscaras de chontaduro empleando cepas endémicas de Colombia. Sin embargo, hasta el momento no se ha identificado la influencia de estos sustratos sobre el crecimiento micelial de cada cepa. Así, este proyecto pretende evaluar el aporte de los polímeros que componen los sustratos lignocelulósicos para el crecimiento micelial en la obtención del biomaterial; además, se realizó una caracterización de los sustratos y las matrices colonizadas implementando una extracción sólido/líquido, hidrólisis ácida, determinación de azúcares y de proteína. Se determinó que la cepa *G. gibbosum* presenta un mayor consumo y liberación de gases (57,85% de disminución del peso) sobre una matriz con una composición similar a la presentada por la mezcla. Por otro lado, *P. ostreatus* mostró una mayor liberación de gases (45,63% disminución del peso) en presencia de una matriz formulada con harina de chontaduro. Esta última mostró un crecimiento más homogéneo al interior de la matriz sólida.

#### ARTICLE INFO

---

*Palabras clave: Caracterización, consumo de sustratos, crecimiento micelial, matriz colonizada, biomateriales, residuos agroindustriales.*

## 1. Introducción

Los materiales de base petroquímica son fundamentales para la mayoría de los sectores productivos dado que tienen numerosas aplicaciones y bajos costes de elaboración. No obstante, sus volúmenes de consumo alcanzan los 1.25 millones de toneladas al año en Colombia (Greenpeace Colombia, 2019) e implican gastos energéticos de aproximadamente 1.58 kW/h por kilogramo de plástico producido (Vargas et al., 2015); además, su degradación tarda entre 100 y 1000 años (Girometta et al., 2019), lo que incrementa el deterioro de ecosistemas terrestres y marítimos. Por esta razón, investigaciones como las realizadas por Ghazvinian et al., Ongpeng et al. y Alemu et al. se enfocan en la producción de biomateriales a partir de hongos filamentosos, en donde se incorpora biomasa lignocelulósica de residuos de segunda generación y al mismo tiempo se aprovecha el potencial del micelio fúngico como aglutinante natural para elaborar materiales sostenibles que en la actualidad están revolucionando los sectores industriales de embalaje y construcción (Luna & Muñoz, 2019).

Estos biomateriales se componen de redes filamentosas de hongos de la podredumbre blanca, los cuales pertenecen al grupo Basidiomicetes, que por lo general, presentan la capacidad de producir enzimas lignocelulolíticas, las cuales le confieren la adaptabilidad para crecer en sustratos orgánicos con alto contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina (Lozada & Gaitan, 2020). También son considerados como organismos eficientes por su versatilidad y adaptabilidad en las condiciones de crecimiento (Juma et al., 2021); aportándole características de rigidez y dureza al sustrato que coloniza, en este caso, el biomaterial. Por lo general, estos materiales se caracterizan por ser similares a las espumas como el poliestireno expandido y se usan principalmente para aplicaciones limitadas de embalaje y construcción; sin embargo, el desempeño mecánico de estos materiales varía significativamente y se rige por diferentes aspectos ambientales y estructurales (Jones et al., 2017).

En algunos estudios se ha evaluado el crecimiento de diferentes hongos filamentosos sobre residuos agroindustriales como el bagazo de caña, cascarilla de café, aserrín de madera y pasto de corte seco (Bautista & Oliveros, 2018). El empleo de estas fuentes naturales resulta una idea atractiva dada su composición lignocelulósica al tiempo que se acoge a los requerimientos de la ONU sobre la simbiosis industrial “Intercambio de subproductos entre entidades tradicionalmente separadas” (Ortega et al., 2012). Particularmente en Colombia, una de las mayores productoras agrícolas a nivel nacional, la industria azucarera produce como uno de sus mayores residuos el bagazo de caña, el cual, es empleado para la producción de papel, y este a su vez genera alrededor de 450 toneladas de polvillo de bagazo como residuo por cada 1440 ton de bagazo procesado, de los cuales, una parte son empleados como combustible alternativo en calderas mientras que lo restante se convierte en toneladas de residuos no aprovechados (MYCETUM, 2010). Otro ejemplo similar es la producción de chontaduro, en esta se procesan alrededor de 40 mil toneladas al año en Colombia y se desperdician aproximadamente 4,4 mil toneladas al año de cáscaras, las cuales presentan altos porcentajes de componentes aprovechables como la lignina, celulosa y almidón (Martínez et. Al 2017). Así que, al hacer uso de estos residuos como sustratos en el proceso de producción del biomaterial, es posible aprovechar los diferentes componentes presentes en los residuos agroindustriales que normalmente representan una fuente de contaminación por su difícil degradación como la lignina, celulosa y hemicelulosa. [opción]

El desarrollo de metodologías de producción de estos biomateriales se ha venido estableciendo desde hace aproximadamente 15 años (Sydor et al., 2021). Sin embargo, aún no se cuenta con información suficiente que permita evaluar la influencia que presentan las materias primas empleadas y su composición sobre el crecimiento del micelio a través de la matriz sólida. En ese sentido, continuando con la línea de investigación de la Universidad Icesi, este proyecto pretende evaluar el aporte de los polímeros que componen los sustratos lignocelulósicos para el crecimiento micelial en la obtención del biomaterial. De esta forma, se espera que los resultados aporten a futuras investigaciones encaminadas a producir biomateriales funcionales.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Sustratos

Se usaron residuos de chontaduro y polvillo de bagazo de caña proporcionados por las empresas Frudelpa-Frutos del Pacífico S.A.S y PROPAL S.A respectivamente.

Para obtención de la harina de chontaduro se seleccionaron las cáscaras y fueron llevadas a un horno de convección aumentando la temperatura progresivamente de 60 a 110°C por 5 horas. Posteriormente, las cáscaras secas fueron llevadas a un molino para la obtención de la harina con tamaño de partícula de hasta 2 mm.



**Imagen 1.** Sustratos: Semillas de trigo (A), Polvillo de bagazo de caña (B) Harina de chontaduro (C).

### 2.2. Cepa

Las cepas *Pleurotus ostreatus* ET-06 y *Ganoderma gibbosum* EBB-045 suministradas por el cepario de la Universidad Icesi fueron cultivados en cajas petri con PDA (Papa dextrosa agar) a 27°C por 5 días. Pasado este tiempo, el desarrollo del inóculo se realizó en semillas de trigo húmedas trituradas y con cocción previa, inoculadas con el micelio cultivado en las cajas petri por 5 días más a 25°C.



**Imagen 2.** Cepas: *Pleurotus ostreatus* (A) y *Ganoderma gibbosum* (B)

### 2.3. Determinación del consumo de sustrato por gravimetría.

Se realizaron tres experimentos por triplicado empleando como sustrato únicamente harina de chontaduro, polvillo de bagazo de caña y una mezcla 1:1 de estos dos respectivamente como se muestra en la **tabla 1**. Adicionalmente, a cada tratamiento se le adicionó 40 mL de agua tipo II y 800 mg de CaCO<sub>3</sub>. Cada uno de los tratamientos fue inoculado con 6 gramos de semillas de trigo colonizadas por el microorganismo (lo que equivale al 15% de inóculo aproximadamente) dando inicio a la fermentación en estado sólido (FES). Pasados 23 días (tiempo necesario para alcanzar una colonización mayoritaria del biomaterial en una FES) los tratamientos fueron secados en un horno de convección alcanzando los 110°C por 5 horas. (Rodríguez & Enríquez, 2021). Con el fin de realizar un seguimiento gravimétrico de la fermentación, se realizó la medición del peso seco al inicio (día 0) para los primeros 9 experimentos y al final de esta (día 23) para los experimentos restantes que completaron la fermentación en estado sólido, con un total de 18 réplicas para cada cepa que se observa en la **figura 1**.

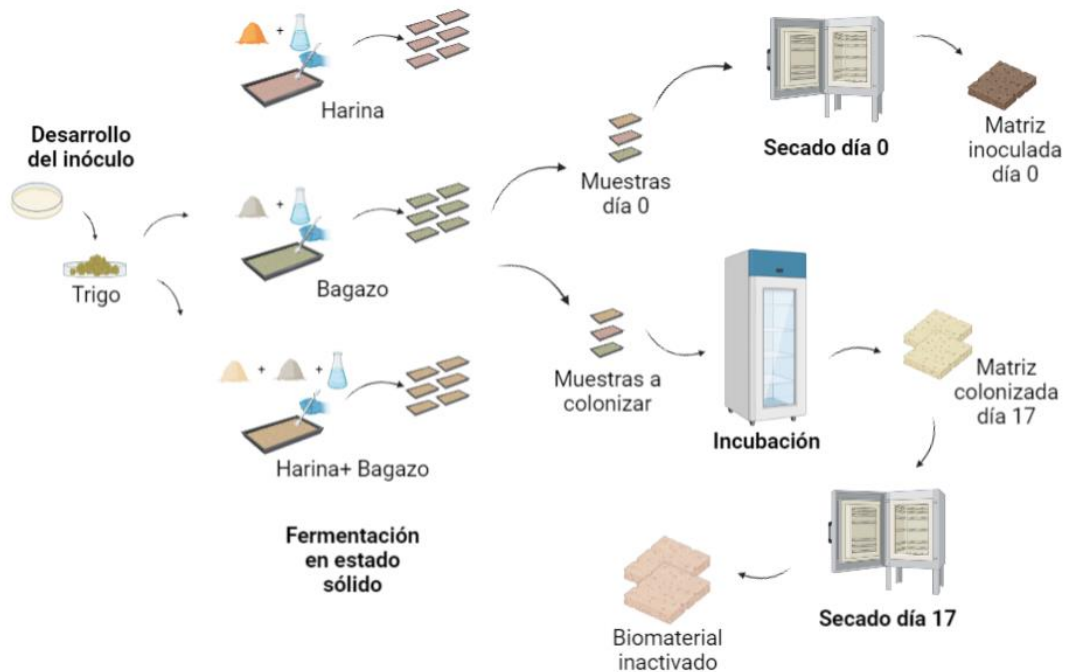
**Tabla 1.** Diseño de experimentos.

Experimento	Peso del sustrato [g]		No. de réplicas	
	Harina de chontaduro	Polvillo de bagazo	Pesado Día 0	Pesado Día 23
H <sup>a</sup>	40	0	3	3
B <sup>b</sup>	0	40	3	3
M <sup>c</sup>	20	20	3	3

<sup>a</sup> Harina de chontaduro, <sup>b</sup> polvillo de bagazo y <sup>c</sup> mezcla.

### 2.4. Análisis morfológico

Para la comparación cualitativa entre las dos cepas, algunos de materiales diseñados con la formulación de mezcla fueron preparados como los experimentos descritos en el numeral 2.3, y posteriormente fueron termoprensados después del secado según la metodología presentada por Devera & Peña, 2021.

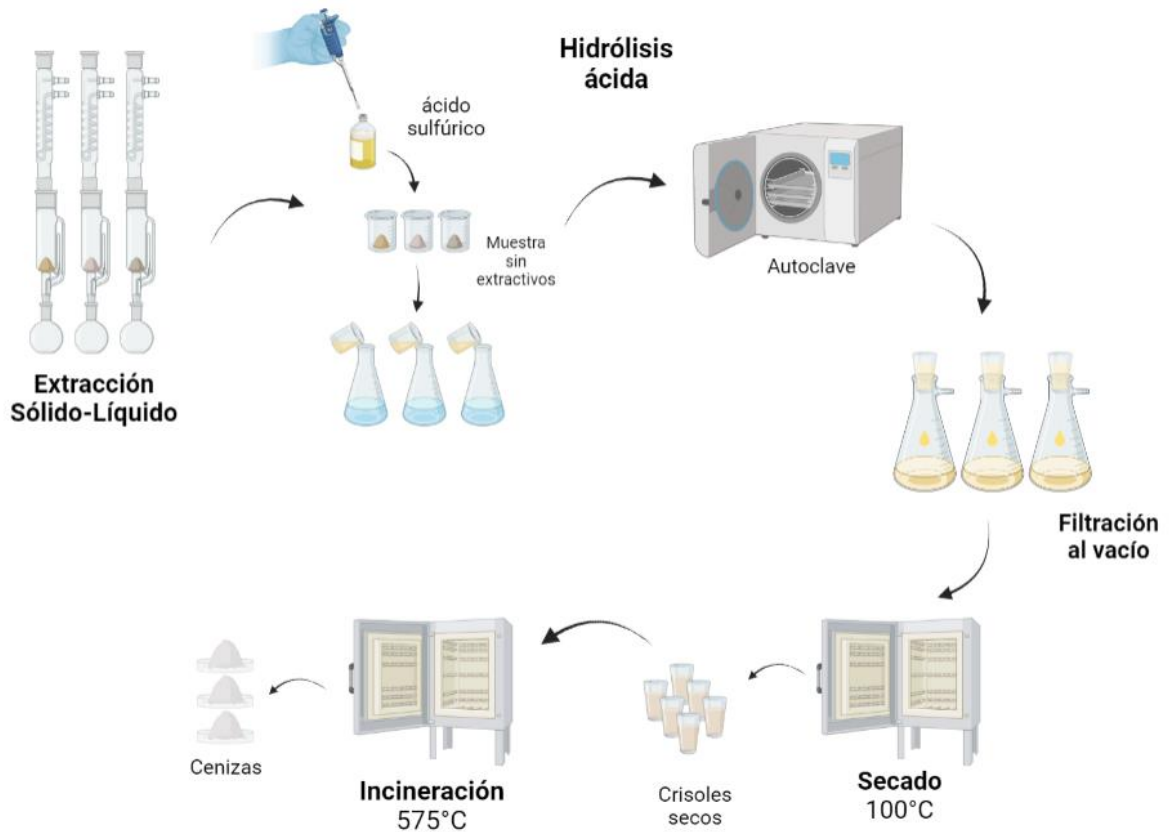


**Figura 1.** Metodología para la determinación del consumo de sustrato por gravimetría

## 2.5. Caracterización de los sustratos y matriz colonizada.

Los sustratos puros (harina de cáscaras de chontaduro, polvillo de bagazo y harina de trigo), al igual que las matrices colonizadas y secadas fueron tamizados hasta obtener un tamaño de partícula de entre 0,2 y 0,8 mm. Se tomaron 4g de cada una de las muestras para ser sometidas a una extracción sólido/líquido con el método de Soxhlet empleando como solventes agua tipo HPLC y etanol anhidro al 99.8% para la separación de los extractivos solubles y no solubles en agua respectivamente. A las muestras resultantes se les realizó un proceso de hidrólisis ácida para la caracterización de lignina, glucano y xilobarbinosa presentes en la muestra empleando el protocolo NREL/TP-510-42618 presentado por National renewable energy laboratory (Sluiter et al., 2008) esquematizado en la figura 2.

Por otro lado, a las muestras sin extractivos también se les determinó el porcentaje de proteína por el método Kjeldahl.



**Figura 2.** Metodología para la caracterización de los sustratos y matriz colonizada por hidrólisis ácida.

### 3. Resultados y discusión.

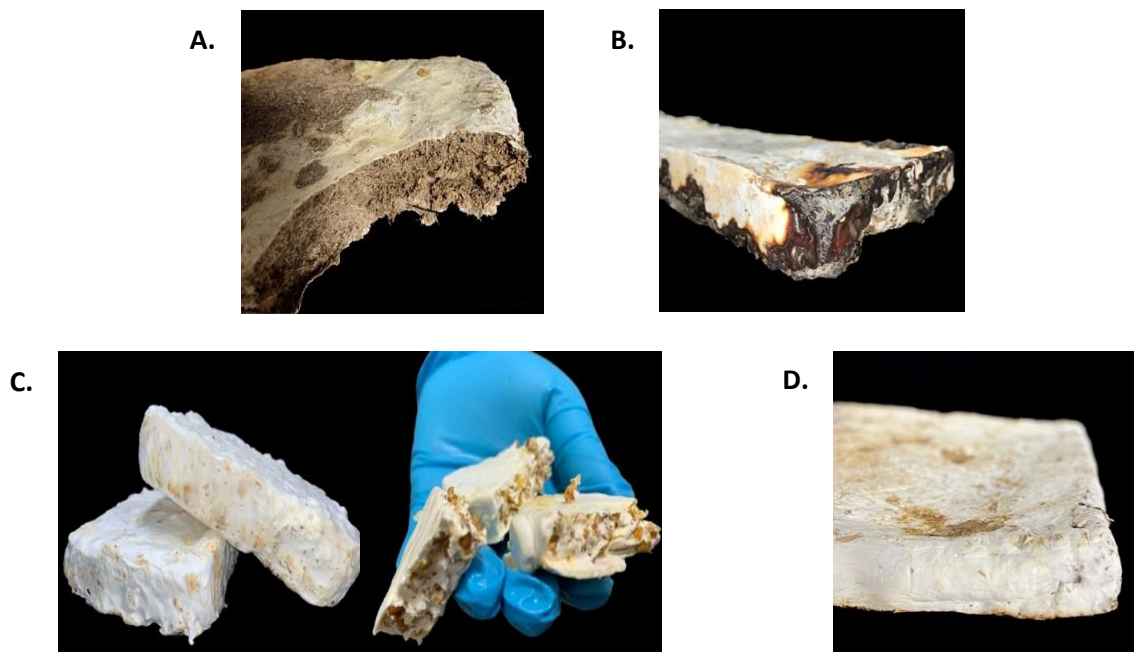
#### 3.1. Comparación del crecimiento y textura del biomaterial para cada cepa.

Los materiales sin prensar mostrados en la imagen 3 presentan un aspecto esponjoso, suave y poco rígido, mostrándose más flexibles al tacto en comparación con los prensados. Por otro lado, los prensados en caliente tienen mayor rigidez y dureza debido a la quitina de la pared celular de los hongos. Este biopolímero hidrofóbico aporta resistencia y protección, generando una capa impermeable al biomaterial cuando se da una colonización completa (Ruiz, 1993).

Los materiales de *P. ostreatus* exhiben una textura algodonosa blanca en cada región de la matriz que evidencia una colonización completa, tal como se muestra en la imagen 3.C, lo que indica un crecimiento total de las hifas a través de los espacios interpartícula del sustrato. Por otro lado, la muestra colonizada por la cepa *G. gibbosum* muestra una textura más aterciopelada y su colonización es superficial debido a que las hifas del micelio no logran penetrar toda la matriz (imagen 3.A). Desde el cultivo en caja petri (véase en imagen 2), el crecimiento hifal de las cepas estudiadas muestra diferencias en color y textura. Por un lado, *P. ostreatus* tiende a crecer no solo de manera superficial, sino que se extiende verticalmente de forma ascendente hasta llenar el espacio, mostrando unas hifas delgadas y flexibles; este tipo de crecimiento puede favorecer la colonización a través del material sólido ya que las hifas pueden abrirse camino a través de un sustrato sólido de manera mucho más fácil en comparación con la cepa de *Ganoderma*, la cual, desde su reactivación en PDA crece únicamente sobre la superficie del agar y sus hifas no se alcanzan a percibir claramente, lo que puede indicar un aglomeramiento de estas dificultando un crecimiento a través de la matriz de residuos sólidos.

Para ambas cepas, el oxígeno resulta ser un nutriente importante para el crecimiento y desarrollo del micelio vegetativo (Melo, 2021), sin embargo, el grosor que presenta el material dificulta la transferencia de masa hacia el interior de este impidiendo un crecimiento total de la matriz. Los experimentos parecen demostrar que, a pesar de manejar las mismas condiciones ambientales, la DBO varía entre las especies, siendo menor la de *P. ostreatus*.

Finalmente, se evidencia una variación en el color para los materiales colonizados por la cepa *G. gibbosum* en comparación con los colonizados por *P. ostreatus*. Estos primeros presentan tonalidades café oscuras que pueden atribuirse a la cepa empleada, ya que estas, en su cuerpo fructífero presentan tonos marrones, naranjas y rojizos (Luangharn et al., 2022) mientras que el segundo tiene una tonalidad blanquecina. Además, es posible que las reacciones que involucran azúcares y proteínas presentes en la pared celular, conocidas como reacciones de Maillard también influyan en el cambio de tonalidad del material colonizado por ambas cepas, especialmente, en los materiales prensados (Freek et al., 2019).



**Imagen 3.** Biomateriales obtenidos del crecimiento micelial de *Ganoderma gibbosum* sin prensado (A.) y prensado (B.) y el crecimiento micelial de *Pleurotus ostreatus* sin prensado (C.) y prensado (D.).

### 3.2. Determinación de humedad y seguimiento gravimétrico

Los porcentajes de humedad que se resumen en la tabla 2, obtenidos al inicio y al final de la fermentación fueron calculados a partir de datos históricos del comportamiento de la humedad de los lotes de sustratos empleados, puesto que dichas mediciones realizadas experimentalmente indicaron que el secado pudo haber estado incompleto. Al ser materiales de espesor superior a dos centímetros, sumado con el recubrimiento hidrofóbico que proporciona el micelio, no se logró retirar la totalidad de humedad presente en el interior en tan solo 5 horas de secado.

**Tabla 2.** Análisis gravimétrico.

Matriz	Humedad inicial	Humedad final	% Disminución Base seca <sup>a</sup>
--------	-----------------	---------------	--------------------------------------

<i>Ganoderma gibbosum</i>	<b>Harina</b>	48,4%	61,7%	48,89%
	<b>Bagazo</b>	58,4%	63,7%	27,67%
	<b>Mezcla</b>	53,5%	68,1%	57,85%
<i>Pleurotus ostreatus</i>	<b>Harina</b>	47,5%	60,5%	45,63%
	<b>Bagazo</b>	58,9%	67,3%	38,50%
	<b>Mezcla</b>	51,4%	57,2%	29,22%

<sup>a</sup> El % de disminución en base seca indica la variación en el peso seco al culminar la fermentación con respecto al peso seco inicial.

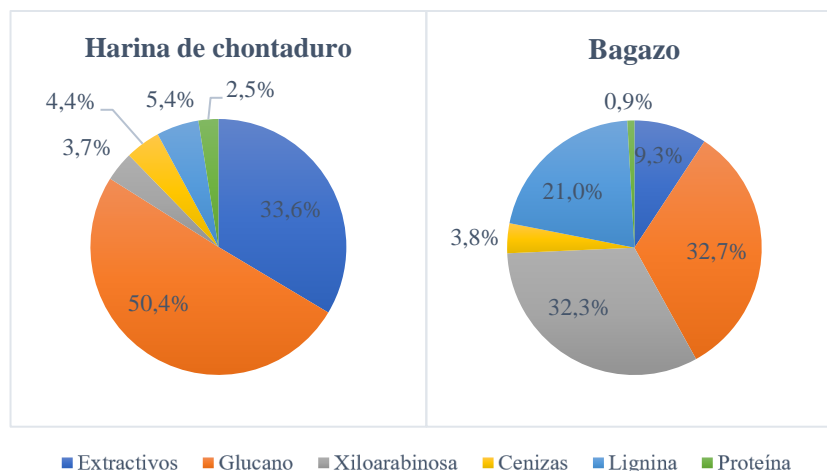
La humedad presentada al inicio de la fermentación para la matriz formulada con bagazo es mayor en comparación con las de harina y mezcla debido a la baja densidad que presenta este sustrato, sin embargo, esta proporción cambia en el momento en el que culmina la fermentación. De las matrices colonizadas por *Ganoderma*, La mayor variación en términos del peso seco se obtuvo con la formulación de mezcla, lo que indica que esta finalmente fue la que presentó un mayor consumo de los sustratos liberando una mayor cantidad de gases a pesar de presentar una mayor humedad final. Esto último puede deberse a que el material retuvo humedad del ambiente circundante. A diferencia de la mezcla, la matriz formulada con bagazo obtuvo el menor porcentaje de disminución en peso, demostrando un menor consumo de nutrientes para liberación de gases por *G. gibbosum*.

En contraste, de las formulaciones colonizadas por *Pleurotus*, aparentemente la harina de chontaduro fue mejor asimilada por el hongo ya que presenta la mayor disminución del peso en base seca. Esto sugiere que algunos de los componentes de dicha materia prima están actuando como inductores para la producción de enzimas lignocelulolíticas (Han et al., 2020). Sin embargo, los resultados deben ser replicados, utilizando tiempos de secado validados experimentalmente (curvas de secado), para ser concluyentes.

### 3.3. Caracterización

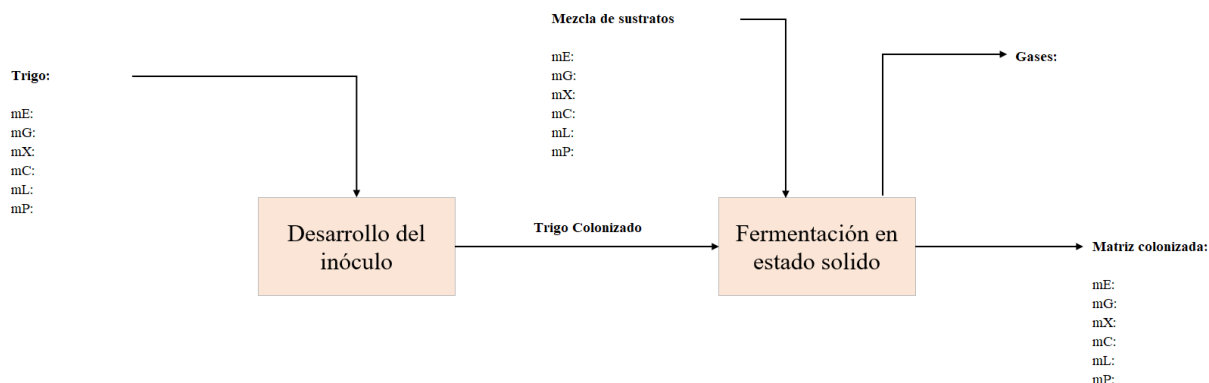
La composición de los sustratos, como se muestra en la figura 3, indica la distribución porcentual de los componentes presentes en cada uno de estos. Inicialmente, se evidencia una mayor proporción de glucano para la muestra de chontaduro, seguido por la concentración de extractivos justificado por las altas concentraciones de ácidos grasos presentes en la cáscara (Salinas, 2014). Por otro lado, el polvillo de bagazo de caña presentó una proporción similar de glucano y xiloarabinosa, siendo estas dos la mayor parte de la muestra seguidos por la lignina.





**Figura 3.** Composición de los sustratos en base seca

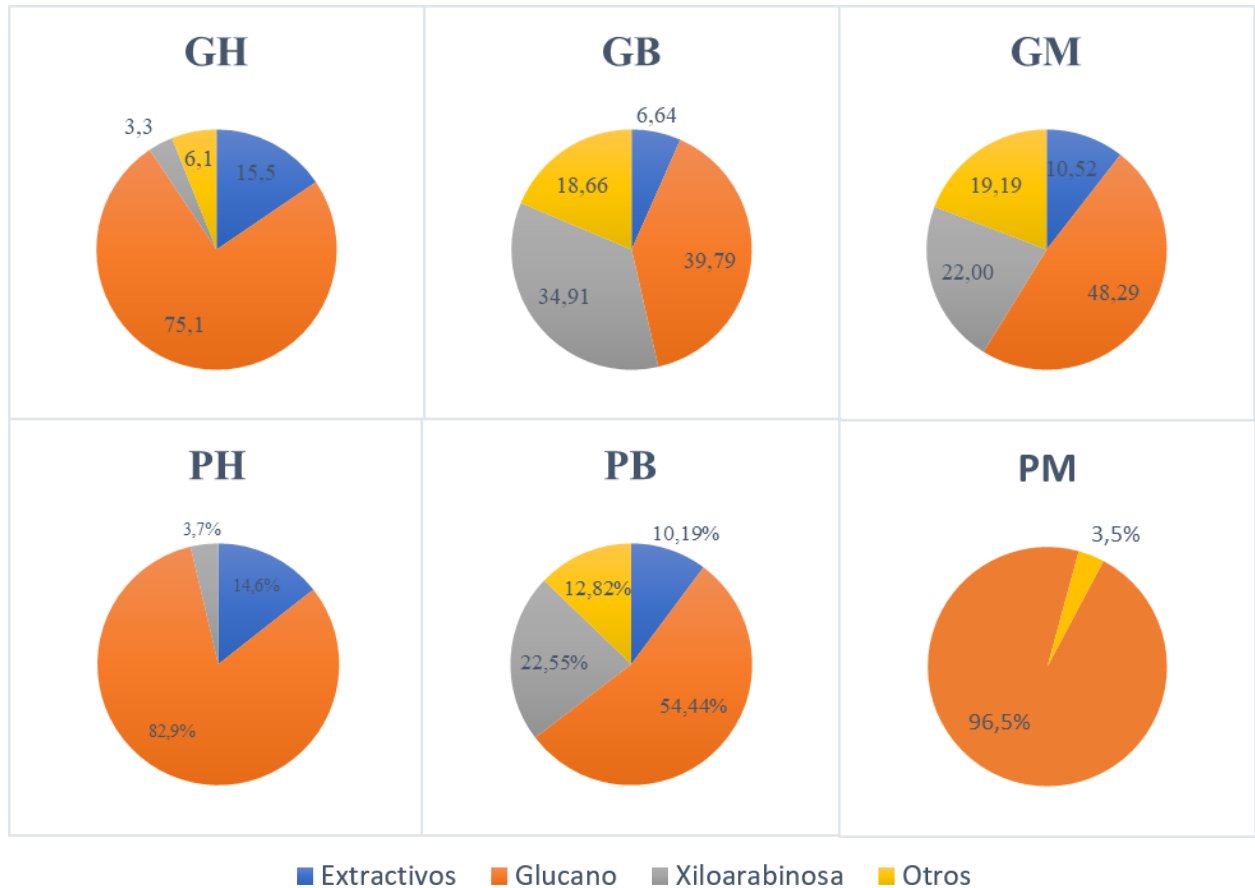
Conociendo la caracterización de los sustratos y de la matriz colonizada fue posible calcular la composición de la porción de la matriz consumida por los hongos que es posteriormente liberada en forma de gases. En la figura 4 se describe el balance de materia representado en un diagrama de bloques general del proceso mediante el cual se determinó dicha corriente. Los datos para cada corrida experimental se encuentran en los anexos del artículo.



**Figura 4.** Diagrama general para la producción de biomateriales. Las siglas mE, mG, mX, mC, mL y mP indica la masa de extractivos, glucano, xiloarabinosa, cenizas, lignina y proteína respectivamente para cada corriente.

La composición porcentual en peso/peso (%p/p) para la porción consumida por los hongos se esquematiza en la figura 5. En esta se puede evidenciar que, para los seis diferentes experimentos se dio un mayor consumo de glucano en proporción, esto puede indicar una alta producción de enzimas glucanasas y glucosidasas, las cuales tienen como función romper los enlaces glucosídicos de los polímeros de glucosa presentes en las muestras (González, 2018). Asimismo, se muestra que, para ambas cepas, el mayor porcentaje de glucano consumido se dio empleando únicamente harina de cáscara de chontaduro como sustrato; esto es teniendo en cuenta que la caracterización la matriz compuesta por harina-bagazo presentó error experimental y de métodos analíticos. Lo anterior puede indicar que la presencia de los polímeros de seis carbonos como el glucano son más fáciles de asimilar en este sustrato para los hongos estudiados en comparación con las pentosas como la xilosa y la arabinosa debido a su baja concentración en el sustrato inicial. No obstante, en las muestras de bagazo, a pesar de presentar un alto consumo de glucano, también lo presenta para la xiloarabinosa. En un estudio realizado por Luna et al., en el 2013, se registró que la

actividad xilanasa presentada por *P. ostreatus* cultivado en cascarilla de cebada alcanza los 67.2 U/g ss, esto puede indicar que ciertos sustratos empleados para el cultivo del hongo promueven la producción de esta enzima al aportar una mayor proporción de dichos azúcares, en este caso, el bagazo de caña.



**Figura 5.** Composición de la salida de gases para cada experimento. La letra **P** indica los experimentos colonizados por *P. ostreatus* y la **G** los colonizados por *G.gibbosum*, mientras que las letras **H,B** y **M** indican los sustratos harina, bagazo y mezcla respectivamente.

Ahora, el consumo de las matrices formuladas con una mezcla 1:1 de los sustratos empleados varían significativamente entre sí. La distribución porcentual para la mezcla colonizada por *P. ostreatus* muestra casi una totalidad para glucano, sin embargo, es posible que este resultado presente errores experimentales debido a que se le debería atribuir un porcentaje a la xiloarabinosa proporcionada por el bagazo, además de un mayor porcentaje de extractivos que han sido aportados por la harina de chontaduro como se menciona previamente y como se puede observar en la muestra GM.

Por otro lado, es importante resaltar las similitudes que muestra el comportamiento de consumo de GM con el de las muestras formuladas con bagazo, pues con esta información se puede llegar a deducir que el hongo asimila proporcionalmente ambas formulaciones de manera muy similar, no obstante, se da un mayor consumo total de estos (mayor disminución del peso seco) en la muestra diseñada con harina y bagazo como se muestra en la tabla 2.

## Conclusiones y recomendaciones.

A partir de los resultados obtenidos, se logra concluir que, por su lado, el consumo y el crecimiento de *G. gibbosum* se ve favorecido en presencia de sustratos ricos en polisacáridos como el glucano y la Xiloarabinosa, sumado a esto, esta especie demostró una inclinación por medios de cultivo con una humedad similar a la que presenta la mezcla bagazo/harina, es decir, cercana al 52%. En cambio, *P. ostreatus* demuestra una preferencia por sustratos compuestos principalmente por polímeros de glucosa como la harina de cáscara de chontaduro. Además, para esta cepa se evidenció una predilección por sustratos con una humedad de aproximadamente 48%, y, aparentemente, un mejor crecimiento al interior de la matriz. Se identificó que el tiempo de secado no logró ser suficiente para que la medición de humedad fuera un dato plausible, por lo que es preciso aumentar dicho tiempo efectuando una curva de secado para todas las matrices. Además, se recomienda formular las mezclas con base en el peso seco de cada uno de los sustratos para asegurar la composición requerida para cada uno de estos.

Finalmente, dadas las dificultades para la transferencia de oxígeno presentadas principalmente por la cepa *G. gibbosum*, se considera que deben evaluarse los fenómenos de transferencia de masa a través de esta matriz sólida.

## Agradecimientos.

Agradecemos a Isabel Enríquez por su valioso acompañamiento experimental además de sus aportes para el análisis de resultados.

## Referencias

- Alemu, D., Tafesse, M., & Mondal, A. K. (2022). Mycelium-Based Composite: The Future Sustainable Biomaterial. *International Journal of Biomaterials*, 2022.
- Bautista, L., & Oliveros, C. (2018, octubre). Material ecológico con fines de embalaje a partir del hongo *Pleurotus ostreatus* y residuos orgánicos agroindustriales. ResearchGate. [https://www.researchgate.net/publication/328412004\\_Material\\_ecologico\\_con\\_fines\\_de\\_embalaje\\_a\\_partir\\_del\\_hongo\\_Pleurotus\\_ostreatus\\_y\\_residuos\\_organicos\\_agroindustriales](https://www.researchgate.net/publication/328412004_Material_ecologico_con_fines_de_embalaje_a_partir_del_hongo_Pleurotus_ostreatus_y_residuos_organicos_agroindustriales)
- Devera & Peña. (2021). Bio-material producido a partir de la fermentación en estado sólido de residuos de bagazo de caña y cáscaras de chontaduro por hongos de la podredumbre blanca. Universidad Icesi.
- Freek V.W. Appels, Serena Camere, Maurizio Montalti, Elvin Karana, Kaspar M.B. Jansen, Jan Dijksterhuis, Pauline Krijgsheld, Han A.B. Wösten (2019). Fabrication factors influencing mechanical, moisture- and water-related properties of mycelium-based composites, *Materials & Design*, Volume 161, Pages 64-71, <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.11.027>.
- Ghazvinian, A., Farrokhsiar, P., Vieira, F., Pecchia, J., & Gursoy, B. (2019). Mycelium-based bio-composites for architecture: assessing the effects of cultivation factors on compressive strength.

- Girometta, C., Picco, A. M., Baiguera, R. M., Dondi, D., Babbini, S., Cartabia, M., Pellegrini, M., & Savino, E. (2019). Physico-mechanical and thermodynamic properties of mycelium-based biocomposites: A review. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 11, Issue 2). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su11010281>
- González Camacho, C. (2018). Estudio de la actividad enzimática de *Pleurotus ostreatus* en la deslignificación de cascarilla de arroz en cultivo semisólido.
- González, C. O., Burbano, M., & Tamayo, O. A. (1995). Estudio de secado del polvillo de bagazo y lodos como combustible alternativo en las calderas de Propal 1 (Bachelor's thesis, Universidad Autónoma de Occidente).
- Greenpeace Colombia. (2019, noviembre). *SITUACIÓN ACTUAL DE LOS PLÁSTICOS EN COLOMBIA Y SU IMPACTO EN EL MEDIO AMBIENTE*. Clínica Jurídica de Medio Ambiente y Salud Pública (MASP) de la Facultad de Derecho de la Universidad de los Andes y Greenpeace Colombia. [http://greenpeace.co/pdf/2019/gp\\_informe\\_plasticos\\_colombia\\_02.pdf](http://greenpeace.co/pdf/2019/gp_informe_plasticos_colombia_02.pdf)
- Han, M. L., An, Q., He, S. F., Zhang, X. L., Zhang, M. H., Gao, X. H., ... & Bian, L. S. (2020). Solid-state fermentation on poplar sawdust and corncob wastes for lignocellulolytic enzymes by different *Pleurotus ostreatus* strains. *Bioresources*, 15(3), 4982-4995.
- Hatakka, A. (1994). Lignin-modifying enzymes from selected white-rot fungi: production and role from in lignin degradation. *FEMS microbiology reviews*, 13(2-3), 125-135.
- Jerson Alejandro Luna Córdoba, & Angie Marcela Muñoz Pomeo. (2019). ELABORACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO BIODEGRADABLE MEDIANTE COLONIZACIÓN FÚNGICA DE GANODERMA LUCIDUM EN FIBRAS NATURALES. Uni
- Jones, M., Huynh, T., Dekiwadia, C., Daver, F., & John, S. (2017). Mycelium composites: a review of engineering characteristics and growth kinetics. *Journal of Bionanoscience*, 11(4), 241-257.
- Jones, M., Mautner, A., Luenco, S., Bismarck, A., & John, S. (2020). Engineered mycelium composite construction materials from fungal biorefineries: A critical review. *Materials & Design*, 187, 108397.
- Juma, J. P. I., Insuasti, J. A. P., Revelo, D. A. B., Puetate, F. A. M., & Soto, C. A. P. (2021). Producción del hongo-moho (*Trichoderma harzianum*): una revisión. *Revista Biorrefinería Vol*, 4(4).
- Luangharn, T., Karunarathna, S. C., Mortimer, P. E., Hyde, K. D., & Xu, J. (2020). Morphology, phylogeny and culture characteristics of *Ganoderma gibbosum* collected from Kunming, Yunnan Province, China. *Phyton*, 89(3), 743.
- Luna, L., Meneses, M., Mendoza, G., Montalvo, C., & Loera, O. (2013). Efecto y actividad enzimática de *Pleurotus ostreatus* en pared celular de rastrojo de cebada. *Livestock Research for Rural Development*, 25, 1-13.
- Martínez -Girón, J., Rodríguez-Rodríguez, X., Pinzón-Zárate, L., & Ordóñez-Santos, L. E. (2017). Caracterización fisicoquímica de harina de residuos del fruto de chontaduro (*Bactris gasipaes* Kunth, Arecaceae) obtenida por secado convectivo. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 18(3), 599-613.
- Melo Parra, C. G. (2021). *Evaluación de la colonización del hongo Pleurotus ostreatus en sustratos lignocelulósicos* (Bachelor's thesis, Fundación Universidad de América).

- MYCETUM. Bioproducción avanzada de última generación Ficha comercial. (2010). Observatorio de I+D+i UPM.  
[http://www.upm.es/observatorio/vi/index.jsp?pageac=innovacion/articulo.jsp&id\\_articulo=121&id\\_tipo\\_articulo=3](http://www.upm.es/observatorio/vi/index.jsp?pageac=innovacion/articulo.jsp&id_articulo=121&id_tipo_articulo=3)
- Ongpeng, M. C., Inciong, E., Sendo, V., Soliman, C., & Siggaoat, A. (2020). Using waste in producing bio-composite mycelium bricks. *Applied Sciences*, *10*(15), 5303.
- Ortega, M. A. M., Morett, S. L. A., & Herrera, M. A. D. C. V. Simbiosis industrial e innovación tecnológica. Caso: Parque Industrial Alfa en Jalisco, 2012. *Políticas de gestión y estrategias para fortalecer el desarrollo local de México*, 143.
- Ruiz-Herrera, J. (1993). La Quitina. El segundo compuesto orgánico más abundante en la Tierra. *Investigación y Ciencia*, *202*, 42-49.
- Salinas, L. M. M. (2014). Evaluación nutricional de la cascara de chontaduro (*Bactris gasipaes*) como alternativa en la alimentación animal (Doctoral dissertation, Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ciencias de la Salud. Medicina Veterinaria y Zootecnia).
- Sluiter, A., Hames, B., Ruiz, R., Scarlata, C., Sluiter, J., Templeton, D., & Crocker, D. L. A. P. (2008). Determination of structural carbohydrates and lignin in biomass. Laboratory analytical procedure, *1617*(1), 1-16.
- Sydor, M., Bonenberg, A., Doczekalska, B., & Cofta, G. (2021). Mycelium-based composites in art, architecture, and interior design: a review. *Polymers*, *14*(1), 145.
- Vargas, C., Posada, J., Jaramillo, L., y García, L. (2015). Consumo de energía en la industria del plástico: revisión de estudios realizados. *Revista CEA*, *1*(1), 93-107