

Apreciación de residuos orgánicos agrícolas como sustrato para el cultivo del hongo comestible *Pleurotus pulmonarius*

Appreciation of agricultural organic wastes as substrate for the cultivation of the edible mushroom *Pleurotus pulmonarius*

William Caicedo Ruiz^{*}; Bernarda Cuadrado Cano^{**}; Cherlys Infante Jiménez^{***}

DOI: 10.15446/rev.colomb.biote.v26n1.111029

RESUMEN

El mercado de hongos comestibles es muy grande, siendo una alternativa alimenticia para reemplazar la carne, sumado a sus propiedades nutraceuticas y con la posibilidad de cultivarlos aprovechando desechos orgánicos de origen agrícola. Se recolectaron y prepararon semillas de almendra (*Terminalia catappa*) y cáscaras de achiote (*Bixa orellana*), cacahuete (*Arachis hypogaea*) y arroz (*Oriza sativa*) e inocularon con micelio de *Pleurotus pulmonarius*. Se evaluaron los tiempos de crecimiento del hongo, la eficiencia biológica y relación entre minerales del sustrato y producto. En achiote y maní hubo mayor acumulación de proteína (12,4%±1,6 y 10,9%±0,6 respectivamente). La cáscara de maní fue el único sustrato donde fructificó el *P. pulmonarius* con relación entre la concentración de nitrógeno vs. diámetro del sombrero, del pie y longitud del pie ($p<0,05$) y eficiencia biológica de 8,47% en la primera cosecha, perfilándose como un residuo agrícola orgánico con alto potencial para el cultivo de este hongo.

Palabras clave: *Arachis hypogaea*, *Bixa orellana*, *Oriza sativa*, setas comestibles, *Terminalia catappa*.

ABSTRACT

Edible mushroom market is very large, making them an alternative to replace meat, in addition to their nutraceutical properties and with the possibility for growing them on organic wastes of agricultural origin. Almond seeds (*Terminalia catappa*), achiote (*Bixa orellana*) shells, peanut (*Arachis hypogaea*) shells and rice (*Oriza sativa*) husks were collected and inoculated with *Pleurotus pulmonarius* mycelium. Growth time, biological efficiency and relationship between mineral content in substrate and product were evaluated. Achiote shells and peanut shells showed a higher protein accumulation (12.4%±1.6 and 10.9%±0.6 respectively). Peanut shells were the only substrate where *P. pulmonarius* fructified, showing a significant relationship between nitrogen concentration and cap diameter, stem diameter, and stem length ($p<0.05$), with a biological efficiency of 8.47% in the first harvest. It is considered an organic agricultural residue with high potential for cultivating this mushroom.

Keywords: *Arachis hypogaea*, *Bixa orellana*, edible mushrooms, *Oriza sativa*, *Terminalia catappa*.

Recibido: febrero 23 de 2023

Aprobado: mayo 10 de 2024

* Biólogo. Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia. Grupo de investigación en Microbiología y Sistemas Simbióticos - GMISIS. Cartagena, Bolívar, Colombia; e-mail: williamcaicedo2009@hotmail.com. autor para correspondencia; <https://orcid.org/0000-0002-3077-124X>

** Médico, Esp en Ciencia y Tecnología de los Alimentos. M.Sc en Microbiología y Biotecnología. Universidad de Cartagena, Facultad de Medicina, Grupo de investigación en Microbiología y Sistemas Simbióticos - GMISIS. Cartagena, Bolívar, Colombia; e-mail: bcuadrado@unicartagena.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-6458-0134>

*** Químico farmacéutico, M. Sc en Tecnología Química. Universidad de Cartagena, Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Grupo de investigación en Microbiología y Sistemas Simbióticos - GMISIS. Cartagena, Bolívar, Colombia; e-mail: cinfantej@unicartagena.edu.co; <https://orcid.org/0000-0001-8169-2595>

INTRODUCCIÓN

La tendencia actual en biotecnología busca la utilización y aprovechamiento de los residuos orgánicos para la obtención de setas, con el fin de suplir las necesidades nutricionales de todo el mundo (Sekan *et al.*, 2019; Contreras-Moreno *et al.*, 2022), sin olvidar su valor y propiedades medicinales (Sánchez y Royse, 2017) y ecológicas (Rojas y Hormaza, 2016; Bellettini *et al.*, 2019).

De las 100 especies comestibles de hongos solo 50 son para fines económicos, lo que indica un mercado de producción de hongos muy grande, lamentablemente a nivel regional, todavía queda mucho por explorar.

El género *Pleurotus* aporta proteínas por encima de las que suministran los vegetales, constituyéndose en alternativa alimenticia para sustituir a la carne como alimento en humanos. Su cultivo es relativamente corto, aproximadamente 60 días, no es estacional, de fácil manejo, baja exigencia y se producen en grandes volúmenes (Infante *et al.*, 2016). Adicionalmente, las setas son fuente de vitaminas, propiedades nutraceuticas (Duarte *et al.*, 2020), con actividad antioxidante, disminuyen la viabilidad de células tumorales y a su vez de importancia en pacientes inmunosuprimidos, diabetes (Patil *et al.*, 2010) y con hipercolesterolemia (Raman *et al.*, 2021). Para el cultivo de hongos comestibles se han evaluado para su uso como sustratos potenciales los desechos orgánicos en zona tropical resultado de actividades productivas en el mundo, sin aparente valor económico pero que causan un alto impacto ambiental (Melanouri *et al.*, 2022).

En Colombia, se generan alrededor de 71 943 813 t/año de residuos agroindustriales que en la gran mayoría de los casos son incinerados o llevados a rellenos sanitarios, de estos, solo el 17% son aprovechados (Peñaranda *et al.*, 2017). En el departamento de Bolívar se estima que por cada tonelada de arroz para consumo se produce otra tonelada de residuos representada por paja y cascarilla (Romero-Sáenz, 2022). A su vez, en muchas avenidas de las ciudades de la costa Atlántica se encuentran árboles de almendro de los trópicos cuyos frutos caen al suelo al no ser utilizados para consumo, pudiendo aprovechar este residuo de origen natural el cultivo. Otro aspecto es que durante la producción agroindustrial y artesanal del maní y el achiote se genera un alto volumen de residuos (Cartay, 2022). Todos estos elementos contaminan el entorno pudiendo darles un valor agregado al emplearlos para cultivar hongos comestibles, ya que su composición puede ser similar a su ambiente natural (Muez y Pardo, 2002; Bellettini *et al.*, 2019).

En comparación a los países neotropicales con condiciones ambientales similares a Colombia, Wu *et al.*, (2019) utilizan sustratos agrícolas donde se combinan con suplementos como el salvado de trigo que brindan un mejor resultado para el crecimiento de hongo comestible. Por otro lado, en regiones semiáridas de Kenia, Wanjira *et al.* (2022), emplean como complemento paja de frijol, cáscara de arroz y hojarasca de la especie *Melia volkensii* perteneciente a la familia Meliaceae para potencializar los residuos agrícolas para el crecimiento del cuerpo fructífero del hongo. Adicionalmente, Fufa *et al.* (2022), en la región neotropical de Etiopía utilizó sustrato como la mazorca de maíz y desecho de bambú, residuos de origen vegetal predominante en la región.

En Colombia, existen reportes del cultivo del hongo *Pleurotus (P.) ostreatus* en especial utilizando residuos agrícolas de climas fríos (López-Rodríguez *et al.*, 2013; Garzón y Cuervo, 2008) y templados (Luna *et al.*, 2013; Rivera *et al.*, 2013), pero son pocos los estudios con *P. pulmonarius* (Cervantes Forero, 2015; Infante *et al.*, 2016), evidenciando la necesidad de evaluar sus requerimientos en condiciones estables y con ello la posibilidad de cultivarlo aprovechando los residuos agrícolas locales solos o suplementados, lo que podría constituirse en una alternativa económica, social, ambiental y nutricional para la región Caribe.

Aunque la tendencia mundial emplea complementos durante el cultivo de los hongos, en esta etapa solo se centró en caracterizar y seleccionar aquellos residuos de mayor producción en la región en donde el hongo logre crecer y fructificar, para proponer y a futuro la evaluación de cultivos combinados y/o con suplementos. Es por lo que el objetivo de este estudio es evaluar de manera preliminar el crecimiento y producción de *P. pulmonarius* sobre cuatro residuos agrícolas como son semilla de almendra y cáscaras de achiote, cacahuate y arroz para determinar sobre cual se presenta mejor crecimiento y desarrollo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Estudio Observacional descriptivo, transversal y prospectivo.

Residuos agrícolas. Se recolectaron y seleccionaron semillas de almendra (*Terminalia catappa*) y cáscaras de achiote (*Bixa orellana*), cacahuate (*Arachis hypogaea*) y arroz (*Oriza sativa*), eliminando los que estuviesen en mal estado. Se llevaron al laboratorio de Bromatología de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas de la Universidad de Cartagena para su preparación, análisis químico y cultivo con el hongo.

La semilla de almendra (SA) se colectó como fruta entera y madura retirándole el exocarpo, secándola en un horno a 70°C por 24 horas. Las cáscaras de cacahuate (CC), achiote (CAC) y arroz (CA) se obtuvieron secas. El sustrato SA se fragmentó homogéneamente (Infante *et al.*, 2016).

Siete muestras con 150g de cada sustrato se hidrataron en bolsas de polietileno con agua destilada (AD) por una hora, retirando el exceso de agua y sometiéndolos a pasteurización (100°C/30 minutos). Se eliminó nuevamente el agua y dejaron reposar por 24 horas, ajustando el pH a 6,5 con solución de carbonato de calcio (CaCO₃) al 1%, con esterilización húmeda (121°C/15 psi/20 min). Las bolsas se sembraron dentro de las primeras seis horas a fin reducir el riesgo de contaminación (Muez y Pardo, 2002).

Para el análisis químico, los residuos se molieron y llevaron a cenizas en mufla a temperatura de 600°C. Se determinaron las concentraciones de nitrógeno (N) mediante micro-Kjeldahl y de proteína (P) por digestión de ácidos (ácido L-ascórbico) y, de calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K) previa digestión seca y lectura por absorción atómica (AOAC, 2012). Estos valores se expresaron en porcentaje (%).

Preparación de la semilla de *P. pulmonarius*. El inóculo del hongo fue suministrada por la empresa SETAS DE LA MONTAÑA S.A.S. (Ibagué- Colombia), mantenida en refrigeración a 4°C, aislándose y purificando el micelio en placas de agar Sabouraud al 2%. Quinientos gramos de maíz pira (*Zea mays*) fueron repartidos en frascos de vidrio, aplicándoles igual procedimiento de hidratación, pasteurización, ajuste de pH, esterilización y preparación que para los sustratos (Muez y Pardo, 2002). Cada frasco se sembró con cinco bloques de 0,5 cm² de micelio de *P. pulmonarius* cultivado en agar Sabouraud al 2%, e incubado a 26°C en oscuridad y con humedad del 75% hasta la propagación del micelio, hidratando diariamente con 2 mL de AD.

Cultivo del micelio. Veintiocho bolsas plásticas de polipropileno, siete por cada sustrato fueron inoculadas con las semillas (4%) e incubadas 28°C en oscuridad y humedad del 75%, con monitoreo diario (Cuervo y Rodríguez, 2013) hasta invasión total. Para los cultivos se empleó una Incubadora Thermo Scientific Precision® Mod 815 y un Thermohigrómetro Mod TA318.

Formación de primordios. Se perforaron las bolsas cambiando la temperatura a 22°C para inducir la formación de primordios (Moonmoon *et al.*, 2010, Yingyue *et al.*, 2014) controlando humedad del aire y temperatura. No

hubo monitoreo ni registro *in situ* de la concentración de dióxido de carbono.

Fructificación. Invasión del sustrato se ajustó la temperatura a 28°C, humedad relativa (75%) y ciclos de oscuridad/luz (100 lux) (Yingyue, *et al.*, 2014) hasta lograr crecimiento de los primordios.

Cosecha. Cuando no se observó crecimiento en número y tamaño se hizo la recolección de las setas manualmente y midiendo desde la base del pie en el punto de unión con el sustrato, el diámetro del sombrero, longitud y diámetro del pie y peso de la seta (Cuervo y Rodríguez, 2012).

Recolección de la información. Se registraron los resultados del análisis químico y el crecimiento de los hongos en cada etapa. Se asignaron valores de +++ para crecimiento abundante del micelio, hasta + si es escaso y una C cuando el crecimiento se detuvo.

Análisis estadístico. Se creó una base de datos en una hoja de Excel bajo Windows y analizados con el programa IBM -SPSS Versión 25.0. A las variables cuantitativas se les evaluó la normalidad y calcularon las medidas de tendencia central y de dispersión. La eficiencia biológica (EB) se calculó y expresó en porcentaje (Infante *et al.*, 2016) (Ecuación 1).

$$Eficienciabiológica = \frac{Pesodelhongofresco}{Pesodelsustratoseco} \times 100$$

Ecuación 1.

Se compararon la EB vs. concentración de N y P, con una significancia estadística de p<0,05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis químico de los sustratos. En CAC la concentración de N y P fue mayor (N%:2,2±0,3; P%:12,4±1,6), seguido por CC, CA y SA (Tabla 1). Hubo mayor concentración de Mg y Ca en CAC (Mg%:33,8; Ca%:63,4), y de K en SA (K%:267,4) seguido de CAC (K%:190,8).

El género *Pleurotus* es esencialmente celulolítico y algunos crecen sobre sustratos con bajo contenido de N en el rango de 0,03% a 1,0%, sin embargo, se ha visto que a concentraciones mayores (1,75 a 2,2%) los hongos no colonizan (Bellettini *et al.*, 2019). Esta situación fue observada con CAC (2,2%±0,3) donde fue escaso el crecimiento del micelio, contrario a lo ocurrido con CC (1,9%±0,1) (Tabla 1). En CAC hay mayor disponibilidad de Nitrógeno, Proteína, Calcio y Magnesio, sin embargo, fue el sustrato donde menos se desarrolló el hongo.

Tabla 1. Contenido de nitrógeno y proteína en los cuatro residuos agrícolas. CAC: Cáscara de achiote, CC: Cáscara de cacahuete, CA: Cáscara de arroz y SA: Semilla de almendra.

Sustrato	Concentración de nitrógeno (%) [*]	Proteína (%) [*]
CAC	2,2±0,3	12,4±1,6
CC	1,9±0,1	10,9±0,6
CA	1,7±0,7	9,7±4,2
SA	1,4±0,2	7,9±1,3

^{*} Media ±DS

Fuente de consulta: Los autores

Se ha establecido que los materiales lignocelulósicos que tienen un bajo contenido de minerales requieren aditivos para mejorar la producción de los hongos (Bellettini *et al.*, 2019), de modo que los dos sustratos donde se observó mejor crecimiento del micelio (CC y CA) y que tuvieron los menores porcentajes de Ca y K, posiblemente requerirán de suplementos ya que el Ca es necesario en mayores cantidades por sus efectos protectores y antagonistas con respecto de otros minerales como K o Mg (Sánchez y Royse, 2017).

Se ha reportado un nivel de lignocelulosa en CA del 45,84% (Porrás *et al.*, 2015) y de 44,36% en CC (Guerrero-Colin *et al.*, 2016), representado en este último del 28 al 32% del producto final (Wang, 2016, citado por Montero-Torres, 2020), con una alta relación carbono/nitrógeno (C/N), lo que explica no sea fácilmente biodegradado, en especial por la concentración de celulosa (69%), hemicelulosa y lignina (Cartay, 2022). A futuro se hace necesario medir en los residuos otros parámetros como son los niveles de elementos lignocelulósicos, de polifenoles y la relación C/N debido a que esto impacta en la calidad y rendimiento del cultivo (Ruilova *et al.*, 2017).

Cultivo del micelio. Los sustratos se incubaron a temperaturas entre 26,6 a 29,75°C y una humedad relativa medida con un higrómetro entre 61,1 a 70% (Tabla 2) que para el caso de *P. pulmonarius* se recomienda entre 5 a 35°C y 65 a 75% durante la etapa de crecimiento del micelio (Bellettini *et al.* 2019).

El micelio se desarrolló de manera ascendente en CAC, SA, CC y CA, deteniéndose en CAC (3,5±1,8 días) y en SA (5,0 ±2,7 días). CC y CA fueron invadidos abundantemente a los 6,5±3,6 y 22,5±12,8 días respectivamente (Tabla 2).

El CC fue colonizado por *P. pulmonarius* en menor tiempo en relación con los otros residuos (Tabla 2) y contrario a lo reportado en tusa (entre 15 y 36 días) y cáscara de maíz (44 días), empleados por Vega y Franco (2013) e Infante *et al.*, (2016).

Lechner y Albertó (2011) encuentran que *P. pulmonarius* completa el crecimiento del micelio entre 15 y 20 días en diferentes sustratos. En CA se encontró un mayor tiempo de crecimiento de *P. pulmonarius* con respecto a *P. ostreatus* (10 días) (Luna *et al.*, 2013). Estas diferencias estarían relacionadas con las características fisiológicas y fenológicas de las plantas origen de cada residuo (Muez y Pardo, 2002).

Otro aspecto que pudo incidir en especial en la invasión en CAC y SA es el tamaño y tipo de la partícula. Esto afectaría la aireación y conservación de la humedad dentro del sustrato ya que partículas mayores a 0,5 mm incrementan la porosidad total y disminuyen la retención de agua (Morales Casanova, 2015). Lo anterior, requiere de mayor estudio ya que estos factores además de las características químicas y degradabilidad del sustrato, la tasa de crecimiento del hongo, las temperaturas de incubación y humedad relativa pudieron afectar el crecimiento del micelio (Bellettini *et al.*, 2019).

Tabla 2. Análisis del crecimiento del micelio en los sustratos de la cáscara de achiote (CAC), arroz (CA) y cacahuete (CC) y semilla de almendra (SA). El desarrollo del micelio se hizo mediante hizo visuales durante la incubación. El desarrollo del micelio se hizo mediante observación durante la incubación.

Sustrato	Días de incubación	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Tiempo (días)									
				4	8	12	16	20	24	28	32	36	40
CA	22,5±12,8	27,0 (RIC:26,4-28,0)	70,0 (RIC:60,0-74,0)	+	+	+	+	+	+	+	++	+	+
CC	6,5±3,6	26,6 (RIC:25,5-27,6)	70,0 (RIC:63,8-73,5)	++	+++								
CAC	3,5±1,87	29,75 (RIC:29,7-29,8)	68,5 (RIC: 54,0 - 72,0)	++	C								
SA	5,0±2,7	28,3±1,4	61,1±13,5	+	C								

TT Invasión total +++ Muy abundante ++ Abundante + Micelio escaso C Crecimiento detenido

RIC: Rango intercuartílico

Fuente de consulta: Los autores

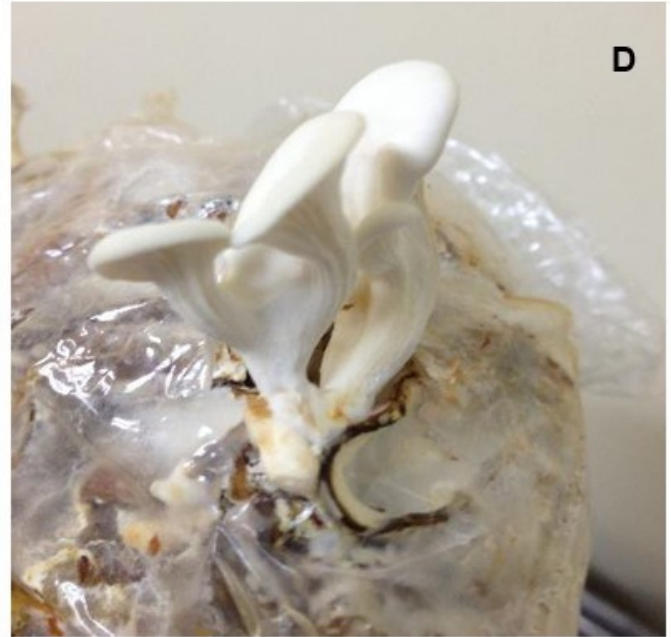


Figura 1. Formación de primordio en las cáscaras de cacahuete (CC) (A) y cascarilla de arroz (CA) (B). Hongo *Pleurotus pulmonarius* (C y D) en fase de cosecha en CC.

Fuente de consulta: Los autores.

Formación de primordios. Solo se produjo en CC y CA a los nueve y 18 días respectivamente (Figura 1A y 1B), tiempos menores a lo descrito para *P. pulmonarius* por Lechner y Albertó (2011) de 25 a 40 días y por Gaitán y Silva (2016) de 22 a 25 días.

Durante el cultivo se debe mantener una aireación constante y evitar la contaminación para mejorar la EB. La falta de aireación en incubadoras de laboratorio pudo conducir a acumulación CO_2 llevando a disminución del crecimiento y producir coloración amarillenta en el mi-

celio (Infante *et al.* 2016), lamentablemente la concentración de CO_2 no fue evaluado de manera instrumental.

Fructificación. Fue exitosa solo en CC (Figura 1C y 1D), se efectuaron 3 cosecha siendo en la primera cosecha, la más abundante (154 gramos). Los primeros efectos positivos en la aparición de primordios se dieron pasados los 4 días y el desarrollo total del cuerpo fructífero se detectó a los 7 días de la estimulación en los sustratos invadido. Por otra parte, La EB en la primera fue del 8,47% y en la tercera del 3,48% (Tabla 3), acordes con

Tabla 3. Análisis de la eficiencia biológica (EB) de *P. pulmonarius* en Cáscara de Cacahuete (CC).

Cosecha	Peso (gr)	Diámetro del sombrero (mm)*	Diámetro del pie (mm)*	Longitud pie (mm)*	Peso de la seta (gr)	EB (%)
1	154,0	14,1±4,6	19,13±13,7	21,9±7,3	13,05	8,48
2	153,4	4,3±0,2	17,7±5,3	18,1±4,6	1,02	0,68
3	110,3	10,0	22,5	33,2	3,85	3,49

* Media ±DS

Fuente de consulta: Los autores

Tabla 4. Relación entre la concentración de nitrógeno (%) y proteína (%) en el sustrato CC vs. características del producto obtenido después de la fructificación.

Características del hongo	M±DS	Concentración de nitrógeno (%)	p	Concentración de proteína (%)	p
Diámetro del sombrero	11,7 ±5,59		0,005*		0,772
Diámetro del pie	19,2 ±11,43		0,012*		0,183
Longitud pie	22,3±7,42	1,9±0,1	0,000*	10,9±0,6	0,011*
Peso de la seta gr	6,0±6,29		0,238		0,168

* diferencia estadísticamente significativa p<0,05

M±DS: Media y desviación estándar

Fuente de consulta: Los autores

lo obtenido por Vega y Franco (2013) que cultivó *P. pulmonarius* en tuza de maíz como sustrato.

P. pulmonarius normalmente fructifica a 15°C - 18°C, y toman de 14 a 20 días hasta la cosecha (Sánchez y Royse, 2017). Este hongo es un poco diferente a otros de la familia Pleurotaceae (Flecha-Rivas et al., 2021). Tiene una amplia adaptación y facilidad para el cultivo debido a que se autorregula ante un alto intervalo de temperaturas como de sustratos (Sánchez y Royse, 2017; Belletini et al., 2019).

La CC posee 30,9% de lignina, 54,6% de celulosa, 14,5% de hemicelulosa, 5,5% de ceniza y 19,2% de carbono fijo (Gurevich Messina et al., 2015), mientras que CA, 19,4% de lignina, 42,2% de celulosa, 18,5% de hemicelulosas, 15,14% de cenizas y 11,44% de carbono fijo (Banerjee et al., 2009; Biswas et al., 2017). El nivel de lignina, celulosa y carbono fijo es mayor en CC frente a CA. Por otro lado, la CA por su naturaleza física y química no tiene la capacidad para una alta retención de agua (Luna et al., 2013), un factor importante para obtener una buena fructificación y eficiencia biológica ya que afectaría la disponibilidad de los nutrientes y de oxígeno (Sánchez y Mata, 2012). Lo anterior, sumado a las características ambientales, propias de crecimiento del género *Pleurotus* spp y en especial del *P. pulmonarius*, pudieron influir a que la formación de primordios y luego la fructi-

ficación fuera mayor en CC que en CA; sin embargo, esto es algo que hay que confirmar.

Los residuos con mayor contenido de compuestos lignocelulósicos y proteínas tienden a ser más aprovechables para la seta, produciendo mayor fructificación (Roggero et al., 2022), sin embargo, aunque CAC tuvo los más altos porcentajes de nitrógeno y proteína, fue el menos invadido. La disminución del rendimiento podría deberse al agotamiento de nutrientes, la acumulación de sustancias tóxicas desfavorables para la fructificación (Sánchez y Mata, 2012) o propiedades antifúngicas del sustrato que ha sido evaluadas (Chanda, 2011; Vilar et al., 2014). Diversas especies de *Pleurotus* han sido cultivadas en CA solo o en mezclas debido a su alta disponibilidad y economía con buenos resultados (Ruilova et al., 2017) sin embargo esto no se pudo reproducir en este estudio.

Se encontró relación entre los diámetros del sombrero y del pie con la concentración de nitrógeno y de la longitud del pie con la concentración de nitrógeno y proteínas en el sustrato (Tabla 4), lo que indicaría que el hongo está empleando principalmente el nitrógeno de la CC para producir estructuras (Salami et al., 2016), aspecto de amerita ser confirmado.

Los sustratos sobre los que fructifican las especies de *Pleurotus* pueden contener valores bajos de nitrógeno,

por lo que se ha llegado a pensar que este género es capaz de fijar nitrógeno atmosférico. Sin que esto haya sido demostrado, sí es notorio que la concentración de nitrógeno en el cuerpo fructífero, en algunos casos, es mayor que la del sustrato sobre el que crece (Sánchez y Royse, 2017).

De los cuatro sustratos evaluados, el más prometedor para el cultivo de *P. pulmonarius* es la CC, ya que produjo alto crecimiento del micelio y fructificación en menos tiempo (ocho días y nueve días respectivamente) y una EB de 8,47%. El segundo lugar lo ocupó la CA, resultados que pudieron ser por un mejor aprovechamiento de hongo de los recursos lignocelulósicos presentes en el residuo agrícola.

Estos hongos son descomponedores eficientes de la lignocelulosa presente en los residuos agrícolas que no han recibido un tratamiento biológico o químico previo (Cohen *et al.*, 2002; Ruilova *et al.*, 2017), y por lo tanto sería una ventaja el utilizar los sustratos que permitieron mayor crecimiento de *P. pulmonarius* para cultivo en el laboratorio y trabajos de campo en zonas tropicales.

CONCLUSION

El hongo *Pleurotus pulmonarius* evidenció un alto crecimiento de colonización e invasión de micelio y formación de cuerpo fructífero en el sustrato de cascara de cacahuate - CC, componente de origen vegetal que se encuentra en gran cantidad en la región, lo que indica que el residuo agrícola se proyecta como candidato para futuros trabajos de crecimiento orgánico natural.

La mejor eficiencia biológica y peso fresco se registraron en el sustrato CC con valores de 8,47% y 158 gramos respectivamente en la primera cosecha, validando lo expresado por (Sánchez y Mata, 2012), donde indica que los hongos *P. pulmonarius* y *P. djamor*, son hongo con alta capacidad de crecimiento y son considerada de amplia distribución pantropical, en temperaturas de incubación del micelio en 15 a 35°C, de inducción de 18 a 25°C, óptima de fructificación de 24 a 30°C y de cosecha de 20 a 30°C.

Se proyecta a futuro evaluar estrategias para incrementar la eficiencia biológica en CC y CA, así como el rendimiento de otros residuos agrícolas mediante combinación o uso de complementos, en aras de lograr cultivar esta cepa en los climas tropicales de la Región Caribe.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Cartagena y en especial las Facultades de Ciencias Farmacéuticas y de Medicina, por el uso del espacio para la realización de la investigación.

A los miembros del Semillero de Investigación "Microbiología y Biotecnología aplicada" del grupo de Investigación en Microbiología y sistemas Simbióticos - GMISIS COL 0013423.

CONFLICTO DE INTERESES

El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaran que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Association of official analytical chemists, AOAC. (2012). Official Methods of Analysis. Washington, D.C.

Banerjee, S., Sen, R., Pandey, R.A., Chakrabarti, T., Satpute, D., Giri, B.S., Mudliar, S.N. (2009). Evaluation of wet air oxidation as a pretreatment strategy for bioethanol production from rice husk and process optimization. *Biomass & Bioenergy* (United Kingdom). 33: 1680-1686. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2009.09.001>

Bellettini, M.B., Fiorda, F.A., Maieves, H.A., Teixeira, G.L., Ávila, S., Hornung, P.S., Júnior A., Ribani, R.H. (2019). Factors affecting mushroom *Pleurotus* spp. *Journal of Biological Sciences*, 26 (4): 633-646. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.12.005>

Biswas, B., Pandey, N., Blisht, Y., Singh, R., Kumar, J., Bhaskar, T. (2017). Pyrolysis of agricultural biomass residues: Comparative study of corn cob, wheat straw, rice straw and rice husk. *Bioresource Technology* (United Kingdom). 237: 57-63. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.02.046>

Cartay, R. (2022). Pérdidas postcosecha, desperdicios, problemas ambientales y valor agregado del procesamiento agroindustrial de productos agrícolas tropicales en América Latina. Una revisión. *Revista Geográfica Venezolana*. 63 (1): 50-63. <https://doi.org/10.53766/RGV/2022.63.01.03>

Cervantes Forero, N.R. (2015). Cultivando setas de la especie *Pleurotus pulmonarius* en el interior de las viviendas como un modelo empresarial que le permitirá a las víctimas del desplazamiento forzado la superación de su vulnerabilidad y propiciar su reinclusión social. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*. 1 (27): 80-87. <https://revistaaccb.org/r/index.php/accb/article/view/105>

Chanda, S. (2011). Antimicrobial Activity of *Terminalia catappa* L. Leaf Extracts against Some Clinically Im-

- portant Pathogenic Microbial Strains. *Chinese Medicine*. 2 (4): 171-177. <https://doi.org/10.4236/cm.2011.24027>
- Cohen, R., Persky, L, Hadar, Y. (2002). Biotechnological applications and potential of wood-degrading mushrooms of the genus *Pleurotus*. *Applied Microbiology and Biotechnology* (Germany). 58 (5):582-94. <https://doi.org/10.1007/s00253-002-0930-y>
- Contreras-Moreno, N., Olmo-Ruiz, M., García-Sandoval, R, Vidal, G. (2022). *Pleurotus* spp., producción, cultivo y propiedades. En: García-Rubio, V.G (ed). Potencialidades de la ovinocultura y los hongos comestibles (*Pleurotus* spp) en la seguridad alimentaria y el desarrollo rural. Ed. *Laberinto Ediciones* (México). p. 81-106. <https://www.researchgate.net/publication/361472726>
- Cuervo Andrade, J, Rodríguez Cabra, J. (2013). Cultivo del hongo comestible (*Pleurotus ostreatus* Jacq. Kumm), Ed. *Universidad Nacional de Colombia* (Bogotá). 82 p.
- Duarte Trujillo, A. S., Jiménez Forero, J. A., Pineda Insuasti, J. A., González Trujillo, C. A, García Juárez, M. (2020). Extracción de sustancias bioactivas de *Pleurotus ostreatus* (Pleurotaceae) por maceración dinámica. *Acta Biológica Colombiana*. 25(1): 61-74. <https://doi.org/10.15446/abc.v25n1.72409>
- Fufa, B., Aynkut, B., Merid, M. (2022). Cultivation of *Pleurotus ostreatus* on Agricultural wastes and their Combination. *International Journal of Agronomy*. Vol 2021 <https://doi.org/10.1155/2021/1465597>
- Flecha Rivas, A., DE Madrignac, B., Campi, M. (2021). El género *Pleurotus* (Pleurotaceae - Basidiomycota) en Paraguay. *Steviana* (Paraguay). 6, 70-79. https://doi.org/10.56152/StevianaFacenV6A6_2014
- Gaitán Hernández, R., Silva Huerta, A. (2016). Aprovechamiento de residuos agrícolas locales para la producción de *Pleurotus* spp., en una comunidad rural de Veracruz - México. *Revista mexicana de Micología*. 43: 43 - 47. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=323652282004>
- Garzón Gómez J.P, Cuervo Andrade J.L. (2008). Producción de *Pleurotus ostreatus* sobre residuos sólidos lignocelulósicos de diferente procedencia. *NOVA* (Colombia). 6 (10): 126-149. <https://doi.org/10.22490/24629448.403>
- Guerrero-Colin, J., Trejo-Márquez, M., Moreno-Lara J., Lira-Vargas, A, Pascual-Bustamante, S. (2016). Extracción de fibra de los desechos agroindustriales de cacahuate para su aplicación en el desarrollo de alimentos. *Investigación y desarrollo de ciencia y tecnología de alimentos* (México). 1(2): 806 -812. <http://www.fcba.unl.mx/IDCYTA/files/volume1/2/9/140.pdf>
- Gurevich Messina, L.I.; Bonelli, P.R, Cukierman, A.L. (2015). Copyrolysis of peanut shells and cassava starch mixtures: Effect of the components proportion. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* (Netherlands). 113: 508-517. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2015.03.017>
- Infante, C.; Cuadrado, B.; De Arco, D.; Pérez, K.; Barrera, E., San Juan, M. (2016). Evaluación de tusa y cascara de maíz como sustratos para el cultivo de *Pleurotus pulmonarius*. *Ciencia y Tecnología* (Costa Rica). 32 (1): 31-41. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/cienciaytecnologia/article/view/29520>
- Lechner, B.E., Albertó, E. (2011). Search for new naturally occurring strains of *Pleurotus* to improve yields. *Pleurotus albidus* as a novel proposed species for mushroom production. *Revista Iberoamericana de Micología* (España). 28 (4): 148-154. <https://doi.org/10.1016/j.riam.2010.12.001>
- López-Rodríguez, C., Hernández-Corredor, R., Suárez-Franco, C., Borrero, M. (2013). Evaluación del crecimiento y producción de *Pleurotus ostreatus* sobre diferentes residuos agroindustriales del departamento de Cundinamarca. *Universitas Scientiarum* (Colombia). 13(2): 128-137. <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/scientarium/article/view/1417>
- Luna Fontalvo, J. A., Córdoba López, L. S., Gil Pertuz, K. I., Romero Borja, I. M. (2013). Efecto de residuos agroforestales parcialmente biodegradados por *Pleurotus ostreatus* (Pleurotaceae) sobre el desarrollo de plántulas de tomate. *Acta Biológica Colombiana*. 18 (2): 365-374. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/35852>
- Melanouri, E., Dedousi, M., Diamantopoulou, P. (2022). Cultivating *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus eryngii* mushroom strains on agro-industrial residues in solid-state fermentation. Part I: Screening for growth, endoglucanase, laccase and biomass production in the colonization phase. Carbon resources conversión

- (China). 5: 61-70. <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2021.12.004>
- Montero Torres, J. (2020). Importancia nutricional y económica del maní (*Arachis hypogaea* L.). *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales* (Bolivia). 7(2): 112-125. <https://riiarn.umsa.bo/index.php/RIIARn/article/view/166>
- Moonmoon, M., Uddin, N., Ahmed, S., Jahhan Shelly, N., Khan, A. (2010). Cultivation of different strains of king oyster mushroom (*Pleurotus eryngii*) on sawdust and rice straw in Bangladesh. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 17 (4): 341-345. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2010.05.004>
- Morales-Maldonado, E., Casanova, F. (2015). Mezclas de sustratos orgánicos e inorgánicos, tamaño de partículas y proporción. *Revista agronomía mesoamericana-Universidad de Costa Rica*. 26 (2): 365 - 272. <https://doi.org/10.15517/am.v26i2.19331>
- Muez, M.A., Pardo, J. (2002). La preparación del sustrato. En: Sánchez, J. & Royse, D (eds). La biología y el cultivo de *Pleurotus* spp. Ed. UTEHA Noriega Editores (México). p.157-186. https://www.researchgate.net/publication/256526787_Book_La_biologia_y_el_cultivo_de_Pleurotus_spp
- Patil, R., Ahirwar, D. (2010). Study of some medicinal plants for antidiabetic activity in alloxan induced diabetes. *Pharmacologyonline* (Italy). 1: 53-60. <https://pharmacologyonline.silae.it/files/archives/2010/vol1/07.Patil.pdf>
- Peñaranda González, L. V., Montenegro Gómez, S. P., Giraldo ABAD, P. A. (2017). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* (Colombia). 8 (2): 141-150. <https://doi.org/10.22490/21456453.2040>
- Porras, A., Maranon A., Ashcroft, I. (2015). Characterization of a novel natural cellulose fabric from *Manicaria saccifera* palm as possible reinforcement of composite materials. *Composites: Engineering*. 74: 66-73. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2014.12.033>
- Raman, J., Jang, K.Y, Lakshmanan, H., Sabaratnam, V. (2021). Cultivation and Nutritional Value of Prominent *Pleurotus* spp.: An Overview. *Mycobiology (Corea)*. 49 (1): 1-14. <https://doi.org/10.1080/12298093.2020.1835142>
- Rivera-Omen, R. L., Martínez-Mamián, C. A., Velasco, S. M. (2013). Evaluación de residuos agrícolas como sustrato para la producción de *Pleurotus ostreatus*. *Luna Azul* (Colombia). 37: 89-100. <https://revistasojs.ucaldas.edu.co/index.php/lunazul/article/view/1677>
- Roggero, J., Rugolo, M., Barroetaveña, C. (2022). Evaluación de residuos lignocelulósicos de la Patagonia argentina para el cultivo del hongo comestible *Lentinula edodes* (Basidiomycota). *Bonplandia* (Argentina). 31 (2): 115-128. <https://doi.org/10.30972/bon.3125933>
- Rojas, J., Hormaza, A. (2016). Evaluación de la biodegradación del colorante azul brillante utilizando hongos de la podredumbre blanca y sus consorcios. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. 19(1), 179 - 187. <https://doi.org/10.31910/rudca.v19.n1.2016.258>
- Romero-Sáez, M. (2022). Los residuos agroindustriales, una oportunidad para la economía circular. *Tecnológicas* (Colombia). 25 (54): e100. <https://doi.org/10.22430/22565337.2505>
- Ruilova Cueva, M. B., Hernández, A., Niño-Ruiz, Z. (2017). Influence of C/N ratio on productivity and the protein contents of *Pleurotus ostreatus* grown in different residue mixtures. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias* (Argentina). 49 (2): 331-344. <https://bdigital.uncu.edu.ar/9699>
- Salami, A., Bankole, F., Olawole O. (2016). Effect of different substrates on the growth and protein content of oyster mushroom (*Pleurotus florida*). *International Journal of Biological and Chemical Sciences* (Cameroon). 10(2): 475-485 <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v10i2.2>
- Sánchez, J., Mata, G. (2012). Hongos comestibles y medicinales en Iberoamérica: investigación y desarrollo en un entorno multicultural. Ed. El Colegio de la Frontera Sur - Ecosur, *Comité Editorial de El Instituto de Ecología*. 393 p. <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/biblio-948657>
- Sánchez, J., Royse, D. (2017). La Biología, el cultivo y las propiedades nutricionales y medicinales de las setas *Pleurotus* spp. Ed. *El Colegio de la Frontera Sur- Ecosur* (México). 355 p. <https://bibliotecasibe.ecosur.mx/sibe/book/000042177>

- Sekan, A.S.; Myronycheva, O.S., Karlsson, O., Gryganskyi, A.P., Blume, Y. (2019). Green potential of *Pleurotus* spp. in biotechnology. *PeerJ* (United States). 29 (7): e6664. <https://doi.org/10.7717/peerj.6664>
- Vega, A., Franco, H. (2013). Productividad y calidad de los cuerpos fructíferos de los hongos comestibles *Pleurotus pulmonarius* RN2 y *P. djamor* RN81 y RN82 cultivados sobre sustratos lignocelulósicos. *Información tecnológica* (Chile). 24(1): 69-78. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642013000100009>
- Vilar De A., D., Vilar, M.S., De Lima De Moura, T.F., Rafin, F.N., De Oliveira-Franco, C.F., De Athay De-filho, P.F., Melo-Diniz, M. DE F., Barbosa-Filho, J.M. (2014). Traditional uses, chemical constituents, and biological activities of *Bixa orellana* L.: a review. *Scientific World Journal* (Egypt). 2014: 857292. 11 p. <https://doi.org/10.1155/2014/857292>
- Wanjira, J., Nguluu, S., Kimatu, J. (2022). Differential growth and productivity of oyster mushroom (*Pleurotus pulmonarius*) on agro-wast substrates in semi-arid regions of kenya. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*. Vol 11: 375 - 383 DOI: 10.30486/IJROWA.2022.1931154.1252
- Wu, N., Tian, F., Moodley, O., Son, B., Jia, C., Ye, J., Qin, Z., Li, C., (2019). Optimization of agro-residues as substrates for *Pleurotus pulmonarius* production. *AMB Express* <https://doi.org/10.1186/s13568-019-0907-1>
- Yingyue, S., G., Qunli, J., Lijun, F., Weilin, F., Tingting, S., MIN, Fangfant, T., Weiming, C. (2014). Effects of cold stimulation on primordial initiation and yield of *Pleurotus pulmonarius*. *Scientia Horticulturae* (Netherlands).167: 100-106. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.12.021>