

# Eficiencia biológica de *Pleurotus ostreatus* cultivado en bagazo de palma aceitera

## Biological efficiency of *Pleurotus ostreatus* cultivated in oil palm bagasse

Juan Carlos Jaulis-Cancho<sup>1,2</sup>, Juan Juscamaita Morales<sup>1,3</sup>, Ana Martínez Varillas<sup>1,4</sup>, Marilyn Aurora Buendía Molina<sup>1,5</sup>, Enrique Raúl Adama Rojas<sup>1,6</sup>, Eduardo Leuman Fuentes Navarro<sup>1,7</sup>.

<sup>1</sup>Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. <sup>2</sup>✉ [jjaulis@lamolina.edu.pe](mailto:jjaulis@lamolina.edu.pe); <sup>3</sup>✉ [jjm@lamolina.edu.pe](mailto:jjm@lamolina.edu.pe); <sup>4</sup>✉ [amavapasa@gmail.com](mailto:amavapasa@gmail.com); <sup>5</sup>✉ [marilynbuendia@lamolina.edu.pe](mailto:marilynbuendia@lamolina.edu.pe); <sup>6</sup>✉ [eadama@lamolina.edu.pe](mailto:eadama@lamolina.edu.pe); <sup>7</sup>✉ [efuentes@lamolina.edu.pe](mailto:efuentes@lamolina.edu.pe)



<https://doi.org/10.15446/acag.v73n3.113600>

2024 | 73-3 p 233-241 | ISSN 0120-2812 | e-ISSN 2323-0118 | Rec.: 2024-03-19 Acep.: 2025-09-04

### Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar el cultivo del *Pleurotus ostreatus* en diferentes formulaciones de sustrato a base de bagazo de palma aceitera (BPA), cascarilla de arroz (CA), panca molida (PM) y coronta molida (CM). Se analizaron parámetros productivos como la eficiencia biológica (EB), el rendimiento (R), la tasa de producción (TP) y el número de carpóforos (NS). Para ello se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con 8 tratamientos y 8 repeticiones. La primera fase experimental consistió en preparar los sustratos, seguida de la inoculación del hongo *P. ostreatus* en los sustratos, con 65 % de humedad. La mejor EB (76.65 %) y TP (1.04) se obtuvieron con la combinación de PM + CM (8:2), mientras que los tratamientos con 40 % (T5) y 60 % (T4) de BPA mostraron una EB de 57.64 % y 56.43 %, respectivamente. En términos de tasa de producción, T5 y T4 destacaron con 0.76 y 0.69 %. Los resultados confirman la viabilidad de utilizar fibra lignocelulosa de palma aceitera como sustrato para el cultivo de *P. ostreatus*, lo cual favorece su aprovechamiento en la economía circular y la reducción de residuos agroindustriales.

**Palabras clave:** economía circular, eficiencia biológica, hongos comestibles, *Pleurotus ostreatus*, residuos lignocelulósicos.

### Abstract

The objective of this study was to evaluate the cultivation of *Pleurotus ostreatus* on different substrate formulations based on oil palm bagasse (OPB), rice husk (RH), ground corncob (GC), and ground corn cob (CC). Productive parameters such as biological efficiency (BE), yield (Y), production rate (PR), and number of mushroom (NM) were analyzed. A completely randomized design (CRD) with eight treatments and eight replicates was used. The first experimental phase consisted of substrate preparation, followed by inoculation of the fungus *P. ostreatus* into the substrates adjusted to 65 % moisture. The highest BE (76.65 %) and PR (1.04) were obtained with the combination of GC + CC (8:2), whereas treatments containing 40 % (T5) and 60 % (T4) of OPB achieved BE values of 57.64 % (T5) and 56.4 % (T4), respectively. Regarding the production rate, T5 and T4 stood out with 0.76 and 0.69 %. The results confirm the viability of using lignocellulose fibre from oil palm as a substrate for *Pleurotus ostreatus* cultivation, supporting its potential contribution to the circular economy and the reduction of agro-industrial waste.

**Keywords:** Biological efficiency, circular economy, edible fungi, lignocellulosic residues, *Pleurotus ostreatus*.

## Introducción

La generación de residuos agroindustriales representa un problema ambiental creciente, debido a que en muchos estos casos carecen de un destino específico y terminan acumulándose en suelos o cuerpos de agua, lo que genera contaminación (Valdés *et al.*, 2019; Sekan *et al.*, 2019). A pesar de la abundancia de celulosa en el planeta, solo algunos organismos pueden degradarla y emplearla como fuente de carbono, debido a que la lignina se encuentra estrechamente entrelazada entre las moléculas de celulosa, lo que dificulta su biodegradación (Naveda *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2019; Obando *et al.*, 2022). Ante esta realidad, el aprovechamiento de materiales lignocelulósicos para la producción de hongos comestibles constituye una estrategia sostenible, que combina la reducción de desechos con la obtención de alimentos de alto valor nutritivo (Xiao *et al.*, 2022).

El hongo comestible *P. ostreatus*, conocido como “seta ostra”, es uno de los más estudiados a nivel mundial por su capacidad de crecer en diversos residuos lignocelulósicos, por su bajo costo de producción y por sus propiedades nutricionales y medicinales (Kimassoum *et al.*, 2017; Raman *et al.*, 2021). Estudios realizados indican que este hongo es rico en proteínas, vitaminas y minerales, con bajo contenido en grasas y carbohidratos, lo que lo convierte en un alimento funcional de gran aceptación en mercados internacionales (Asaduzzaman y Mousumi, 2012; Carvalho *et al.*, 2016).

A nivel global, múltiples investigaciones han reportado la viabilidad del cultivo de *P. ostreatus* en diferentes residuos agrícolas y forestales (Angulo *et al.*, 2022). Fufa *et al.* (2021) evaluaron su producción en Etiopía, Wachira *et al.* (2022) analizaron su aprovechamiento en Kenia y Li *et al.* (2019) en China; todos coincidieron en que la diversidad de sustratos disponibles ofrece un potencial amplio para este hongo. Estas experiencias demuestran que el cultivo de *Pleurotus* se ha consolidado como una biotecnología clave en la valorización de residuos agroindustriales.

En Latinoamérica, el interés en este género ha aumentado en la última década. Por tal razón, se han evaluado sustratos como la pulpa de café, la paja de arroz, el bagazo de caña de azúcar, la tusa de maíz y los residuos de poda de pasto (Nieto-Juárez *et al.*, 2021; Morán *et al.*, 2020; Roblero-Mejía *et al.*, 2021). Asimismo, el aserrín también ha sido reportado como sustrato viable para este hongo (Akçay y Doğan, 2019; Başıyigit y Sakaldaş, 2021). Los resultados indican que la combinación de sustratos suele ser más eficiente que el uso de un solo residuo, porque mejora la aireación, la disponibilidad de nutrientes y el equilibrio entre carbono y nitrógeno (Valera, 2019; Dedousi *et al.*, 2023). Esta práctica incrementa la eficiencia biológica y el rendimiento, lo que ha llevado a que muchos países promuevan el uso de mezclas como estrategia de cultivo.

En el caso peruano, la producción de hongos comestibles aún es incipiente y se concentra en pequeña escala. El BPA, generado en grandes volúmenes por la agroindustria del aceite de palma, representa un subproducto con alto potencial para este fin (Neyra-Vásquez *et al.*, 2022). Igualmente, presenta una composición rica en celulosa, hemicelulosa y lignina, lo que favorece el crecimiento micelial, además contiene minerales esenciales como potasio, fósforo y calcio, aunque con bajo contenido de nitrógeno (Díaz y Carvajal, 2014). Su estructura porosa favorece la retención de humedad y la aireación, condiciones óptimas para la colonización del micelio (Barba *et al.*, 2019; Raman *et al.*, 2021). Sin embargo, debido a su bajo contenido de nitrógeno, se recomienda combinarlo con otros residuos agrícolas para maximizar la producción de carpóforos (Dedousi *et al.*, 2023).

En comparación con países como Malasia o Indonesia, donde la industria del aceite de palma está altamente tecnificada, en Perú el procesamiento es aún artesanal y de menor escala. Esto genera un volumen considerable de residuos que no siempre son aprovechados, lo que abre la posibilidad de integrarlos en esquemas de economía circular con impacto ambiental y social positivo. Estudios previos realizados en Perú han explorado sustratos como paja de arroz, bagazo de caña de azúcar y residuos de poda de pasto (Díaz *et al.*, 2019), pero el uso del BPA en el cultivo de *P. ostreatus* sigue siendo un campo poco desarrollado.

De tal manera, el objetivo de este artículo fue evaluar la eficiencia biológica, el rendimiento y la tasa de producción de *P. ostreatus* cultivado en BPA y en combinaciones con otros residuos agrícolas, con el fin de determinar su viabilidad como alternativa sostenible dentro de un enfoque de economía circular en Perú.

## Materiales y métodos

### Lugar de ejecución

La investigación se llevó a cabo en el invernadero del Programa de Investigación en Plantas Ornamentales de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM), ubicado en el distrito de la Molina, provincia de Lima, Región Lima, Perú.

### Preparación de sustratos

El cultivo de *P. ostreatus* se llevó a cabo utilizando una combinación de sustratos, que incluía fibra lignocelulósica (FL), panca (P) y coronta molida (CM). Para cada repetición, se utilizó una cantidad de 2.5 kg de material seco, lo que dio un total de 20 kg por tratamiento, cada uno debidamente identificado con etiquetas que variaban de T1 a T8.

Los sustratos se colocaron en sacos de rafia y se sumergieron en cilindros de 200 L con agua potable durante 25 minutos. Posteriormente, se escurrieron durante 5 minutos, luego se hizo un lavado con agua potable por 25 minutos y un escurrimiento final de 12 horas. Finalmente, los sustratos fueron pasteurizados durante 8 horas a 80 °C para eliminar microorganismos competidores.

## Inoculación, incubación, inducción y fructificación

El proceso de producción de carpóforos se divide en 4 etapas fundamentales. En la primera etapa, inoculación, se introdujeron 325 g de inóculo de hongo *P. ostreatus* (13 % del peso del sustrato) en cada tratamiento, mezclando homogéneamente con el sustrato. Las mezclas se colocaron en bolsas de polietileno selladas herméticamente. A cada bolsa se le realizaron 16 cortes verticales de 1.5 cm distribuidos de manera uniforme en la superficie, con el fin de permitir la adecuada aireación y el intercambio gaseoso durante la incubación, lo cual favorece el crecimiento del micelio y evita la acumulación de CO<sub>2</sub> en exceso. En la segunda etapa, incubación, las bolsas se incubaron en oscuridad durante 26 días a 25 °C y 65 % de humedad relativa, con niveles de CO<sub>2</sub> en 3000 y 6000 ppm, que fueron calculados con un medidor portátil de CO<sub>2</sub> de la marca PCE Instruments. En la tercera fase, inducción, las bolsas se abrieron para permitir el desarrollo de los primordios, lo que dio lugar a los basidiocarpos. Finalmente, en la cuarta etapa, fructificación, el micelio colonizado se mantuvo a 22 °C y 23 °C, con una humedad relativa del 85 al 90%, niveles de CO<sub>2</sub> que variaron entre 800 y 1200 ppm con iluminación de 2000 lux/hora durante 12 horas diarias.

## Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) conformado por 8 tratamientos (Tabla 1), con 8 repeticiones. Cada unidad experimental consistió en una bolsa con sustrato e inóculo de hongo.

El diseño incluyó tratamientos con BPA en distintas proporciones y un tratamiento con combinación de panca molida y coronta molida (T1, 8:2), con el propósito de comparar el efecto de sustratos individuales frente a mezclas, dado que la literatura reporta que las combinaciones tienden a mejorar el rendimiento (Valera, 2019; Dedousi *et al.*, 2023).

## Análisis estadístico

Para probar la hipótesis de que la FL de palma aceitera, sola o combinada es un sustrato eficiente para la producción de *P. ostreatus*, se realizó un análisis de varianza ANOVA para evaluar las diferencias significativas entre tratamientos. Se utilizó la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ) para comparaciones múltiples y determinar diferencias significativas en los parámetros productivos y de eficiencia biológica entre los tratamientos.

## Hipótesis

La hipótesis del estudio propone que la FL de palma aceitera, sola o combinada, mejora la producción y eficiencia biológica de *P. ostreatus*.

## Cosecha y evaluación de producción

Las cosechas se realizaron en los días 11, 31 y 54. Se registraron el peso de las setas y la merma en kilogramo (kg) para cada tratamiento. Los parámetros evaluados fueron:

- Eficiencia biológica (EB): (peso fresco del hongo / peso seco del sustrato inicial) \* 100.
- Rendimiento (R): (peso fresco de basidiocarpos / peso fresco del sustrato) \* 100.
- Tasa de producción (TP): (EB / periodo productivo) \* 100.

Tabla 1. Formulación de los tratamientos

Tratamientos	Insumos para la formulación de sustrato			Total de sustrato (%)
	Fibra lignocelulosa de palma aceitera (%)	Cascarilla de arroz (%)	Panca molida + coronta molida (8:2) (%)	
T1	0	0	100	100
T2	100	0	0	100
T3	80	0	20	100
T4	60	0	40	100
T5	40	0	60	100
T6	80	10	10	100
T7	60	20	20	100
T8	40	30	30	100

- Número de carpóforos (NS): cantidad total de setas por tamaño.
- Calibre de carpóforos (CS): Clasificación por diámetro del píleo en 3 categorías: calibre 1 (de 0 a 4 cm), calibre 2 (de 5 a 8 cm) y calibre 3 (mayor a 9 cm).

## Análisis de macronutrientes

El análisis de macronutrientes se realizó en el Laboratorio La Molina Calidad Total de la UNALM. Este estudio incluyó la determinación de calorías proveniente de carbohidratos, grasa y proteínas, así como la cantidad de carbohidratos, energía total, cenizas, proteína, humedad, grasa y fibra cruda en cada 100 gramos de muestra. Se utilizaron métodos como MS-INN (Collazos *et al.*, 1993) para calorías, AOAC.930.05, AOAC.978.07, AOAC.934.01, AOAC.920.39 (AOAC, 2019) para cenizas, proteína, humedad y grasa, y NTP 2005.003 (NTP, 1980) para fibra cruda.

La Tabla 2 presenta la caracterización de los tratamientos, realizada por el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF) de la UNALM. Destacó la materia orgánica (MO) como el compuesto principal, seguida por nitrógeno (N), óxido de potasio ( $K_2O$ ), óxido de calcio ( $CaO$ ) y óxido de magnesio ( $MgO$ ). Esta caracterización es relevante porque los elementos del sustrato influyen significativamente en la capacidad de colonización saprobiótica y en la fructificación de *Pleurotus* sp.

## Resultados

*P. ostreatus*, al igual que otros hongos, puede producir setas de diferentes tamaños a lo largo de su ciclo de crecimiento. Por ello, los parámetros productivos pueden variar dependiendo de diversos factores que incluyen las condiciones de cultivo, el tipo de sustrato empleado y las prácticas de manejo.

En el análisis de varianza muestra diferencias significativas en peso de setas, número de setas pequeñas y medianas, EB, tasa de producción y rendimiento entre tratamientos, excepto en el número de setas grandes (Tabla 3). La prueba de Tukey (significancia del 0.05) indica que no existen diferencias estadísticas en peso de setas entre los T1, T4 y T5 (Tabla 4). En el número total de setas pequeñas no hay diferencias estadísticas significativas entre los T1, T4, T5, T7, y entre T4, T5, T7, T6, T2, T8, T3 (Tabla 4). En la EB, no hay diferencias estadísticas significativas entre los T1, T4, T5 y T3 (Tabla 4). La mayor tasa de producción es del T1, seguida del T5, T4, T3, T2, T7, T6 y T8, variando entre 1.04 y 0.39. El mayor rendimiento lo tiene el T4, seguido del T1, T7, T3, T2, T5, T6 y T8 con el rendimiento más bajo.

## Composición nutricional del hongo *P. ostreatus*

En la Tabla 5 se presenta la composición nutricional del hongo. En términos de peso fresco, su aporte calórico varía desde 22 Kcal/100g (T1) hasta 33.6 Kcal/100g (T3), presentando también un bajo contenido de carbohidratos, que osciló entre 2.9 % (T5) y 5.1 % (T3). La cantidad de proteína es modesta, con valores que van desde 1.6 % (T1) hasta 3.9 % (T8).

## Discusión

Los resultados del presente estudio muestran que la combinación de distintos sustratos influye significativamente en la producción y la eficiencia biológica de *P. ostreatus*. A continuación, se discuten los principales resultados, apoyados por los datos presentados en las tablas.

## Peso total de setas

El peso total de setas varió significativamente entre los tratamientos (Tabla 4). El tratamiento T1 presentó el mayor peso total de setas (1.92 kg), seguido por T4

Tabla 2. Caracterización química de los tratamientos

Tratamientos	pH	C.E. dS/m	M.O. %	N %	$P_2O_5$ %	$K_2O$ %	$CaO$ %	$MgO$ %
T1	6.65	3.86	82.74	0.60	0.15	1.40	0.52	0.03
T2	5.32	2.77	86.60	1.02	0.20	0.50	0.33	0.02
T3	5.61	2.72	87.30	0.71	0.15	0.63	0.31	0.02
T4	5.78	3.11	83.74	0.85	0.17	0.80	0.36	0.02
T5	5.87	3.10	85.61	0.68	0.14	0.83	0.36	0.02
T6	5.46	2.54	86.55	0.89	0.18	0.48	0.31	0.02
T7	5.46	2.68	87.52	0.95	0.21	0.49	0.31	0.02
T8	5.40	2.71	85.01	0.82	0.19	0.49	0.27	0.02

**Tabla 3.** Análisis de varianza de las variables estudiadas

Fuentes de variación	Grados de libertad	Peso total de setas	Número total de setas pequeñas	Número total de setas medianas	Eficiencia biológica	Tasa de producción
Tratamiento	7	7.30*	2.30*	3.10*	5.25*	12.14*
Error	47					
Coeficiente de variabilidad (%)		23.93	41.09	54	19.09	12.01

Ns: no significativo, \* significativo ( $p < 0.05$ ).

**Tabla 4.** Prueba de comparación de medias Tukey (0.05)

Tratamientos	Peso total de setas (kg)	Número total de setas pequeñas (unidad)	Número total de setas medianas (unidad)	Eficiencia biológica (%)	Tasa de producción
<b>T1</b>	1.92 a	42.75 a	37.13 a	76.65 a	1.04 a
<b>T2</b>	1.11 b c	24.63 a	19.63 b	44.28 bc	0.51 bcd
<b>T3</b>	1.29 b c	25.00 a	18.63 b	51.58 abc	0.60 bcd
<b>T4</b>	1.61 a b	38.29 a	23.71 ab	64.49 ab	0.69 bc
<b>T5</b>	1.44 a b	27.50 a	23.63 ab	57.64 abc	0.76 ab
<b>T6</b>	1.09 b c	30.67 a	20.17 b	43.70 bc	0.47 cd
<b>T7</b>	1.11 b c	32.33 a	21.83 ab	44.27 bc	0.50 bcd
<b>T8</b>	0.87 c	21.25 a	19.00 b	34.65 c	0.39 d

letras diferentes son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

**Tabla 5.** Composición nutricional del hongo *P. ostreatus* por tamaño

Tratamiento	% Kcal proveniente de carbohidratos	% Kcal proveniente de grasa	% Kcal proveniente de proteína	Carbohidratos (g/100 g de muestra original)	Cenizas (g/100 g de muestra original)	Energía total (Kcal/100 g de muestra original)	Fibra cruda (g/100 g de muestra original)	Proteína (g/100 g de muestra original)	Humedad (g/100 g de muestra original)
<b>T1</b>	70.9	0	29.1	3.9	0.8	22.0	0.4	1.6	93.7
<b>T2</b>	55.8	0	44.2	4.3	0	30.8	0.6	3.4	91.7
<b>T3</b>	60.7	0	39.3	5.1	0.7	33.6	0.6	3.3	90.9
<b>T4</b>	48.5	0	51.5	3.2	0.8	26.4	0.6	3.4	92.6
<b>T5</b>	50	0	50	2.9	0.8	23.2	0.4	2.9	93.4
<b>T6</b>	53	0	47	3.5	0.7	26.4	0.6	3.1	92.7
<b>T7</b>	52	0	48	3.9	0.7	30.0	0.7	3.6	91.8
<b>T8</b>	47.3	0	52.7	3.5	0.8	29.6	0.6	3.9	91.8

con 1.61 kg y T5 con 1.44 kg. Estos resultados indican que la combinación de fibra lignocelulósica de palma con otros sustratos, especialmente en proporciones equilibradas, puede mejorar la producción de setas en comparación con el uso de un solo tipo de sustrato.

La variación del peso de las setas entre los tratamientos se atribuye a factores como el pH y el contenido de sales y nutrientes. Estudios previos destacan el impacto positivo del nitrógeno y el calcio en la biosíntesis de *P. ostreatus* (Dedousi *et al.*, 2023). El CaO regula el pH del sustrato y previene

la contaminación, lo cual influye en tipo y cantidad de nutrientes presentes en el sustrato (Bermúdez *et al.*, 2021).

El tratamiento T1 destacó con un pH más elevado (6.65), dentro del rango óptimo (6.5 y 7.0) para el crecimiento micelial y desarrollo de cuerpos fructíferos (Kalmis *et al.*, 2008). Este pH supera las recomendaciones de Velioglu y Urek (2015) para el *P. djamor* (pH 6).



## Eficiencia biológica (EB) y tasa de producción (TP)

La eficiencia biológica fue significativamente mayor en el tratamiento T1 (76.65 %), ya que superó, incluso, a los resultados de estudios previos que utilizaron sustratos similares. Este tratamiento corresponde a una combinación de sustratos (panca + coronta), lo que concuerda con múltiples estudios que demuestran que las mezclas brindan mejores condiciones de aireación y balance de nutrientes que los sustratos individuales (Valera, 2019; Dedousi *et al.*, 2023). Este comportamiento evidencia que la combinación de residuos agrícolas favorece la colonización del micelio y la formación de carpóforos.

La producción de carpóforos se distribuyó en 3 cosechas, realizadas a los días 11, 31 y 54 después de la inducción. La mayor proporción de rendimiento se concentró en la primera cosecha, mientras que las siguientes aportaron cantidades menores, aunque contribuyeron a incrementar la eficiencia biológica total. Este patrón coincide con lo reportado por López-Rodríguez *et al.* (2008) y Cruz *et al.* (2020), quienes encontraron que en *Pleurotus ostreatus* la primera cosecha representa entre el 60 y 70 % del rendimiento total, debido a la mayor disponibilidad inicial de nutrientes en el sustrato. Los intervalos observados entre cosechas también son consistentes con lo descrito en la literatura para residuos lignocelulósicos similares.

Los tratamientos T4 y T5 también mostraron eficiencias biológicas destacadas, con 64.49 % y 57.64 % respectivamente (Tabla 4). Valera (2019) evaluó diferentes sustratos y estableció 3 tratamientos. En el primero, utilizando orujo de uva y tusa de maíz, obtuvo EB de 53.1 a 87.2 %; en el segundo, con residuo de aceituna y tusa de maíz, presentó EB de 36.1 a 66.7 %, respectivamente; y en el tercero, con residuo de uva y de aceituna, obtuvo EB de 45.5 a 90.2 %. Los resultados obtenidos sugieren que la inclusión de fibra lignocelulósica de palma aceitera mejora la capacidad del sustrato y favorece el crecimiento de *P. ostreatus*, debido a la riqueza en nutrientes y la estructura física de este residuo.

En cuanto a la tasa de producción, el tratamiento T1 mostró el mejor rendimiento (1.04), seguido por T5 (0.76) y T4 (0.69) (Tabla 4). Estos resultados indican que, aunque todos los tratamientos lograron producir setas, la combinación de panca molida y coronta molida, en una proporción de 8:2, fue la más efectiva.

En la Tabla 4, el tratamiento T1 presenta la mayor eficiencia biológica (76.65 %), superior al 76.1 % reportado por López-Rodríguez *et al.* (2008) con sustratos de uchuva. Otros sustratos como el aserrín, la cáscara de arveja y la tusa obtuvieron eficiencias biológicas de 70 %, 68.6 %, y 57.80 %, respectivamente. La tasa de producción oscila entre 0.80 y 0.45 al utilizar sustratos de cascarilla de

café, cascarilla de arroz y aserrín en una proporción de 1:1:1, así como aserrín (Cruz *et al.*, 2020). Los valores referenciales se encuentran entre 0.60 a 0.80 (Valencia de Ita *et al.*, 2019).

## Composición nutricional

El análisis de la composición nutricional de las setas cultivadas en los diferentes tratamientos (Tabla 5) mostró variaciones significativas. El tratamiento T1 tuvo el mayor contenido de carbohidratos (7.09 %) y la mayor humedad (93.7 %), mientras que el tratamiento T8 presentó el mayor contenido de proteínas (5.27 %). Estos resultados son consistentes con estudios previos que han demostrado que la composición del sustrato puede influir significativamente en el perfil nutricional de las setas cultivadas.

El sustrato influye en el tamaño de las setas. Según Roblero-Mejía *et al.* (2021), los sustratos influyen en las características químicas, funcionales y sensoriales de los hongos. Fracchia *et al.* (2022) señalan que el sustrato influye en la composición mineral, porque las hifas interactúan con el sustrato para obtener los elementos esenciales. Por tanto, el tipo de sustrato influye en la composición nutricional de los cuerpos fructíferos, especialmente en el contenido de proteína cruda, relacionado con el contenido de nitrógeno en el sustrato original o a través de suplementos nutricionales y fertilizantes agrícolas (Barba *et al.*, 2019).

El nitrógeno es esencial en para la formación de proteínas, ácidos nucleicos y síntesis de purinas, pirimidinas y polisacáridos (Abdullah *et al.*, 2015). Su asimilación y utilización de nitratos son cruciales para la síntesis de aminoácidos y otros procesos metabólicos. Aunque los hongos del género *Pleurotus* son en su mayoría celulolíticos, existen cepas que prosperan en sustratos con un contenido de nitrógeno que oscila entre el 0.03 % y el 1.0 % (Machado *et al.*, 2016). La producción de setas no se ve afectada negativamente, dado que el hongo *P. ostreatus* es capaz de asimilar y bioconvertir los residuos lignocelulósicos y nitrogenados del sustrato (Barba *et al.*, 2019).

López-Rodríguez *et al.* (2008) encontraron que el capacho de uchuva tenía el mayor porcentaje de carbono (28.31 % p/p), seguido por la cáscara de arveja (25.51 % p/p) y la tusa de mazorca (18.66 % p/p). Los hongos descomponedores aeróbicos requieren más carbono que nitrógeno, ya que usan el carbono como fuente de energía y para la formación de biomasa, y el nitrógeno se utiliza para sintetizar proteínas y ácidos nucleicos (Mojica y Molano, 2006). Los hongos ligninocelulolíticos requieren más carbono que nitrógeno. Sin embargo, si la proporción de carbono supera ampliamente a la de nitrógeno, el crecimiento y la reproducción del hongo pueden disminuir (López-Rodríguez *et al.*, 2008).

Los hongos, reconocidos como una fuente de nutrientes (Catani *et al.*, 2021; Cuzcano-Ruiz *et al.*, 2020), muestran un perfil nutricional variado. Su alto contenido de humedad (90.9 % y el 93.7 %) indica su capacidad para asimilar y convertir los residuos lignocelulósicos y nitrogenados presentes en el sustrato (Barba *et al.*, 2019). Además, son una fuente significativa de potasio, seguido por magnesio, calcio y sodio, y trazas de silicio, hierro, cobre y zinc (Nieto-Juárez *et al.*, 2021). El perfil nutricional depende de la especie, el medio ambiente, el sustrato y el momento de la cosecha (Deepalakshmi y Mirunalini, 2014).

El contenido de proteína varía de 10 a 45 g por cada 100 gramos de materia seca (Carvalho *et al.*, 2016), y 47.3 g en muestra seca (Nieto-Juárez *et al.*, 2021). Son fuente de proteína (González *et al.*, 2021; Sassine *et al.*, 2021; Bengü *et al.*, 2019). A su vez, Carrasco-González *et al.* (2017) señalan que el *P. sapidus* destaca con un 38.5 % de proteína, comparable a la soja (35 a 40 %). Otras especies, como *P. geesteranus* (30.3 %), *P. citrinopileatus* (29.4 %), *P. sajor-caju* (26.0 %), *P. ostreatus* (23.0 %) y *P. pulmonarius* (22.9 %) tienen niveles similares a guisantes (20 a 30 %) y garbanzos (20 a 25 %).

## Conclusiones

La fibra lignocelulósica de la palma aceitera demuestra ser una opción variable tanto en su uso independiente como en la composición del sustrato para el cultivo *P. ostreatus*, puesto que logró tasas de producción que variaron desde un 1.04 % (T1) hasta un 0.39 % (T8), con niveles de eficiencia biológica que oscilan entre el 34.65 % y el 76.65 %, respectivamente. En lo que respecta al T2, T3, T4, T5, T6 y T7, estos se encontraron dentro del rango de rentabilidad por tener un EB mayor al 40 %. Asimismo, la mejor tasa de producción se obtuvo con los T5 (0.76) y T4 (0.69). En términos de rendimiento, los tratamientos T4 (32.36 %) y T1 (30.58 %) tuvieron los mejores resultados, los cuales se centraron por encima del mínimo rendimiento establecido para que el proceso productivo de setas sea económicamente rentable. Además, los diferentes tratamientos pueden ser considerados como una alternativa al proceso de economía circular que a su vez disminuye el efecto contaminante actual de los residuos.

## Referencias

- Abdullah, N.; Lau, C. y Ismail, S. (2015). Potential use of *Lentinus squarrosulus* mushroom as fermenting agent and source of natural antioxidant additive in livestock feed. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(5), 1459-1466. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7242>
- Angulo, F.; Manmani, B. y Nova, M. (2022). Crecimiento *in vitro* de hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*) en diferentes medios de cultivo. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 98(1), 14-22. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2409-16182022000100010](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2409-16182022000100010)
- Akçay, B. C. y Doğan, H. H. (2019). Cultivo y difusión de *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. en la región de Mármara. *The Journal of Fungus*, 10(2), 92-102. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/842155>
- Asaduzzaman, K. y Mousumi, T. (2012). Nutritional and medicinal importance of *Pleurotus* mushrooms: An overview. *Food Reviews International*, 28(3), 313-329. <https://doi.org/10.1080/87559129.2011.637267>
- Association of Analytical Communities (AOAC). (2019). *Official methods of analysis of the association of official analytical chemists: Official methods of analysis of AOAC international* (21° edición). AOAC.
- Barba, M.; Assumpção, F.; Aparecida, H.; Lopes, G.; Ávila, S. y Silveira, P. (2019). Review: Factors affecting mushroom *Pleurotus* sp., *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(4), 633-646. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.12.005>
- Başıyigit, S. y Sakaldaş, M. (2021). Los efectos del envasado en atmósfera modificada a diferentes temperaturas de almacenamiento sobre la calidad del hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*). *ÇOMÜ LJAR*, 2(4), 48-55. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2135118>
- Bengü, A. Ş.; Yılmaz, H. Ç.; Türkekel, İ. y Işık, H. (2019). Determinación del contenido total de proteínas, vitaminas y ácidos grasos de los hongos *Pleurotus ostreatus* y *Agaricus bisporus* recolectados de la naturaleza y cultivados. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 6(2), 222-229. <https://doi.org/10.30910/turkjans.557099>
- Bermúdez, R.; García, N.; López, Y.; Mustelier, I. y Serrano, M. (2021). Evaluación del sustrato remanente de setas *Pleurotus* sp. en la producción de posturas de *Carica papaya* Lin. *Tecnología Química*, 41(2), 426-439. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-61852021000200426&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852021000200426&lng=es&tlng=es)
- Carvalho, T.; Brugnari, T.; Bracht, A.; Peralta, R. y Ferreira, I. (2016). Biotechnological, nutritional and therapeutic uses of *Pleurotus* spp. (oyster mushroom) related with its chemical composition: A review on the past decade findings. *Trends in Food Science & Technology*, 50, 103-117. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.01.012>
- Carrasco-Gonzales, J.; Serna-Saldívar, S. y Gutiérrez-Urbe, J. (2017). Nutritional composition and nutraceutical properties of the *Pleurotus* fruiting bodies: Potential use as food ingredient. *Journal of Food Composition and Analysis*, 58, 69-81. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.01.016>
- Catani, F.; Gargano, M. L.; Procià, G.; Venturella, G.; Cirilincione, F. y Ferraro, V. (2021). Micoquímicos en hongos silvestres y cultivados: nutrición y salud. *Revisiones de Fitoquímica*, 21, 339-383. <http://dx.doi.org/10.1007/s11101-021-09748-2>
- Collazos, Ch.; White, P.; White, H. S. *et al.* (1993). *La composición de alimentos de mayor consumo en el Perú* (6° edición). Ministerio de Salud; Banco Central de Reserva. <https://cendoc.chirapaq.org.pe/items/show/2674>
- Cruz, D.; Capa, D.; Maza, D.; Ojeda, R. y Benítez, A. (2020). Producción y valor proteico de *Pleurotus ostreatus* en la región sur de Ecuador. *ACI - Avances en Ciencias e Ingenierías*, 12(2), 34-43. <https://doi.org/10.18272/aci.v12i2.1806>
- Cuzcano-Ruiz, A.; Reyes-López, A.; Nieto-Juárez, J. y Collantes-Díaz, I. (2020). Estudio de los fitoconstituyentes de *Pleurotus ostreatus* cultivado en residuos de pulpa de café. *Tecnia*, 30(2), 64-68. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2309-04132020000200064](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2309-04132020000200064)
- Dedousi, M.; Melanouri, E. y Diamantopoulou, P. (2023). Carposome productivity of *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus*

- eryngii growing on agro-industrial residues enriched with nitrogen, calcium salts and oils. *Carbon Resources Conversion*, 6(2), 150-165. <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2023.02.001>
- Deepalakshmi, K. y Mirunalini, S. (2014). *Pleurotus ostreatus*: An oyster mushroom with nutritional and medicinal properties. *Journal of Biochemical Technology*, 5(2), 718-726. <https://jbiochemtech.com/storage/models/article/W8XcyYx1abn0BuLqBOKsnuWPknyki9rj5/pleurotus-ostreatus-an-oyster-mushroom-with-nutritional-and-medicinal-properties.pdf>
- Díaz, C. y Carvajal, E. (2014). Eficiencia biológica de *Pleurotus ostreatus* cultivado en fibra de palma de aceite. *@limentech - Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 12(1). <https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/alimen/es/article/view/1590>
- Díaz, K.; Casanova, G.; León, M.; Gil, C.; Bardales, L.; Betzabet, C. y Sánchez, J. (2019). Producción de *Pleurotus ostreatus* (Pleurotaceae) ICFC 153/99 cultivado sobre diferentes residuos lignocelulósicos. *Arnaldia*, 26(3), 1177-1184. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2413-32992019000300022](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2413-32992019000300022)
- Fracchia, S.; Miranda, V.; Sede, S.; Barbero, I.; Barros, J. y Delgado, N. (2022). Residuos de cultivos y subproductos agroindustriales de la provincia de La Rioja (Argentina) aptos para el cultivo del hongo ostra. *Agriscientia*, 39(2), 29-43. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v39.n2.36768>
- Fufa, F.; Alemu, F.; Wakjira, Y. y Birhanu, T. (2021). Cultivation of *Pleurotus ostreatus* on agricultural wastes and their combination. *International Journal of Agronomy*, 1465597. <https://doi.org/10.1155/2021/1465597>
- González, A., Nobre, C., Simões, L. S., Cruz, M., Loredó, A., Rodríguez-Jasso, R. M., Contreras, J. Texeira, J. y Belmares, R. (2021). Evaluación del potencial funcional y nutricional de un concentrado proteico del hongo *Pleurotus ostreatus*. *Food Chemistry*, 346, e128884. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128884>
- Kalmis, E.; Azbar, N.; Yildiz, H. y Kalyoncu, F. (2008). Feasibility of using olive mill effluent (OME) as a wetting agent during the cultivation of oyster mushroom, *Pleurotus ostreatus*, on wheat straw. *Bioresource Technology*, 99(1), 164-169. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.11.042>
- Kimassoum, M.; Diop, A. y Mbacham, W. (2017). Nutritional value of a dietary supplement of *Moringa oleifera* and *Pleurotus ostreatus*. *African Journal Food Science*, 11, 171-177. [10.5897/AJFS2016.1545](https://doi.org/10.5897/AJFS2016.1545)
- Li, H.; Liu, X.-B.; Zhao, Z. y Yang, Z. (2019). Genetic diversity, core collection and breeding history of *Pleurotus ostreatus* in China. *Mycoscience*, 60, 14-24. <https://doi.org/10.1016/j.myc.2018.07.002>
- López-Rodríguez, C.; Hernández-Corredor, R.; Suárez-Franco, C. y Borrero, M. (2008). Evaluación del crecimiento y producción de *Pleurotus ostreatus* sobre diferentes residuos agroindustriales del departamento de Cundinamarca. *Universitas Scientiarum*, 13(2), 128-137. <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/scientiarum/article/view/1417/879>
- Machado, A.; Simas, M.; Souza, L.; Da Conceição, M. y Aguiar, I. (2016). Nutritional value and proteases of *Lentinus citrinus* produced by solid state fermentation of lignocellulosic waste from tropical region. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 23(5), 621-627. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2015.07.002>
- Mojica, J. y Molano, C. (2006). Prueba de determinación de carbono total y nitrógeno total en el capacho de uchuva, la cáscara de arveja y la tusa de mazorca. Laboratorio Químico Analítica de Agua. E.U. Marzo. Bogotá, Colombia. 2006, 2.
- Morán, T.; Bautista, J.; Sobal, M.; Rosales, V.; Candelaria, B. y Huicab, Z. (2020). Potencial biotecnológico de residuos vegetales para producir *Pleurotus ostreatus* en zonas rurales de Campeche. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(3), 685-693. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i3.1925>
- Naveda, R.; Montalvo, A.; Flores del Pino, L. y Visitación, L. (2019). Remoción de lignina en el pretratamiento de cascarrilla de arroz por explosión con vapor. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 85(3), 352-361. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2019000300007&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2019000300007&lng=es&tlng=es)
- Neyra-Vasquez, J.; Panduro-Pisco, G.; Díaz-Zúñiga, E. y Iannacone, J. (2022). Caracterización física y química: biomasa residual de la palma (*Elaeis guineensis* Jacq.) en la Amazonia peruana. *Agronomía Mesoamericana*, 33(3), 48170. <https://doi.org/10.15517/am.v33i3.48170>
- Nieto-Juárez, J.; Cuzcano-Ruiz, Á. y Reyes-López, W. (2021). Evaluación del cultivo del hongo *Pleurotus ostreatus* y de su composición nutricional en borra de café. *Tecnia*, 31(2), 27-32. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2309-04132021000200027](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2309-04132021000200027)
- Norma Técnica Peruana. (1980). NTP 205.003. Cereales y menestras. Determinación de la fibra cruda. <https://es.scribd.com/document/547560713/205-003>
- Obando, G.; Vásquez, A.; Benavides, D. y Jojoa, H. (2022). Producción de hongo orellana (*Pleurotus ostreatus*) sobre residuos agrícolas y pastos generados en la comunidad de Obonuco, Nariño. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 9(2), 42-54. <https://doi.org/10.23850/24220582.4865>
- Raman, J.; Jang, K. Y.; Oh, Y. L.; Oh, M.; Im, J. H.; Lakshmanan, H. y Sabaratnam, V. (2021). Cultivation and nutritional value of prominent *Pleurotus* spp.: An overview. *Mycobiology*, 49(1), 1-14. <https://doi.org/10.1080/12298093.2020.1835142>
- Roblero-Mejía, D.; Aguilar-Marcelino, L. y Sánchez, J. (2021). Efecto de la variación del sustrato en la productividad de dos cepas de *Pleurotus* spp. *Scientia Fungorum*, 52, e1377. <https://doi.org/10.33885/sf.2021.52.1377>
- Rodríguez, G.; Martínez, D.; Buglione, M.; Filippi, M. y Agüero, M. (2018). Cultivo de *Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.) Kummer sobre orujo de pera: evaluación de la productividad y composición química del sustrato biodegradado. *Anales de Biología*, 40, 21-30. <http://dx.doi.org/10.6018/analesbio.40.03>
- Sassine, Y. N.; Naím, L.; El Sebaaly, Z.; Abou Fayssal, S.; Alsanad, M. A. y Yordanova, M. H. (2021). Efectos de la nanoreina sobre el valor nutricional de *Pleurotus ostreatus* según la dosis y el momento de aplicación. *Informes científicos*, 11(1), 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85191-9>
- Sekan, A. S.; Myronycheva, O. S.; Karlsson, O.; Gryganskyi, A. P. y Blume, Y. (2019). Green potential of *Pleurotus* spp. in biotechnology. *PeerJ* 7, e6664. <https://doi.org/10.7717/peerj.6664>
- Valencia de Ita, M. Á.; Castañeda, M. D.; Huerta, M. y Romero, O. (2019). Carrizo silvestre (*Arundo donax*) como sustrato alternativo en la producción de *Pleurotus ostreatus*. *Scientia Fungorum*, 48, 15-22. <https://doi.org/10.33885/sf.2018.48.1231>
- Valdés, A.; López, E. y Alonso, A. (2019). Gestión de residuos industriales y sostenibilidad. Necesidad de un enfoque de economía ecológica. *Revista Universidad y Sociedad*, 11(4), 424-435. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2218-36202019000400424](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202019000400424)
- Valera, A. (2019). Rendimiento del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* cultivado en diferentes sustratos a base de residuos agroindustriales de la ciudad de Tacna [Tesis de maestría].



- Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. <https://repositorio.unjbg.edu.pe/items/2b804670-db0c-47e2-bfde-a9ce94cefab>
- Velioglu, Z. y Urek, R. (2015). Optimization of cultural conditions for biosurfactant production by *Pleurotus djamor* in solid state fermentation. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 120(5), 526-531. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbiosc.2015.03.007>
- Wachira, PW.; Nguluu, S. y Kimatu, J. (2022). Differential growth and productivity of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) on agro-waste substrates in semi-arid regions of Kenya. *Revista Internacional de Reciclaje de Residuos Orgánicos en la Agricultura*, 11(3), 375-383. <https://oiccpres.com/ijrowa/article/view/2940>
- Wang, Y.; Gong, X.; Hu, X. y Zhou, N. (2019). Lignin monomer in steam explosion assist chemical treated cotton stalk affects sugar release. *Bioresource Technology*, 276, 343-348. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.01.008>
- Xiao, P.; Wu, D. y Wang, J. (2022). Análisis bibliométrico de la investigación global sobre biotecnología de hongos de pudrición blanca para aplicaciones ambientales. *Investigación Sobre Ciencias Ambientales y Contaminación*, 29(1), 1491-1507. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15787-1>