

Artículo original

## Utilización de subproductos lignocelulósicos para el cultivo de *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. y *P. djamor* (Rumph. ex Fr.) Boedijn en San Martín, Perú: una evaluación productiva y nutricional

### Utilization of lignocellulosic by-products for the cultivation of *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. y *P. djamor* (Rumph. ex Fr.) Boedijn in San Martín, Perú: a productive and nutritional evaluation

✉ José Jaime Cayotopa-Torres<sup>1,\*</sup>, ✉ E. Hanz Rodríguez-Cabrera<sup>2</sup>,  
✉ Delmar Arbey Olivera-Cayotopa<sup>1</sup>, ✉ Héctor Guerra-Arévalo<sup>1</sup>, ✉ Felix Andi Eugenio-Quiroz<sup>1</sup>,  
✉ Dennis del Castillo-Torres<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Microorganismos Eficientes, Dirección de Bosques, Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, Tarapoto, Perú

<sup>2</sup>Laboratorio de Botánica Aplicada Jean-Christophe Pintaud, Dirección de Diversidad Biológica, Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana Tarapoto, Perú

## Resumen

El cultivo de hongos comestibles del género *Pleurotus* representa una estrategia sostenible para la valorización de residuos lignocelulósicos en regiones agroforestales. En este estudio se evaluó el efecto productivo y nutricional de *Pleurotus ostreatus* (LMEPo-1) y *P. djamor* (LMEPd-1) utilizando rastrojo de maíz (*Zea mays*) (RM) y aserrín de yana bara (*Piptocoma discolor*) (AS), residuos abundantes en la región San Martín, Perú. Se analizaron las variables de eficiencia biológica, tasa de producción, rendimiento y composición proximal de los carpóforos. Los resultados mostraron que el sustrato RM 100 % combinado con *P. ostreatus* tuvo el mejor desempeño productivo, alcanzando una eficiencia biológica del 138,48 %, una tasa de producción del 2,53 % y un rendimiento del 22,53 %. En contraste, los tratamientos con AS 100 % permitieron producciones significativamente menores. La composición nutricional de los carpóforos también varió con el sustrato y la especie: *P. ostreatus* en RM 100 % se destacó por su alto contenido proteico (31,7 %) y de fibra cruda (25,2 %), mientras que *P. djamor* en AS 100 % tuvo mayor contenido de carbohidratos solubles (40,5 %). Se observó una influencia significativa de la interacción especie-sustrato sobre las variables evaluadas. Estos hallazgos respaldan el uso del rastrojo de maíz como sustrato eficiente y revalorizan su potencial en sistemas para el cultivo de especies comestibles del género *Pleurotus* con fines alimentarios, nutricionales y ambientales, promoviendo prácticas agrícolas circulares en la Amazonía peruana.

**Palabras clave:** Bioconversión fúngica; Hongos comestibles; Residuos agroindustriales; Sistemas alimentarios sostenibles.

## Abstract

The cultivation of edible mushrooms of the *Pleurotus* genus represents a sustainable strategy for valorizing lignocellulosic waste in agroforestry regions. Here, we evaluated the productive and nutritional performance of *Pleurotus ostreatus* (LMEPo-1) and *P. djamor* (LMEPd-1) using corn stover (*Zea mays*) (CS) and sawdust from yana bara (*P. discolor*) (SD), both abundant residues in the San Martín region of Perú. We analyzed variables such as biological efficiency, production rate, yield, and the proximate composition of fruiting bodies. The results showed that the CS 100% substrate combined with *P. ostreatus* exhibited the highest productive performance, reaching a biological efficiency of 138.48%, a production rate of 2.53%, and a yield of 22.53%. In contrast,

**Citación:** Cayotopa-Torres JJ, et al. Utilización de subproductos lignocelulósicos para el cultivo de *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. y *P. djamor* (Rumph. ex Fr.) Boedijn en San Martín, Perú: una evaluación productiva y nutricional. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 49(193):748-761, octubre-diciembre de 2025. doi: <https://doi.org/10.18257/raccefyn.3254>

**Editor:** Jairo Castaño Zapata

**\*Correspondencia:**

José Jaime Cayotopa-Torres;  
jcayotopa@iiap.gob.pe

**Recibido:** 14 de julio de 2025

**Aceptado:** 19 de agosto de 2025

**Publicado en línea:** 8 de octubre de 2025



Este artículo está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

treatments with SD 100% produced significantly lower outputs. The nutritional composition of the fruiting bodies also varied depending on the substrate and species: *P. ostreatus* grown on CS 100% stood out for its high protein (31.7%) and crude fiber (25.2%) content, while *P. djamor* on SD 100% had the highest content of soluble carbohydrates (40.5%). We confirmed the significant effect of species and substrate interaction for all the variables evaluated. These findings support the use of corn stover as an efficient substrate and highlight its potential in mushroom cultivation systems of *Pleurotus* species for food, nutritional, and environmental purposes, promoting circular agricultural practices in the Peruvian Amazon.

**Keywords:** Fungal bioconversion; Edible mushrooms; Agro-industrial waste; Sustainable food systems.

## Introducción

La diversidad mundial de hongos se estima entre 2,2 y 3,8 millones de especies, aunque solo unas 14.000 han sido descritas (Kaliyaperumal *et al.*, 2018; Rahimlou *et al.*, 2023). De ellas, alrededor de 700 poseen propiedades farmacológicas, unas 1.400 son letales y aproximadamente 7.000 se consideran comestibles (Kaliyaperumal *et al.*, 2018; Pérez-Montes *et al.*, 2021; Kothiyal *et al.*, 2022).

Los hongos comestibles de la división Basidiomycota son macrohongos que producen cuerpos fructíferos grandes, carnosos o gelatinosos que se han utilizado desde la antigüedad en la alimentación y en la medicina tradicional debido a su valor nutricional y propiedades terapéuticas (Wu *et al.*, 2019; Yu *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2021; Corpuz Jr. *et al.*, 2023). En la actualidad unas 200 especies se cultivan en laboratorio, cerca de 100 han sido domesticadas y alrededor de 60 se producen a nivel industrial. Entre las especies más destacadas se encuentran *Agaricus bisporus* (J.E.Lange) Imbach, *Lentinus edodes* (Berk.) Singer, *Auricularia auricula* (L.) Underw., *Flammulina velutipes* (Curtis) Singer, *Volvariella volvacea* (Bull.) Singer y especies del género *Pleurotus* (Wu *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2021).

El género *Pleurotus* incluye hongos comestibles con alto valor nutricional y propiedades medicinales. Son bajos en grasas, calorías y azúcares, pero ricos en proteínas, vitaminas y minerales, lo que los hace adecuados como alimentos funcionales, especialmente recomendables en dietas para personas con obesidad o diabetes (Bulam *et al.*, 2019; Fazoranti *et al.*, 2019). Se estima que su producción representa aproximadamente el 25 % del total de hongos cultivados a nivel mundial (Törös *et al.*, 2022), lo que demuestra su gran relevancia comercial. Este éxito se debe no solo a sus beneficios para la salud, sino también por su destacada capacidad ligninolítica, que les permite descomponer compuestos vegetales complejos y facilita su cultivo a gran escala en diversas regiones del mundo (Bellettini *et al.*, 2019).

Las especies del género *Pleurotus* constituyen una herramienta biotecnológica prometedora para mitigar el impacto ambiental generado por los residuos lignocelulósicos y agroalimentarios debido a su alta capacidad de biodegradación, su favorable perfil nutricional y su amplia adaptabilidad ecológica (Ritota & Manzi, 2019; Zapašnik *et al.*, 2025). Además, permiten valorizar estos desechos al transformarlos en biomasa fúngica comestible, lo que contribuye a la seguridad alimentaria (Ariyo, 2023).

Una de las principales ventajas del cultivo de *Pleurotus* spp. radica en su facilidad. A diferencia de *A. bisporus*, pueden producirse utilizando sustratos lignocelulósicos sin necesidad de compostarlos previamente, basta con picarlos, humedecerlos y esterilizarlos, lo que simplifica el proceso productivo (Raman *et al.*, 2021). Entre los sustratos comúnmente empleados se encuentran la paja de arroz, el bagazo de caña de azúcar, la paja de trigo, la cáscara de cacao, la de yuca, la cáscara y el tallo de maíz y el aserrín, entre otros (Fufa *et al.*, 2021; Doroški *et al.*, 2022).

En la Amazonía peruana las actividades agrícolas generan diversos subproductos agroindustriales y residuos vegetales con alto contenido nutricional, energético y proteico (Godoy *et al.*, 2021). La región San Martín en particular registra altos niveles de producción en cultivos como el arroz (797.767 t/anales), el cacao (56.136 t/anales), el

coco (9.867 t/anales), la palma aceitera (428.347 t/anales) y el maíz (110.450 t/anales), lo que conlleva la generación de grandes volúmenes de residuos agrícolas (**Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego - MINAGRI**, 2019). El sector forestal también aporta residuos lignocelulósicos, como el aserrín, que constituyen fuentes energéticas de bajo costo (**Bernaola *et al.***, 2023). En este contexto, tanto los residuos agrícolas como los forestales constituyen una alternativa viable y ambientalmente sostenible como sustratos para el cultivo de especies del género *Pleurotus*, favoreciendo, además, el aprovechamiento eficiente de los subproductos disponibles en la región.

En el presente estudio nos propusimos evaluar el potencial productivo y nutricional del cultivo de dos especies de *Pleurotus*: *P. ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. y *P. djamor* (Rumph. ex Fr.) Boedijn, utilizando subproductos lignocelulósicos disponibles en la región San Martín, Perú. Se seleccionaron residuos agrícolas y forestales representativos de la zona, con el fin de determinar su viabilidad como sustratos alternativos para la producción de biomasa fúngica comestible. Esta evaluación busca optimizar el aprovechamiento de materiales subutilizados y también contribuir al desarrollo de prácticas sostenibles que favorezcan la seguridad alimentaria y la valorización de residuos agroindustriales a nivel local.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

El estudio experimental se llevó a cabo en el Laboratorio de Microorganismos Eficientes (LME) del Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP), ubicado en la ciudad de Tarapoto, Perú. Esta zona se encuentra a una altitud de 324 m s.n.m. y presenta un clima estacionalmente cálido y húmedo, con temperaturas anuales que oscilan entre los 20 °C y los 39,8 °C (**Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - Senamhi**, 2024). Durante el periodo de ejecución del estudio (septiembre a noviembre de 2024), se registraron temperaturas máximas de 34,20 °C y mínimas de 22,94 °C.

### Especies de cultivo

Las especies utilizadas en este estudio fueron *P. ostreatus* (Jacq.) P. Kumm (LPMPo-1) y *P. djamor* (Rumph. ex Fr.) Boedijn (LPMPd-1), las cuales se adquirieron en la empresa Micelios, región Cusco. Una vez reactivadas en el LME del IIAP, se conservaron en refrigeración a 6 °C en el medio de cultivo papa dextrosa agar (PDA) al 2,5 % (250 g papa, 1 L de agua destilada, 20 g de dextrosa y 18 g de agar-agar).

### Producción de semillas inoculantes

Para la preparación del inóculo, se emplearon semillas de trigo (*Triticum aestivum* L.), las cuales se lavaron para desprender las impurezas y se hidrataron en agua durante 1 h. Después se escurrieron en un tamiz de plástico (28 cm x 16,50 cm x 7,70 cm), se colocaron en bolsas de polipropileno (35,56 cm x 60,96 cm x 2 µm) y se les añadió un 5 % p/p de hidróxido de calcio [Ca(OH)<sub>2</sub>]. Las bolsas se esterilizaron en una autoclave a 121 °C durante 45 min y luego se dejaron enfriar a temperatura ambiente en condiciones asépticas.

Después de haberse enfriado, las semillas fueron inoculadas con fragmentos de 1 cm<sup>2</sup> de agar previamente colonizado con las cepas LMEPo-1 y LMEPd-1 de *P. ostreatus* y *P. djamor*, respectivamente, bajo condiciones estériles dentro de una cabina de flujo laminar. Las bolsas inoculadas se incubaron a temperatura ambiente durante 25 días para permitir el crecimiento micelial de ambas especies.

### Preparación del sustrato y producción de carpóforos

Se emplearon residuos agrícolas y forestales como base para la formulación de los sustratos. En cuanto a los residuos agrícolas, se utilizó rastrojo de maíz (*Zea mays* L.) (RM), una fuente rica en carbono especialmente adecuada para el cultivo de especies de *Pleurotus* debido a su alto contenido de hemicelulosa (34,20 %), celulosa (28,10 %) y lignina (21,70 %) (**Zhou *et al.***, 2023). Como residuo forestal se empleó aserrín (AS) de *P. discolor* (Kunth) Pruski (conocido localmente como yana bara), una especie nativa de

rápido crecimiento abundante en los bosques secundarios de la Amazonía sudamericana, con alto potencial como fuente de biomasa y energía renovable (González *et al.*, 2023). Se evaluaron dos tratamientos con tres repeticiones cada uno: RM al 100 % y AS al 100 %.

El rastrojo de maíz se recolectó tras la cosecha en campos cercanos a la ciudad de Tarapoto y el aserrín se obtuvo del procesamiento de troncos de yana bara. En el laboratorio se fragmentó mecánicamente el rastrojo de maíz en segmentos de entre 1 y 5 cm de longitud. Ambos sustratos se dividieron en unidades de 1 kg (tres por tratamiento) y se hidrataron en un balde de 8 L con una solución al 2 % de hidróxido de calcio  $[Ca(OH)_2]$  durante 12 h y luego se escurrieron durante 4 h para posteriormente ser envasados en bolsas de polipropileno y esterilizados en autoclave a 121 °C durante 1 h; después se dejaron enfriar en condiciones asépticas a temperatura ambiente.

Una vez enfriados, los sustratos de RM y AS se inocularon con 5 % p/p de semillas de las dos especies de *Pleurotus*. Las bolsas inoculadas se incubaron en condiciones de oscuridad total a temperatura controlada ( $25 \pm 2$  °C). Cuando el micelio colonizó completamente los sustratos, las bolsas se trasladaron al módulo de cultivo del LME, donde se mantuvieron bajo condiciones de luz solar indirecta, temperatura controlada de  $25 \pm 2$  °C y humedad relativa entre el 85 y el 90 %. Se realizaron pequeños orificios en las bolsas para facilitar la aireación y estimular la aparición de los primordios y la formación de carpóforos (Figura 1).



**Figura 1.** Etapas del proceso de cultivo de *Pleurotus ostreatus* y *P. djamor* empleando rastrojo de maíz y aserrín como sustratos. **A.** Cultivo inicial del micelio en papa dextrosa agar (PDA). **B.** Preparación del inóculo mediante colonización de semillas de trigo. **C.** Sustrato previamente formulado y esterilizado. **D.** Inoculación del sustrato con el inóculo preparado. **E.** Desarrollo y colonización del micelio sobre el sustrato. **F.** Formación de primordios de *P. ostreatus*. **G.** Formación de primordios de *P. djamor*. **H.** Fructificación y maduración de carpóforos de *P. ostreatus*. **I.** Fructificación y maduración de carpóforos de *P. djamor*

### ***Eficiencia biológica, tasa de producción y rendimiento***

Para cada tratamiento, se registró el peso de los sustratos húmedos y el peso fresco de los carpóforos obtenidos en cada cosecha hasta el agotamiento del sustrato. Estos datos se emplearon para calcular los siguientes parámetros:

eficiencia biológica (EB), determinada como el porcentaje de conversión del sustrato seco en masa fresca de carpóforos según la siguiente fórmula (Roblero-Mejía et al., 2021):

$$EB (\%) = \left( \frac{\text{Peso fresco total de carpóforos (g)}}{\text{Peso seco del sustrato (g)}} \right) \times 100 \quad (1);$$

tasa de producción (TP), calculada como el rendimiento de carpóforos frescos por bolsa durante el tiempo total de producción mediante la fórmula (Jaramillo & Albertó, 2019):

$$TP (\%) = \frac{EB (\%)}{(\text{días de incubación} + \text{días de producción})} \quad (2);$$

tasa de producción diaria (TPD), estimada como el rendimiento promedio de carpóforos frescos por día durante el período efectivo de fructificación, considerando los días en los que se registró cosecha según la siguiente fórmula:

$$TPD (\text{g/día}) = \frac{\text{Peso total de carpóforos (g)}}{\text{Número de días de cosecha}} \quad (3), \text{ y}$$

rendimiento (R), determinado como la proporción entre el peso fresco de los carpóforos y el peso húmedo inicial del sustrato, expresado en porcentaje (Maccapa et al., 2024):

$$R (\%) = \left( \frac{\text{Peso fresco total de carpóforos (g)}}{\text{Peso húmedo del sustrato (g)}} \right) \times 100 \quad (4).$$

### ***Análisis de composición proximal de los carpóforos***

La determinación de la composición proximal, incluidos los contenidos de grasa, ceniza y proteína cruda, se hizo en el laboratorio agrícola del Instituto de Cultivos Tropicales (ICT). Los análisis se efectuaron conforme a los procedimientos establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-086-SSA1-1994 (Bienes y servicios. Alimentos y bebidas no alcohólicas con modificaciones en su composición. Especificaciones nutrimentales). Los resultados se expresaron como porcentaje (% p/p) del peso del material seco.

### ***Análisis de datos***

Mediante estadística descriptiva se calcularon los valores de media y desviación estándar. En los análisis inferenciales se utilizó un nivel de significación de  $\alpha = 0,05$ . Dado que las variables de respuesta presentaron distribución normal, estas se analizaron mediante modelos lineales (LM) en un diseño factorial con interacción. A las características de los carpóforos y a los valores de productividad se les aplicó un análisis de varianza (ANOVA) seguido de la prueba de Tukey para la comparación de medias. Todos los análisis se realizaron en el software RStudio versión 2025.05.0+496 (RStudio Team, 2025).

## **Resultados y Discusión**

### ***Producción de carpóforos y rendimiento de los sustratos***

En los tratamientos con sustratos RM 100 %, el tiempo promedio de incubación de las cepas LMEPo-1 y LMED-1 de *P. ostreatus* y *P. djamor* fue de 26 y 29 días, respectivamente (Tabla 1). Estos valores se encuentran dentro del rango reportado para las especies del género *Pleurotus*, cuyo tiempo de incubación varía entre 24 y 55,66 días, dependiendo de la especie cultivada (Raman et al., 2021; İnci et al., 2024). Durante esta fase, la temperatura ambiental influye directamente en la velocidad de desarrollo del micelio, en tanto que la luz no se requiere para dicho proceso.

En cuanto al periodo medio de producción, se registraron valores de 30 días para *P. ostreatus* (LPMPo-1) y de 30,33 días para *P. djamor* (LPMPd-1) en el mismo sustrato (**Tabla 1**), lo que evidenció un comportamiento productivo similar entre ambas especies bajo las condiciones evaluadas. Según **Belletini et al.** (2019), factores como la temperatura del aire, la humedad relativa y la concentración de nutrientes en los sustratos pueden actuar sinérgicamente y favorecer la producción de hongos. Por lo tanto, el desempeño observado en estas especies podría atribuirse a una relación adecuada entre las condiciones de cultivo y los requerimientos fisiológicos de cada especie.

Los tratamientos con sustratos RM 100 % permitieron obtener al menos tres cosechas, en tanto que aquellos con AS 100 % solo produjeron dos. En términos de rendimiento, los tratamientos con RM también alcanzaron las mayores producciones promedio, con 1384,77 g para *P. ostreatus* (LPMPo-1) y 1008,48 para *P. djamor* (LPMPd-1) (**Tabla 1**). En la **Tabla 2** se muestra la comparación del tiempo de incubación, el periodo de producción y el peso promedio total obtenido en especies de *Pleurotus* reportadas en otros estudios, lo que sirve para contextualizar nuestros resultados.

El peso total de los carpóforos frescos presentó diferencias significativas en función del tipo de sustrato ( $F=63,19$ ;  $gl=1$ ;  $p=4,57e^{-05}$ ) y la especie empleada ( $F=5,45$ ;  $gl=1$ ;  $p=0,048$ ). El sustrato que generó el mayor aporte en la producción de carpóforos fue RM

**Tabla 1.** Producción total de carpóforos frescos (g) de *Pleurotus ostreatus* y *P. djamor* de acuerdo con el tratamiento evaluado

Tratamientos	DI	PP	1ª Co (%)	2ª Co (%)	3ª Co (%)	Peso total
<b><i>Pleurotus ostreatus</i> (Cepa LPMPo-1)</b>						
RM 100 %						
B2	26	32	679,99 (42,18)	631,04 (39,15)	301,03 (18,67)	1612,06 g
B3	26	18	634,80 (49,63)	644,36 (50,37)	-	1279,16 g
B5	26	40	573,43 (45,40)	419,25 (33,19)	270,40 (21,41)	1263,08 g
Promedio	26	30	629,41 g	564,88 g	285,72 g	1384,77 g
AS 100 %						
B2	42	18	288,60 (58,57)	204,13 (41,43)	-	492,73 g
B4	42	18	314,69 (58,73)	221,11 (41,27)	-	535,80 g
B5	45	19	277,72 (56,81)	211,12 (43,19)	-	488,84 g
Promedio	43	18,33	293,67 g	212,12 g	-	505,79 g
<b><i>Pleurotus djamor</i> (Cepa LPMPd-1)</b>						
RM 100 %						
B1	28	27	496,84 (43,52)	345,32 (30,21)	300,37 (26,27)	1142,53 g
B2	31	24	411,26 (35,86)	444,89 (38,83)	290,38 (25,31)	1146,53 g
B4	31	40	358,31 (48,64)	244,76 (33,29)	133,30 (18,07)	736,37 g
Promedio	29	30,33	422,14 g	344,99 g	241,35 g	1008,48 g
AS 100 %						
B2	35	28	267,40 (58,24)	191,70 (41,76)	-	459,10
B3	41	26	287,05 (57,38)	213,20 (42,62)	-	500,25
B4	37	18	245,42 (56,65)	187,81 (43,35)	-	433,23
Promedio	37,67	24	266,62	197,57	-	464,19

DI: días de incubación; PP: periodo de producción (desde el final de la incubación hasta el último día de cosecha); (%): proporción de cada cosecha

**Tabla 2.** Comparación de las condiciones de cultivo, duración de etapas y rendimiento total de *P. ostreatus* y *P. djamor* en diversos sustratos según estudios de los últimos cinco años

Especie	Sustrato	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Días de incubación	Días de producción	Peso total (g)	Referencia
<i>Pleurotus ostreatus</i>	RM 100 %	25 ± 2	85 – 90	26	30 ± 11,14	1384,77	Presente estudio
	AS 100 %	25 ± 2	85 – 90	43 ± 1,73	18,33 ± 0,58	505,79	Presente estudio
	desechos de jojoba	26 ± 3	80 ± 5	18,53 ± 2,06	51,04 ± 3,67	1049,8	Delgado et al., 2024
	paja de avena	13 - 15	60 – 70	38	65	796	Maccapa et al., 2024
	heno de totora	13 - 15	60 – 70	33	55	868	Maccapa et al., 2024
	broza de quinua	13 - 15	60 – 70	28	38	596	Maccapa et al., 2024
	paja de trigo	18 - 24	73 – 94	19	21	916,67	Vargas-Mendoza et al., 2024
	rastrojo de maíz	24	75 – 85	25	28	561,13	Lorenzana-Moreno et al., 2023
	mazorca de maíz	25	-	31	-	1441,18	Fufa et al., 2021
	paja de mijo	25	-	37	-	253,07	Fufa et al., 2021
	desecho de bambú	25	-	46	-	180,79	Fufa et al., 2021
	rastrojo de maíz	19,5 ± 2	85 – 90	24,1 ± 1,24	25,5 ± 1,3	238,9	García et al., 2021
	paja de avena	19,5 ± 2	85 – 90	26,5 ± 0,53	25,5 ± 1,3	258,1	García et al., 2021
	olote de maíz	25	80 – 90	21 - 35	-	94,5	Roblero-Mejía et al., 2021
	papel de desecho	25	-	33	-		Tesfay et al., 2020
<i>Pleurotus djamor</i>	RM 100 %	25 ± 2	85 – 90	29 ± 1,73	30,33 ± 8,5	1008,48	Presente estudio
	AS 100 %	25 ± 2	85 – 90	37,67 ± 3,06	24 + 5,29	464,19	Presente estudio
	desechos de jojoba	26 ± 3	80 ± 5	20	57,8 ± 0,75	721,2	Delgado et al., 2024
	paja de trigo	25	80	29	-	308	Dwivedi et al., 2024
	paja de trigo	25 ± 1	80 – 85	37,5 ± 1,90	90,5 ± 7,3	90	Ínci et al., 2024
	tallos de quinua	25 ± 1	80 – 85	32,1 ± 2,34	50 ± 7,4	176,25	Ínci et al., 2024
	rastrojo de maíz	24	75 – 85	25	28	525	Lorenzana-Moreno et al., 2023
	paja de arroz	25	90	9 – 21	32 – 47	35,67	Sindhu et al., 2023
	olote de maíz	25	80 – 90	21 - 35	-	129,1	Roblero-Mejía et al., 2021

100 %, con un promedio de 1196,63 g. La relación *P. ostreatus* (LMEPo-1)/RM 100 % registró el valor más alto, con un peso promedio de 1384,77 g de carpóforos frescos (Tabla 3). Estos resultados coinciden con lo reportado en estudios previos que destacan la gran eficiencia productiva del rastrojo de maíz como sustrato base para el cultivo de especies de *Pleurotus* debido a su adecuada composición lignocelulósica y disponibilidad de nutrientes (Lorenzana-Moreno et al., 2023).

En cuanto al peso total de los carpóforos secos, se observó una influencia significativa del tipo de sustrato ( $F=56,09$ ;  $gl=1$ ;  $p=7e^{-05}$ ), de la especie ( $F=21,54$ ;  $gl=1$ ;  $p=0,002$ ), y de la interacción especie/sustrato ( $F=11,49$ ;  $gl=1$ ;  $p=0,01$ ). La relación *P. ostreatus* (LMEPo-1)/RM 100 % también obtuvo el mayor promedio en esta variable, alcanzando 180,78 g de carpóforo seco. No obstante, para la especie *P. djamor* (LMEPd-1) no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados (Tabla 3), lo cual sugiere su menor sensibilidad a las variaciones en el tipo de sustrato en lo que respecta a la producción de biomasa seca.

Asimismo, se detectaron diferencias entre los sustratos en la proporción de humedad del carpóforo ( $F=10,09$ ;  $gl=1$ ;  $p=0,01$ ) y en la proporción de masa seca ( $F=9,58$ ;  $gl=1$ ;  $p=0,015$ ). Sin embargo, al analizar estas variables por especie, no se identificaron diferencias

significativas entre los tratamientos para ninguna de las dos especies (**Tabla 3**), lo que indica que, si bien el sustrato influye en la composición hídrica del carpóforo, dicha variación no se manifiesta consistentemente entre especies.

Estos resultados refuerzan la importancia de seleccionar adecuadamente tanto la especie como el sustrato en función de los objetivos productivos del cultivo, de manera que permiten convertir los residuos lignocelulósicos de los campos agrícolas y de los bosques en biomasa rica en proteínas (**Besufekad et al.**, 2020). En este caso, el sustrato RM 100 % combinado con la cepa *P. ostreatus* (LMEPo-1) representó una opción muy eficiente en términos de rendimiento en peso fresco y seco, lo que la convierte en una alternativa prometedora para escalas de producción comercial.

La eficiencia biológica (EB) se vio significativamente influenciada por el tipo de sustrato ( $F=63,20$ ;  $gl=1$ ;  $p=4,57e^{-05}$ ), mientras que la especie influyó en menor medida y sin significación estadística ( $F=5,45$ ;  $gl=1$ ;  $p=0,48$ ). El valor más alto de EB se registró en la relación *P. ostreatus* (LMEPo-1)/ RM 100 %, con un promedio de 138,48 %, seguido de *P. djamor* (LMEPd-1)/ RM 100 % con 100,85 % (**Tabla 4**). Estos resultados respaldan el notable potencial del rastrojo de maíz (RM) como sustrato eficiente para el cultivo de ambos hongos, ya que se superó ampliamente el 40 % de EB sugerido por **Gume et al.** (2013) como criterio mínimo para recomendar un sustrato en la producción de *Pleurotus*, aunque se han reportado eficiencias superiores a la de este estudio en otros materiales, como el papel de desecho, con 179,2 % (**Tesfay et al.**, 2020). Por otro lado, sustratos como el AS 100 % mostraron rendimientos considerablemente bajos, con valores de 50,58 % para *P. ostreatus* (LMEPo-1) y 46,42 % para *P. djamor* (LMEPd-1) (**Tabla 4**), mientras que otros residuos lignocelulósicos como el olote de maíz reportaron incluso menores eficiencias, por ejemplo, el 33,2 % registrado por **Roblero-Mejía et al.** (2021) para *P. djamor*, lo que sugiere un aprovechamiento subóptimo de estos materiales por las especies evaluadas en el estudio (**Tabla 5**).

**Tabla 3.** Características de los carpóforos de *Pleurotus ostreatus* y *P. djamor* según los tratamientos

Especies	Peso total del carpóforo fresco (g)		
	RM 100 %	AS 100 %	Promedio
<i>Pleurotus ostreatus</i> (LMEPo-1)	1384,77 ± 197,01 <sup>a</sup>	505,79 ± 26,06 <sup>b</sup>	945,28
<i>Pleurotus djamor</i> (LMEPd-1)	1008,48 ± 235,66 <sup>a</sup>	464,19 ± 33,80 <sup>b</sup>	736,34
Promedio	1196,63	484,99	
Peso total del carpóforo seco (g)			
<i>Pleurotus ostreatus</i> (LMEPo-1)	180,78 ± 3,73 <sup>a</sup>	57,18 ± 0,78 <sup>b</sup>	118,98
<i>Pleurotus djamor</i> (LMEPd-1)	89,54 ± 39,09 <sup>a</sup>	42,95 ± 2,56 <sup>a</sup>	66,25
Promedio	135,16	50,07	
Proporción de humedad del carpóforo (%)			
<i>Pleurotus ostreatus</i> (LMEPo-1)	86,79 ± 1,60 <sup>a</sup>	88,69 ± 0,64 <sup>a</sup>	87,74
<i>Pleurotus djamor</i> (LMEPd-1)	87,05 ± 1,38 <sup>a</sup>	89,22 ± 0,19 <sup>a</sup>	88,14
Promedio	86,92	88,96	
Proporción de masa seca del carpóforo (%)			
<i>Pleurotus ostreatus</i> (LMEPo-1)	12,94 ± 1,47 <sup>a</sup>	11,31 ± 0,64 <sup>a</sup>	12,26
<i>Pleurotus djamor</i> (LMEPd-1)	12,95 ± 1,38 <sup>a</sup>	10,78 ± 0,19 <sup>a</sup>	11,87
Promedio	12,95	11,05	

Los valores con letras diferentes presentan diferencias significativas entre sí ( $p < 0,05$ , Tukey)

**Tabla 4.** Eficiencia biológica, tasa de producción y rendimiento alcanzados por las dos especies de *Pleurotus* en los sustratos evaluados

Especies	Eficiencia biológica (%)		
	RM 100 %	AS 100 %	Promedio
<i>Pleurotus ostreatus</i> (LMEPo-1)	138,48 ± 19,70 <sup>a</sup>	50,58 ± 2,61 <sup>b</sup>	96,34
<i>Pleurotus djamor</i> (LMEPd-1)	100,85 ± 23,56 <sup>a</sup>	46,42 ± 3,38 <sup>b</sup>	79,33
Promedio	119,67	48,5	
Tasa de producción (%)			
<i>Pleurotus ostreatus</i> (LMEPo-1)	2,53 ± 0,54 <sup>a</sup>	0,82 ± 0,07 <sup>b</sup>	1,68
<i>Pleurotus djamor</i> (LMEPd-1)	1,61 ± 0,53 <sup>a</sup>	0,75 ± 0,03 <sup>a</sup>	1,18
Promedio	2,07	0,79	
Tasa de producción diaria (g/día)			
<i>Pleurotus ostreatus</i> (LMEPo-1)	61,34 ± 28,33 <sup>a</sup>	35,35 ± 2,84 <sup>a</sup>	48,35
<i>Pleurotus djamor</i> (LMEPd-1)	35,32 ± 14,62 <sup>a</sup>	24,27 ± 6,06 <sup>a</sup>	29,80
Promedio	48,33	29,81	
Rendimiento (%)			
<i>Pleurotus ostreatus</i> (LMEPo-1)	22,53 ± 2,79 <sup>a</sup>	10,13 ± 0,50 <sup>b</sup>	16,63
<i>Pleurotus djamor</i> (LMEPd-1)	16,43 ± 5,52 <sup>a</sup>	9,55 ± 0,65 <sup>b</sup>	13,90
Promedio	20,68	9,85	

Los valores con letras diferentes presentan diferencias significativas entre sí ( $p < 0,05$ , Tukey)

La tasa de producción también se vio influenciada por el tipo de sustrato ( $F=34,06$ ;  $gl=1$ ;  $p=0,0004$ ). La relación *P. ostreatus* (LMEPo-1)/RM 100 % registró el valor más alto, con 2,53 %, superando a la otra especie y sustrato (**Tabla 4**). Sin embargo, a nivel de especie, en *P. djamor* (LMEPd-1) no se encontraron diferencias entre los tratamientos (**Tabla 4**). Según **García et al.** (2021), este resultado supera los valores reportados para *P. ostreatus* cultivado en paja de avena (*Avena sativa* L.) (1,78 %) y rastrojo de maíz (1,99 %), así como los valores obtenidos para *P. djamor* en paja de arroz (*Oryza sativa* L.) (1,46–2,42 %) (**Sindhu et al.**, 2023). En contraste, la TP más baja se registró para *P. djamor* cultivada sobre paja de trigo, con solo el 0,15 % (**Ínci et al.**, 2024), lo que podría atribuirse a condiciones de cultivo desfavorables o a una baja afinidad entre la especie y ese sustrato específico (**Tabla 5**).

En cuanto a la tasa de producción diaria (TPD), aunque no se detectaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ), se observaron tendencias relevantes. El sustrato RM 100 % mostró mayor TPD, con un promedio de 48,33 %, alcanzando su valor máximo en la relación *P. ostreatus* (LMEPo-1)/RM 100 %, con 61,34 % (**Tabla 4**), lo que indica una elevada eficiencia temporal de producción. En contraste, sustratos como los desechos de jojoba [*Simmondsia chinensis* (Link) C.K. Scheined], a pesar de mostrar una buena duración productiva (51–57 días), presentaron valores más bajos de TPD (<1 %), evidenciando una producción más lenta, aunque sostenida (**Delgado et al.**, 2024).

El rendimiento también varió de forma significativa tanto entre sustratos ( $F=53,49$ ;  $gl=1$ ;  $p=8,28e^{-05}$ ) como entre especies ( $F=6,40$ ;  $gl=1$ ;  $p=0,04$ ), siendo el sustrato RM 100 % el que presentó el mayor promedio (20,68 %), destacándose la relación *P. ostreatus* (LMEPo-1)/RM 100 %, con un valor de 22,53 % (**Tabla 4**). Este rendimiento fue superior al registrado en otros sustratos como el rastrojo de maíz (16,03 %), la broza de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) (17,03 %) y los desechos de jojoba (11,87 %), e incluso

**Tabla 5.** Comparación de la eficiencia biológica (EB), tasa de producción (TP) y rendimiento (R) de *Pleurotus ostreatus* y *P. djamor* en distintos sustratos con lo reportado en estudios de los últimos cinco años

Especie	Sustrato	Eficiencia biológica (%)	Tasa de producción (%)	Rendimiento (%)	Referencia
<i>Pleurotus ostreatus</i>	RM 100 %	138,48	2,53	22,53	Presente estudio
	AS 100 %	50,58	0,82	10,13	Presente estudio
	desechos de jojoba	33,91	0,65	11,87	Delgado <i>et al.</i> , 2024
	paja de avena	79,60	1,07	24,11	Maccapa <i>et al.</i> , 2024
	heno de totora	86,80	1,30	22,25	Maccapa <i>et al.</i> , 2024
	broza de quinua	59,60	0,90	17,03	Maccapa <i>et al.</i> , 2024
	paja de trigo	35,17	0,87	8,79	Vargas-Mendoza <i>et al.</i> , 2024
	rastrojo de maíz	48,38	0,91	16,03	Lorenzana-Moreno <i>et al.</i> , 2023
	mazorca de maíz	41,07	-	28,82	Fufa <i>et al.</i> , 2021
	paja de mijo	50,20	-	5,06	Fufa <i>et al.</i> , 2021
	desecho de bambú	35,07	-	3,62	Fufa <i>et al.</i> , 2021
	rastrojo de maíz	119,5	1,99	23,89	García <i>et al.</i> , 2021
	paja de avena	129,1	1,78	25,81	García <i>et al.</i> , 2021
	olote de maíz	24,6	0,3	9,5	Roblero-Mejía <i>et al.</i> , 2021
	papel de desecho	179,2	-	11,94	Tesfay <i>et al.</i> , 2020
<i>Pleurotus djamor</i>	RM 100 %	100,85	1,61	16,43	Presente estudio
	AS 100 %	46,42	0,75	9,55	Presente estudio
	paja de cebada	40,67	0,46	3,23	Aguilar-Ventura <i>et al.</i> , 2025
	hoja de caña de azúcar	42,28	1,75	5,25	Aguilar-Ventura <i>et al.</i> , 2025
	rastrojo de maíz	74,07	2,17	7,59	Aguilar-Ventura <i>et al.</i> , 2025
	desechos de jojoba	28,64	0,55	10,03	Delgado <i>et al.</i> , 2024
	paja de trigo	14,11	0,15	12	İnci <i>et al.</i> , 2024
	tallos de quinoa	27,65	0,55	23,5	İnci <i>et al.</i> , 2024
	rastrojo de maíz	45,7	0,86	15	Lorenzana-Moreno <i>et al.</i> , 2023
	paja de arroz	99,5	1,46 - 2,42	14,26	Sindhu <i>et al.</i> , 2023
	olote de maíz	33,2	0,5	12,9	Roblero-Mejía <i>et al.</i> , 2021

comparable a materiales tradicionalmente eficaces como la paja de avena (25,81 %) o el heno de totora [*Schoenoplectus californicus* (C.A. Mey) Soják] (22,25 %). En contraste, sustratos como la paja de mijo (*Panicum miliaceum* L.) (5,06 %), el bambú (*Bambusa vulgaris* L.) (3,62 %) y el papel de desecho (11,94 %) mostraron rendimientos considerablemente bajos, probablemente por limitaciones nutricionales o físicas (Tabla 5). Estos resultados evidencian que la eficiencia del rendimiento depende fuertemente de la interacción entre el tipo de sustrato y la especie utilizada, y posicionan el RM 100 % como una alternativa efectiva y sostenible para la producción de *Pleurotus*.

Por último, se encontraron diferencias significativas en el peso húmedo de los sustratos luego del proceso de hidratación ( $F=230,77$ ;  $gl=1$ ;  $p=3,52e-07$ ), observándose que el sustrato RM 100 % fue el que alcanzó el mayor peso tras 12 horas de humectación, con un promedio de 6128,34 g, frente a 4923,34 g registrados en AS 100 % (Tabla 6). Este comportamiento sugiere una mayor capacidad de retención de agua por parte del RM, lo cual podría estar relacionado con su porosidad, estructura fibrosa o composición

**Tabla 6.** Incremento en el contenido de humedad en 1000 g de sustrato en *Pleurotus ostreatus* y *P. djamor*

Especies	Peso húmedo del sustrato (g)		
	RM 100 %	AS 100 %	Promedio
<i>Pleurotus ostreatus</i> (LMEPo-1)	6136,67 ± 120,14 a	4996,67 ± 145,72 b	5566,67
<i>Pleurotus djamor</i> (LMEPd-1)	6120 ± 180,83 a	4850 ± 85,44 b	5485
Promedio	6128,34	4923,34	

Los valores con letras diferentes presentan diferencias significativas entre sí ( $p < 0,05$ , Tukey)

lignocelulósica, lo que favorecería un entorno más adecuado para el desarrollo del micelio. Estos resultados resaltan la importancia de considerar las propiedades fisicoquímicas del sustrato, ya que una mayor disponibilidad de agua puede influir positivamente en los procesos de colonización, fructificación y rendimiento del cultivo de *Pleurotus* (Zárate-Salazar et al., 2020; Zubairi et al., 2022).

#### Composición proximal de los carpóforos

El análisis de la composición proximal de los carpóforos evidenció diferencias notables entre las especies y los sustratos utilizados (Tabla 7). La especie *P. djamor* (LMEPd-1) cultivada en AS 100 % sobresalió por su alto contenido de carbohidratos solubles (40,5 %) y humedad (89,22 %), lo que sugiere una mayor acumulación de compuestos energéticos solubles, aunque con una menor concentración de proteínas (22,4 %) en comparación con el cultivo en RM 100 % (36,7 %), donde también presentó un contenido intermedio de fibra cruda (17,5 %). En contraste, *P. ostreatus* (LMEPo-1) mostró en RM 100 % el mayor contenido proteico (31,7 %) y de fibra cruda (25,2 %), parámetros deseables desde el punto de vista nutricional, mientras que en AS 100 % presentó un perfil más equilibrado con mayores carbohidratos solubles (23,7 %) y fibra cruda moderada (18,6 %). En términos generales, los niveles de aceites y grasas se mantuvieron relativamente homogéneos entre especies y sustratos, sin variaciones sustanciales (entre 9,7 y 11,4 %).

Al comparar estos resultados con los estudios de Raman et al. (2021) e İnci et al. (2024), los valores de proteína y fibra de *P. ostreatus* (LMEPo-1) en RM 100 % se situaron por encima del promedio reportado para *P. djamor* y *P. ostreatus*, lo que resalta el potencial nutricional de esta combinación. Así, los datos evidencian que tanto el tipo de sustrato como la especie influyen significativamente en la calidad nutricional de los carpóforos, lo que permite direccionar el cultivo hacia perfiles deseados según su uso final.

**Tabla 7.** Composición proximal de los carpóforos de *Pleurotus ostreatus* y *P. djamor* cosechados en sustratos de rastrojo de maíz (RM 100 %) y aserrín (AS 100 %)

Cepa	Sustrato	Composición proximal					
		Humedad (%)	Aceites y grasas (%)	Fibra cruda (%)	Cenizas (%)	Proteína (%)	Carbohidratos solubles (%)
<i>Pleurotus ostreatus</i> (LMEPo-1)	RM 100 %	86,79	11,4	25,2	4,2	31,7	12,3
	AS 100 %	88,69	9,7	18,6	3,1	24,5	23,7
<i>Pleurotus djamor</i> (LMEPd-1)	RM 100 %	87,05	10,8	17,5	2,9	36,7	18,0
	AS 100 %	89,22	10,9	10,0	1,7	22,4	40,5

## Conclusiones

El estudio demostró que el cultivo de especies del género *Pleurotus* utilizando subproductos lignocelulósicos de la región San Martín representa una alternativa productiva, sostenible y de alto valor nutricional. Entre los sustratos evaluados, el rastrojo de maíz (RM 100 %) combinado con la especie *P. ostreatus* (LMEPo-1) presentó el mejor desempeño, con altos valores de eficiencia biológica, tasa de producción y contenido proteico, superando significativamente al aserrín de yana bara (AS 100 %). Aunque el aserrín mostró un perfil nutricional con mayor proporción de carbohidratos solubles, su rendimiento fue limitado en ambas especies. Además, se evidenció que la interacción entre el tipo de sustrato y la especie influye de manera significativa en los resultados de productividad y composición proximal de los carpóforos. Estos hallazgos resaltan la importancia de seleccionar estratégicamente los insumos de cultivo y validan el potencial de las especies de *Pleurotus* como herramienta biotecnológica para la valorización de residuos agroindustriales y la promoción de prácticas agrícolas sostenibles en esta región de la Amazonía peruana.

## Agradecimientos

Agradecemos al Instituto de Cultivos Tropicales (ICT) por las facilidades brindadas y la prestación del servicio de análisis de la composición proximal de los carpóforos, así como a la empresa Micelios por la provisión de las especies de *Pleurotus* empleadas en el presente estudio.

## Contribución de los autores

**JJCT**: concepción del trabajo, dirección de la investigación, toma de datos, análisis y discusión de los resultados, redacción del manuscrito; **EHRC**: asesoría de diseño metodológico del trabajo, investigación, análisis de datos, análisis y discusión de los resultados, revisión y redacción del manuscrito; **DAOC**: toma de datos, redacción del manuscrito. Todos los autores revisaron los resultados, y corrigieron y aprobaron la versión final del manuscrito.

## Conflicto de intereses

Los autores declaramos no tener ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

## Referencias

- Aguilar-Ventura, D. A., Serna-Lagunes, R., Aguilar-Rivera, N., Mata, G., Zetina-Córdoba, P., Llarena-Hernández, R. C.** (2025). Capacidad productiva de cepas nativas de *Pleurotus djamor* en Veracruz, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 12(1), e4115. <https://doi.org/10.19136/era.a12n1.4115>
- Ariyo, O. O.** (2023). Edible Mushrooms: their Impact on Food Security. *FUOYE Journal of Pure and Applied Sciences*, 8(2), 57-68. <https://doi.org/10.55518/fjpas.QBCF1374>
- Bellettini, M. B., Fiorda, F. A., Maieves, H. A., Teixeira, G. L., Ávila, S., Hornung, P. S., Júnior, A. M., Ribani, R. H.** (2019). Factors affecting mushroom *Pleurotus* spp. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(4), 633-646. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.12.005>
- Bernaola, R. I., Flores, C. E., Parada, D. C., Rodríguez, U. F.** (2023). Energy potential of agricultural and forestry by-Products in Peru. *Journal of Renewable Energy and Environment*, 10(1), 1-8. <https://doi.org/10.30501/jree.2022.323731.1310>
- Besufekad, Y., Mekonnen, A., Girma, B., Daniel, R., Tassema, G., Melkamu, J., Asefa, M., Fikiru, T., Denboba, L.** (2020). Selection of appropriate substrate for production of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). *Journal of Yeast and Fungal Research*, 11(1), 15-25. <https://doi.org/10.5897/JYFR2019.0187>
- Bulam, S., Üstün, N. Ş., Pekşen, A.** (2019). Evaluation of nutritional and medicinal values of edible wild and cultivated *Pleurotus ostreatus*. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 7(12), 2054-2061. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v7i12.2054-2061.2730>

- Corpuz Jr., J. C., De la Cruz, J. G., Magallanes, R., Laforteza, J. V. R.** (2023). A Review on benefits, cultivation and biodiversity of macrofungi. *International Journal of Research Publication and Reviews*, 4(11), 1586-1592. <https://doi.org/10.55248/gengpi.4.1123.113103>
- Delgado, N., Miranda, V., Barros, J., Isla, M. I., Fracchia, S.** (2024). Exploring local lignocellulosic substrates for the production of edible mushrooms in Northwestern Argentina. *Lilloa*, 61(2), 317-339. <https://doi.org/10.30550/j.lil/1973>
- Doroški, A., Klaus, A., Jambak, A. R., Djekic, I.** (2022). Food waste originated material as an alternative substrate used for the cultivation of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*): A Review. *Sustainability*, 14, 12509. <https://doi.org/10.3390/su141912509>
- Dwivedi, S., Singh, B., Singh, A. K., Singh, V. K.** (2024). Cultivation of oyster mushroom (*Pleurotus djamor*) by using different substrates in laboratory conditions. *KAVAKA*, 60(3), 1-6. <https://doi.org/10.36460/Kavaka/60/3/2024/1-6>
- Fasoranti, O. F., Ogidi, C. O., Oyetayo, V. O.** (2019). Nutrient contents and antioxidant properties of *Pleurotus* spp. cultivated on substrate fortified with Selenium. *Current Research in Environmental & Applied Mycology*, 9(1), 66-76. <https://doi.org/10.5943/cream/9/1/7>
- Fufa, B. K., Tadesse, B. A., Tulu, M. M.** (2021). Cultivation of *Pleurotus ostreatus* on agricultural wastes and their combination. *International Journal of Agronomy*, 2021, 1-6. <https://doi.org/10.1155/2021/1465597>
- García, N. D., Ramos, M. A., Rubalcava, I., Caratachea, I. L., Flores, A.** (2021). Adición de alfalfa deshidratada como suplemento nutricional de los sustratos paja de avena y rastrojo de maíz en la producción de *Pleurotus ostreatus*. *Sociedades Rurales, Producción y Medio ambiente*, 41, 77-86.
- Godoy, D., Gonzáles, J., Roque, R., Fernández, M., Gamarra, S., Hidalgo, V., Gómez, C.** (2021). Use of unconventional agro-industrial by-products for supplementation of grazing dairy cattle in the Peruvian Amazon region. *Tropical Animal Health and Production*, 53, 294. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02718-y>
- González, J. E., Oliva, D., Romero, A. S., Ledesma, R. D., Coronel, B. D., Abreu-Naranjo, R.** (2023). Thermogravimetric characteristics and kinetic modeling of *Piptocoma discolor* pyrolysis and combustion processes to contribute to its use as a renewable energy source in the Ecuadorian Amazon region. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13, 15761-15768. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-02178-2>
- Gume, B., Muleta, D., Abate, D.** (2013). Evaluation of locally available substrates for cultivation of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) in Jimma, Ethiopia. *African Journal of Microbiology Research*, 7(20), 2228-2237. <https://doi.org/10.5897/ajmr12.895>
- İnci, S., Kirbağ, S., Akyüz, M.** (2024). Valorization of local agro-residues for the cultivation of *Pleurotus djamor* (Rumph. Ex Fr.) Boedijn and their effects on nutritional value. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-024-05515-3>
- Jaramillo, S. & Albertó, E.** (2019). Incremento de la productividad de *Pleurotus ostreatus* mediante el uso de inóculo como suplemento. *Scientia Fungorum*, 49, e1243. <https://doi.org/10.33885/sf.2019.49.1243>
- Kaliyaperumal, M., Kezo, K., Gunaseelan, S.** (2018). A global overview of edible mushrooms. En B. P. Singh, Lallawmsanga y A. K. Passari (Eds.) *Biology of Macrofungi* (15-56). Fungal Biology. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-02622-6\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-02622-6_2)
- Kothiyal, G., Singh, K., Kumar, A., Juyal, P., Guleri, G.** (2022). Wild macrofungi (Mushrooms) diversity occurrence in the forest of Uttarakhand, India. *International Journal of Botany Studies*, 7(1), 567-578.
- Lorenzana-Moreno, A. V., Leal, H., Corona, L., Granados, O., Márquez-Mota, C. C.** (2023). Production of 17 strains of edible mushroom grown on corn stover and its effect on the chemical composition and ruminal in vitro digestibility of the residual substrate. *PLoS ONE*, 18(5), e0286514. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0286514>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego - MINAGRI.** (2019). Anuario estadístico de la producción agrícola 2018. Ministerio de Agricultura y Riego, Dirección General de Seguimiento y Evaluación de Políticas. Lima, Perú. <https://www.gob.pe/institucion/midagriinformes-publicaciones/2730325-compendio-anual-de-produccion-agricola>
- Pérez-Montes, A., Rangel-Vargas, E., Lorenzo, J. M., Romero, L., Santos, E. M.** (2021). Edible mushrooms as a novel trend in the development of healthier meat products. *Current Opinion in Food Science*, 37, 118-124. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.10.004>

- Maccapa, L. M., Palao, L. A., Chura, E. J.** (2024). Producción de hongo ostra [*Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm] sobre residuos lignocelulósicos en la provincia de Puno. *Revista de Ciencias Agrarias*, 9(1), 16-22.
- Rahimlou, S., Moghaddam, M. H., Nezhad, A.-M. H., Heidari, B., Bahram, M.** (2023). A checklist and worldwide distribution patterns of macrofungi in Iran. *Mycological Progress*, 22(4). <https://doi.org/10.1007/s11557-022-01863-4>
- Raman, J., Jang, K.-Y., Oh, Y.-L., Oh, M., Im, J.-H., Lakshmanan, H., 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>
- Ritota, M. & Manzi, P.** (2019). *Pleurotus* spp. Cultivation on different agri-food by-products: Example of biotechnological application. *Sustainability*, 11(18), 5049. <https://doi.org/10.3390/su11185049>
- Roblero-Mejía, D. O., Aguilar-Marcelino, L., Sánchez, J. E.** (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>
- RStudio Team.** (2025). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - Senamhi.** (2024). Condiciones climáticas e hidrológicas actuales y perspectivas en el departamento de San Martín (setiembre – noviembre 2024). Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, Dirección de Meteorología y Evaluación Ambiental Atmosférica. <https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/3759>
- Sindhu, S., Theradimani, M., Vellaikumar, S., Paramasivam, M., Ramamoorthy, V.** (2023). Development of novel rapid-growing and delicious *Pleurotus djamor* strains through hybridization. *Archives of Microbiology*, 206, 13. <https://doi.org/10.1007/s00203-023-03739-x>
- Tesfay, T., Godifey, T., Mesfin, R., Kalayu, G.** (2020). Evaluation of waste paper for cultivation of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) with some added supplementary materials. *AMB Express*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s13568-020-0945-8>
- Törös, G., El-Ramady, H., Prokisch, J.** (2022). Edible Mushroom of *Pleurotus* spp.: A case study of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus* L.). *Environment, Biodiversity & Soil Security*, 6, 51-59. <https://doi.org/10.21608/jenvbs.2022.117554.1161>
- Vargas-Mendoza, Y., Santiago-García, P. A., Soto-Castro, D., Gaitán-Hernández, R.** (2024). Establecimiento de una unidad de producción familiar de *Pleurotus* spp. en una comunidad rural de Oaxaca, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 21(4), 523-535. <https://doi.org/10.22231/asyd.v21i4.1660>
- Wu, F., Zhou, L.-W., Yang, Z. L., Bau, T., Li, T.-H., Dai, Y.-C.** (2019). Resource diversity of Chinese macrofungi: edible, medicinal and poisonous species. *Fungal Diversity*, 98, 1-76. <https://doi.org/10.1007/s13225-019-00432-7>
- Yu, Q., Guo, M., Zhang, B., Wu, H., Zhang, Y., Zhang L.** (2020). Analysis of nutritional composition in 23 kinds of edible fungi. *Journal of Food Quality*, 2020, 821315. <https://doi.org/10.1155/2020/8821315>
- Zapašnik, A., Bryła, M., Sokółowska, B., Waśkiewicz, A.** (2025). *Pleurotus* spp.—an effective way in degradation mycotoxins? A comprehensive review. *Mycotoxin Research*, 41, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s12550-024-00572-z>
- Zárate-Salazar, J. R., Santos, M. N., Muñoz, E. N., Gomes, O., Palomo, A. A.** (2020). Use of lignocellulosic corn and rice wastes as substrates for oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus* Jacq.) cultivation. *SN Applied Sciences*, 2, 1904. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03720-z>
- Zhang, Y., Wang, D., Chen, Y., Liu, T., Zhang, S., Fan, H., Liu, H., Li, Y.** (2021). Healthy function and high valued utilization of edible fungi. *Food Science and Human Wellness*, 10(4), 408-420. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2021.04.003>
- Zhou, Y., Li, Z., Xu, C., Pan, J., Zhang, H., Hu, Q., Zou, Y.** (2023). Evaluation of corn stalk as a substrate to cultivate king oyster mushroom (*Pleurotus eryngii*). *Horticulturae*, 9, 319. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9030319>
- Zubairi, S. I., Md Zabidi, N. A. S., Azman, Z. Z., Mohd Kamaruddin, S. N. D., Mohd Kasim, Z., Mat Lazim, A., Nurzahim, Z., Md Jamil, M. S.** (2022). *Pleurotus ostreatus* cultivation: Physico-chemical characteristics of a robust pre-blocks oyster mushroom substrate with absorptive starch binders. *Sains Malaysiana*, 51(2), 329-343. <https://doi.org/10.17576/jsm-2022-5102-01>