

Evaluación de hojas de bambú (*Bambusa oldhamii*) como sustrato lignocelulósico para la producción de *Pleurotus ostreatus*

Evaluation of bamboo (*Bambusa oldhamii*) leaves as a lignocellulosic substrate for *Pleurotus ostreatus* production

Orozco-Gutiérrez, G^{1*} Quiñones-Islas, N.S²

¹ Investigadora en Bambú, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Tecomán, Tecomán, Colima, México.

² Investigadora en Biotecnología, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Tecomán, Tecomán, Colima, México.

*Correo: orozco.gabriela@inifap.gob.mx

RESUMEN

La producción de hongos comestibles constituye una estrategia sostenible para valorizar residuos lignocelulósicos y generar alimentos de alto valor nutricional. El objetivo de este estudio fue evaluar el rastrojo de hojas de bambú (*Bambusa oldhamii*) como sustrato para el cultivo de *Pleurotus ostreatus*, en comparación con rastrojo de maíz (*Zea mays*) como testigo convencional. El experimento se realizó en Remudadero, Comala, Colima, México. Se evaluaron el tiempo de emergencia de primordios, el inicio de cosecha y la eficiencia biológica. El sustrato de bambú presentó menor tiempo de emergencia de primordios (18.2 ± 1.3 días) y menor tiempo de inicio de cosecha respecto al maíz, con diferencias significativas ($p \leq 0.05$). La eficiencia biológica fue de 39.5 % en bambú y 48.5 % en maíz. Los resultados indican que las hojas de bambú constituyen un sustrato viable, con ciclos de producción más cortos, aunque con menor rendimiento relativo. Su aprovechamiento representa una alternativa para valorizar residuos de poda, promover la economía circular y diversificar la producción de hongos comestibles en regiones tropicales.

PALABRAS CLAVE: setas, *Pleurotus ostreatus*, sustrato lignocelulósico, hojas de bambú, valorización de residuos.

ABSTRACT

Edible mushroom production is a sustainable strategy for valorizing lignocellulosic residues while generating high-value nutritional products. This study evaluated bamboo (*Bambusa oldhamii*) leaf residues as a substrate for *Pleurotus ostreatus* cultivation, using maize (*Zea mays*) stover as a conventional control. The experiment was conducted in Remudadero, Comala, Colima, Mexico. Primordia emergence time, harvest initiation, and biological efficiency were assessed. The bamboo substrate showed a shorter primordia emergence time (18.2 ± 1.3 days) and earlier harvest compared to maize, with significant differences ($p \leq 0.05$). Biological efficiency reached 39.5% in bamboo and 48.5% in maize. These findings indicate that bamboo leaves are a viable alternative substrate, enabling shorter production cycles despite slightly lower yields. Their use represents a sustainable strategy to valorize pruning residues, promote circular economy practices, and diversify mushroom production systems in tropical regions.

KEYWORDS: oyster mushroom, *Pleurotus ostreatus*, lignocellulosic substrate, bamboo leaves, waste valorization

INTRODUCCIÓN

El género *Pleurotus* es uno de los hongos comestibles más cultivados a nivel mundial debido a su alta eficiencia biológica, rápido crecimiento y capacidad para degradar una amplia gama de residuos lignocelulósicos mediante un complejo enzimático ligninolítico, que incluye celulasas, hemicelulasas y lacasas. Esta capacidad metabólica permite transformar materiales agrícolas de bajo valor en biomasa fúngica rica en proteínas, con contenidos que oscilan entre 19 y 35 % en peso seco, además de compuestos bioactivos con propiedades nutraceuticas (Sánchez, 2010; Royse et al., 2017). En este contexto, el cultivo de setas representa una estrategia biotecnológica sostenible

que contribuye simultáneamente a la seguridad alimentaria, la generación de ingresos y la reducción de residuos agrícolas.

A nivel global, la producción de hongos comestibles ha mostrado un crecimiento sostenido impulsado por la demanda de alimentos funcionales y sistemas de producción más sostenibles. En países en desarrollo, el cultivo de *Pleurotus* ha adquirido relevancia por su bajo costo de producción y su capacidad de adaptarse a diferentes condiciones ambientales, utilizando residuos locales como sustrato (Philippoussis, 2009; Sánchez, 2010). En México, esta actividad ha cobrado importancia socioeconómica debido a sus beneficios nutricionales y medicinales; sin embargo, la producción aún depende en gran medida de sustratos convencionales como rastrojo de maíz o paja de trigo, lo que limita la diversificación productiva y el aprovechamiento de otros residuos lignocelulósicos disponibles (Wu et al., 2019; Royse et al., 2017).

En este sentido, la búsqueda de sustratos alternativos constituye una línea de investigación prioritaria para mejorar la sostenibilidad del sistema productivo. Diversos estudios han demostrado que residuos agrícolas y forestales pueden ser utilizados como sustrato para el cultivo de *Pleurotus ostreatus*, influyendo directamente en parámetros como el tiempo de colonización, la formación de primordios y la eficiencia biológica (Wu et al., 2019; Yamauchi et al., 2019; Fufa et al., 2021). La composición química de estos materiales, particularmente el contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina, juega un papel determinante en el desarrollo del micelio y en el rendimiento del cultivo.

El bambú constituye un recurso lignocelulósico de alta disponibilidad en regiones tropicales y subtropicales, cuyos residuos de poda, particularmente hojas y ramas, representan una biomasa subutilizada con alto potencial biotecnológico. Desde el punto de vista químico, estos materiales presentan una composición rica en celulosa, hemicelulosa y lignina, siendo esta última un componente estructural clave que influye en la degradabilidad del sustrato y en la actividad de enzimas ligninolíticas durante el crecimiento fúngico. En términos generales, el contenido de lignina en biomasa de bambú oscila entre 20 y 30 %, dependiendo del tejido y la edad del material (Ramesh et al., 2022; Zhang et al., 2023). De manera más específica, se ha reportado que las hojas de bambú presentan contenidos cercanos al 26 %, lo que las posiciona como un sustrato potencialmente adecuado para el cultivo de hongos ligninolíticos como *Pleurotus ostreatus* (Ramesh et al., 2022; Zhang et al., 2023). Asimismo, la variabilidad en la estructura y composición de la lignina entre diferentes tejidos del bambú influye directamente en su susceptibilidad a la degradación biológica, lo que puede impactar en parámetros productivos como la colonización del micelio y la eficiencia biológica del cultivo (Zhang et al., 2023). Investigaciones previas han reportado el uso exitoso de residuos de bambú, como aserrín o material fermentado, en la producción de *P. ostreatus*, mostrando reducciones en el tiempo de producción y rendimientos comparables a los obtenidos con sustratos convencionales (Yamauchi et al., 2019).

En este contexto, el bambú ha sido evaluado como sustrato alternativo en diferentes formas, principalmente como aserrín o material fermentado, mostrando resultados favorables en el cultivo de *Pleurotus*. Por ejemplo, el uso de aserrín de bambú fermentado ha permitido reducir el tiempo total de producción entre 3 y 7 días en comparación con sustratos convencionales, manteniendo rendimientos competitivos (Yamauchi et al., 2019). Asimismo, estudios recientes han incorporado hojas de bambú en la evaluación de distintos residuos vegetales, evidenciando su potencial como componente del sustrato sin afectar negativamente el desarrollo del cultivo (Kumar et al., 2024). De manera complementaria, se ha demostrado que las fibras de bambú pueden ser colonizadas eficientemente por *Pleurotus ostreatus*, lo que confirma la compatibilidad estructural y química entre este recurso y el micelio fúngico (Elsacker et al., 2020).

A pesar de estos avances, el uso específico de hojas de bambú como sustrato principal en condiciones tropicales ha sido poco explorado, particularmente en regiones como el estado de Colima, México, donde existe una alta disponibilidad de este residuo. Su aprovechamiento no solo representa una alternativa productiva, sino también una estrategia para promover la economía circular, reducir la quema de residuos agrícolas y mejorar la sostenibilidad de los sistemas agroforestales.

Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el rastrojo de hojas de bambú (*Bambusa oldhamii*) como sustrato alternativo para la producción de *Pleurotus ostreatus*, comparándolo con rastrojo de maíz como sustrato convencional, mediante la caracterización y determinación del tiempo de emergencia de primordios, inicio de cosecha y eficiencia biológica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del estudio. El estudio se realizó en la localidad de Remudadero, municipio de Comala, Colima, México, en una plantación de bambú de siete años de edad. La plantación presenta una densidad de 400 plantas ha⁻¹, con un espaciamiento de 5 × 5 m. El sitio de estudio se localiza a una altitud de 1200 m s.n.m., en las coordenadas 19°17'50" N y 103°44'47" O, con una pendiente que oscila entre 20 y 30 % (Tabla 1).

Tabla 1. Localización donde se encuentran establecidas las plantaciones de bambú en el municipio de Comala, Colima.

Municipio / Rancho	Localidad	Superficie (ha)	Altitud (msnm)	Coordenadas	Espaciamiento (m)
Comala / Remudadero / Tecolote	“El	10	1200	19°17'50" N, 103°44'47" O	5 × 5

Caracterización de los sustratos. La caracterización de los sustratos lignocelulósicos se llevó a cabo mediante la cuantificación de sus fracciones estructurales (celulosa, hemicelulosa y lignina) y la determinación de la relación carbono/nitrógeno (C/N). Se analizaron muestras representativas de rastrojo de hojas de *Bambusa oldhamii* y rastrojo de maíz (*Zea mays*), previamente secadas y molidas. La composición lignocelulósica se determinó mediante métodos estándar de análisis de fibra, mientras que el carbono orgánico total y el nitrógeno total se cuantificaron para estimar la relación C/N. Estos parámetros permitieron evaluar la recalcitrancia del sustrato y su susceptibilidad a la degradación enzimática por *Pleurotus ostreatus*, estableciendo una base para interpretar el desempeño productivo observado en cada tratamiento.

Preparación de sustratos. Se evaluaron dos sustratos lignocelulósicos: residuos de hojas de bambú (*Bambusa oldhamii*), obtenidos a partir de podas de ramas laterales, y rastrojo de maíz (*Zea mays*) molido, utilizado como sustrato testigo convencional. Ambos materiales fueron sometidos a un proceso de molienda mecánica con el fin de homogenizar el tamaño de partícula, favorecer la compactación del sustrato y facilitar la colonización del micelio.

Pasteurización de sustratos. Para la pasteurización, se pesaron 3 kg de material previamente triturado, los cuales fueron colocados en costales de polipropileno. Se preparó una solución alcalina compuesta por 35 L de agua y 105 g de hidróxido de calcio (Ca(OH)₂). Los costales se sumergieron completamente en la solución y se sometieron a calentamiento hasta alcanzar una temperatura de 80 °C, la cual se mantuvo durante 2 h. La temperatura fue monitoreada mediante un termómetro infrarrojo. Posteriormente, los costales se retiraron del sistema de calentamiento y se dejaron reposar durante 15 min. Se permitió el escurrimiento del exceso de agua y el sustrato se enfrió hasta alcanzar una temperatura de entre 20 y 27 °C, adecuada para la inoculación del micelio.

Inoculación y establecimiento del cultivo. Se utilizó micelio de *Pleurotus ostreatus* previamente propagado en granos de sorgo, adquirido de un proveedor comercial (Caser Hongo, Hidalgo, México). El inóculo fue desagregado manualmente en condiciones asépticas y posteriormente incorporado en bolsas de polietileno mediante un sistema de estratificación.

Las bolsas se llenaron colocando capas alternas de sustrato (aproximadamente 10 cm de espesor) y micelio, hasta completar su volumen total, asegurando una distribución homogénea del inóculo. Una vez llenas, las bolsas se

cerraron con liga y se realizaron perforaciones laterales para permitir el intercambio gaseoso. Posteriormente, las unidades experimentales se colocaron en posición vertical sobre anaqueles bajo condiciones controladas.

El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar, con dos tratamientos (sustrato de bambú y sustrato de maíz) y ocho repeticiones por tratamiento. Las variables evaluadas fueron: tiempo de colonización del micelio (días), tiempo de emergencia de primordios (días), tiempo de inicio de cosecha (días) y eficiencia biológica (%) (Bellettini *et al.*, 2019)

Eficiencia biológica. La eficiencia biológica (EB) se utilizó como indicador del rendimiento del cultivo y se expresó en porcentaje (Bellettini *et al.*, 2019). Este parámetro se calculó como la relación entre el peso fresco total de los cuerpos fructíferos obtenidos y el peso seco inicial del sustrato, multiplicado por 100.

$$EB(\%) = \frac{\text{peso fresco de hongos (g)}}{\text{peso seco del sustrato (g)}} \times 100$$

Control ambiental. Durante el periodo de incubación y fructificación, se monitorearon las condiciones ambientales dentro del área de cultivo, registrando la temperatura y la humedad relativa. La temperatura se mantuvo en un rango de 18 a 28 °C, adecuado para el crecimiento y desarrollo de *Pleurotus ostreatus*, mientras que la humedad relativa se controló para favorecer la formación de primordios y el desarrollo de los cuerpos fructíferos. El monitoreo se realizó de manera periódica mediante instrumentos de medición ambiental, con el fin de asegurar condiciones homogéneas durante todo el experimento.

Análisis estadístico. Los datos obtenidos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) bajo un diseño completamente al azar, con el objetivo de evaluar el efecto del tipo de sustrato sobre las variables de estudio. Previamente, se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Cuando se detectaron diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0.05$), se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey (HSD). Las variables analizadas incluyeron: tiempo de colonización del micelio, tiempo de emergencia de primordios, tiempo de inicio de cosecha y eficiencia biológica.

Adicionalmente, se calcularon estadísticas descriptivas (media $\pm$ desviación estándar) para cada variable evaluada. El análisis estadístico se realizó utilizando el software R (versión 4.4.2; R Core Team, 2025).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La composición química de los sustratos mostró diferencias claras entre el rastrojo de hojas de bambú (*Bambusa oldhamii*) y el rastrojo de maíz (*Zea mays*) (Tabla 2). El sustrato de bambú presentó un mayor contenido de celulosa (44.2 %) y lignina (25.3 %), así como una relación C/N más elevada (62.4), en comparación con el sustrato de maíz, el cual registró mayores valores de hemicelulosa (27.9 %) y un menor contenido de lignina (14.6 %). Estas diferencias en la composición lignocelulósica sugieren una mayor recalcitrancia estructural del sustrato de bambú, atribuida principalmente a su mayor proporción de lignina, la cual limita la accesibilidad de las enzimas hidrolíticas a los polisacáridos estructurales. En contraste, el mayor contenido de hemicelulosa en el rastrojo de maíz favorece una degradación más rápida, debido a su naturaleza amorfa y mayor susceptibilidad a la hidrólisis enzimática.

Asimismo, la relación C/N observada en el sustrato de bambú indica una menor disponibilidad relativa de nitrógeno, lo que puede influir en el crecimiento micelial y en la eficiencia biológica del cultivo. Por el contrario, el rastrojo de maíz presentó una relación C/N más equilibrada, lo cual ha sido asociado con condiciones más favorables para el desarrollo de *Pleurotus ostreatus*.

En conjunto, estos resultados permiten explicar las diferencias observadas en el comportamiento productivo de ambos sustratos, particularmente en términos de velocidad de colonización y rendimiento, evidenciando la influencia directa de la composición química sobre el desempeño del cultivo. El análisis estadístico mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los sustratos para todas las variables de composición química evaluadas.

El sustrato de bambú presentó mayores contenidos de celulosa y lignina, así como una relación C/N significativamente superior a la observada en el rastrojo de maíz. Por su parte, el rastrojo de maíz mostró un contenido de hemicelulosa significativamente mayor que el sustrato de bambú, lo que sugiere una mayor disponibilidad de carbohidratos fácilmente degradables para el desarrollo del micelio Tabla 2.

Tabla 2. Composición lignocelulósica y relación C/N de los sustratos utilizados en el cultivo de *Pleurotus ostreatus* (media $\pm$ desviación estándar, n = 3).

Sustrato	Celulosa (%)	Hemicelulosa (%)	Lignina (%)	C/N
Bambú	44.2 $\pm$ 1.8 ^a	21.6 $\pm$ 1.3 ^b	25.3 $\pm$ 1.5 ^a	62.4 $\pm$ 3.2 ^a
Maíz	37.8 $\pm$ 1.5 ^b	27.9 $\pm$ 1.7 ^a	14.6 $\pm$ 1.2 ^b	54.1 $\pm$ 2.6 ^b

Por otro lado, en el cultivo el sustrato elaborado a partir de hojas de bambú (*Bambusa oldhamii*) presentó un menor tiempo de emergencia de primordios (18.2 $\pm$ 1.3 días) en comparación con el rastrojo de maíz (22.7 $\pm$ 1.8 días), lo que indica una transición más rápida hacia la fase reproductiva del cultivo. De manera similar, el tiempo de inicio de cosecha fue significativamente menor en el sustrato de bambú (25.4 $\pm$ 2.1 días) respecto al tratamiento convencional (29.6 $\pm$ 1.9 días), mostrando diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0.05$) (Tabla 3).

Tabla 3. Tiempo de emergencia de primordios, inicio de cosecha y eficiencia biológica de *Pleurotus ostreatus* cultivado en diferentes sustratos (media $\pm$ desviación estándar, n = 8).

Sustrato	Tiempo de emergencia de primordios (días)	Tiempo de inicio de cosecha (días)	Eficiencia biológica (%)
Bambú (<i>Bambusa oldhamii</i>)	18.2 $\pm$ 1.3 ^b	25.4 $\pm$ 2.1 ^b	39.5 $\pm$ 3.4 ^b
Maíz (<i>Zea mays</i>)	22.7 $\pm$ 1.8 ^a	29.6 $\pm$ 1.9 ^a	48.5 $\pm$ 4.1 ^a

Nota: Letras diferentes dentro de la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos (prueba de Tukey, $p \leq 0.05$).

Estos resultados sugieren una mayor rapidez en el establecimiento y desarrollo del micelio en el sustrato de bambú, lo cual puede estar asociado a su composición lignocelulósica, particularmente a la disponibilidad de celulosa y hemicelulosa, que favorecen la actividad enzimática de *Pleurotus ostreatus*. En este sentido, se ha reportado que residuos de bambú, especialmente en forma de aserrín o material fermentado, pueden reducir el tiempo total de producción entre 3 y 7 días en comparación con sustratos convencionales (Yamauchi *et al.*, 2019). Asimismo, la capacidad de *Pleurotus* spp. para degradar eficientemente polisacáridos estructurales ha sido ampliamente documentada, lo que respalda su adaptación a este tipo de materiales (Bellettini *et al.*, 2019).

En términos de productividad, el sustrato de maíz presentó una mayor eficiencia biológica (48.5 $\pm$ 4.1 %) en comparación con el sustrato de bambú (39.5 $\pm$ 3.4 %), así como un mayor número de cuerpos fructíferos y peso fresco total por unidad experimental (Tabla 2 y Tabla 3). De manera específica, el número promedio de cuerpos fructíferos fue de 15.6 $\pm$ 2.1 por bolsa en el sustrato de maíz, frente a 11.8 $\pm$ 2.4 en el sustrato de bambú, mientras que el peso fresco total alcanzó 970 $\pm$ 82 g y 790 $\pm$ 68 g, respectivamente (Tabla 4).

Tabla 4. Número de cuerpos fructíferos y rendimiento de *Pleurotus ostreatus* cultivado en diferentes sustratos (media $\pm$ desviación estándar, n = 8).

Sustrato	Cuerpos fructíferos (número por bolsa)	Peso fresco total (g por bolsa)	Peso fresco en primera cosecha (g)
Bambú (<i>Bambusa oldhamii</i>)	11.8 $\pm$ 2.4 ^b	790 $\pm$ 68 ^b	320 $\pm$ 35 ^b

Maíz (<i>Zea mays</i>)	15.6 ± 2.1 ^a	970 ± 82 ^a	410 ± 42 ^a
-------------------------------	-------------------------	-----------------------	-----------------------

Nota: Letras diferentes dentro de la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos (prueba de Tukey, $p \leq 0.05$).

Estos resultados coinciden con lo reportado en la literatura, donde sustratos basados en residuos de cereales suelen alcanzar eficiencias biológicas superiores (45–60 %), debido a un balance más favorable de carbono y nitrógeno, así como a una estructura física que mejora la aireación y la retención de humedad (Bellettini *et al.*, 2019; Wu *et al.*, 2019).

Por otro lado, la menor eficiencia observada en el sustrato de bambú puede atribuirse a su mayor contenido de lignina, la cual actúa como una barrera estructural que limita la accesibilidad de los polisacáridos para la degradación enzimática. Se ha documentado que el contenido de lignina en biomasa de bambú oscila entre 20 y 30 %, dependiendo del tejido y la edad del material, lo que influye directamente en su recalcitrancia biológica (Ramesh *et al.*, 2022; Ren *et al.* 2024). No obstante, el rendimiento obtenido en este estudio (39.5 %) se encuentra dentro del rango reportado para residuos lignocelulósicos alternativos, lo que confirma su viabilidad como sustrato.

A pesar de su menor rendimiento relativo, el uso de hojas de bambú representa una alternativa sostenible, ya que permite reducir el tiempo de producción y valorizar residuos agrícolas subutilizados. Además, su disponibilidad en regiones tropicales como Colima favorece su implementación en sistemas productivos locales, contribuyendo a la economía circular y a la diversificación de los sustratos utilizados en el cultivo de hongos comestibles. En este contexto, la optimización del sustrato mediante suplementación o mezclas con otros residuos agrícolas podría incrementar su eficiencia biológica sin comprometer la rapidez del ciclo productivo.

CONCLUSIONES

El uso de rastrojo de hojas de bambú (*Bambusa oldhamii*) como sustrato para la producción de *Pleurotus ostreatus* es técnicamente viable, al presentar un rendimiento de 39.5 % y tiempos significativamente menores de emergencia de primordios e inicio de cosecha en comparación con el sustrato convencional de maíz. Estos resultados evidencian una mayor rapidez en el ciclo productivo, lo que representa una ventaja operativa relevante.

Aunque la eficiencia biológica fue inferior respecto al sustrato de maíz, el rendimiento obtenido se mantiene dentro de rangos aceptables para sustratos lignocelulósicos alternativos, lo que confirma el potencial del bambú como recurso viable en sistemas de producción de hongos comestibles. Desde una perspectiva productiva y ambiental, el aprovechamiento de hojas de bambú permite valorizar residuos de poda comúnmente subutilizados o eliminados mediante quema, contribuyendo a la economía circular, la reducción del impacto ambiental y la diversificación de los sistemas agroforestales en regiones como Colima.

Asimismo, la producción de *Pleurotus ostreatus* sobre este tipo de sustrato representa una alternativa para la generación de alimentos funcionales de alto valor proteico, con potencial para fortalecer la seguridad alimentaria y generar ingresos adicionales en comunidades rurales. Se recomienda que futuras investigaciones evalúen estrategias de optimización del sustrato, tales como la suplementación con fuentes de nitrógeno o la combinación con residuos agrícolas, con el fin de incrementar la eficiencia biológica sin afectar la rapidez del ciclo productivo.

BIBLIOGRAFÍA

- Bellettini, M. B., Fiorda, F. A., Maieves, H. A., Teixeira, G. L., Ávila, S., Hornung, P. S., Maccari, A., & 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>
- Elsacker, E., Vandeloort, S., Brancart, J., Peeters, E., & De Laet, L. (2020). Mechanical, physical and chemical characterisation of mycelium-based composites with different types of lignocellulosic substrates. *PLOS ONE*, 15(7), e0236926. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236926>

- Fufa, A., Jiru, T., & Tsegaye, Z. (2021). Cultivation of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) using different agricultural residues. *Heliyon*, 7(6), e07246. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07246>
- Kumar, R., Singh, M., & Kumar, V. (2024). Evaluation of lignocellulosic substrates including bamboo residues for oyster mushroom cultivation. *Journal of Fungi*, 10(2), 112. <https://doi.org/10.3390/jof10020112>
- Philippoussis, A. (2009). Production of mushrooms using agro-industrial residues as substrates. In P. Singh Nee Nigam & A. Pandey (Eds.), *Biotechnology for agro-industrial residues utilization* (pp. 163–196). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9942-7_9
- R Core Team. (2025). *R: A language and environment for statistical computing* (Version 4.4.2). R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org>
- Ramesh, M., Palanikumar, K., & Reddy, K. H. (2022). Mechanical and chemical properties of bamboo fiber composites: A review. *Journal of Natural Fibers*, 19(10), 3947–3966. <https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1848723>
- Ren, W., Zhang, D., Zhou, Y., Wang, H., Xia, L., Tan, C., Guo, F., Zhang, X., Yang, R., & Yu, Y. (2024). *Lignin's complex role in lignocellulosic biomass recalcitrance: A case study on bamboo*. Chemical Engineering Journal, 490, 151422. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.151422>
- Royse, D. J., Baars, J., & Tan, Q. (2017). Current overview of mushroom production in the world. In D. C. Zied & A. Pardo-Giménez (Eds.), *Edible and medicinal mushrooms: Technology and applications* (pp. 5–13). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119149446.ch5>
- Sánchez, C. (2010). Cultivation of *Pleurotus ostreatus* and other edible mushrooms. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85, 1321–1337. <https://doi.org/10.1007/s00253-009-2343-7>
- Wu, F., Zhou, L.-W., & Yang, Z.-L. (2019). Resource diversity of edible fungi and their utilization. *Mycology*, 10(2), 1–16. <https://doi.org/10.1080/21501203.2019.1613057>
- Yamauchi, M., Sakamoto, M., Yamada, M., Hara, H., Mat Taib, S., Rezaia, S., Mohd Fadhil, M. D., & Mohd Hanafi, F. H. (2019). Cultivation of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) on fermented moso bamboo sawdust. *Journal of King Saud University - Science*, 31(4), 490–494. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2018.04.021>
- Zhang, Q., Huang, C., Wang, C., & Cao, S. (2023). Structural characteristics and reactivity of lignin in bamboo biomass. *Bioresource Technology*, 367, 128271. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128271>