

Eficacia en la reducción de lignocelulosa, cafeína y taninos en cascarilla de café (*Coffea arabica*) ensilada y agotada por *Pleurotus djamor*

Efficiency in reducing lignocellulose, caffeine and tannins in coffee husks (*Coffea arabica*) ensiled and depleted by *Pleurotus djamor*

José Alfonso López-García¹, Jacqueline Toledo-Roblero², Víctor Jesús Albores-Flores³, María Guadalupe de Gyves-Córdova⁴, José Arturo Oleta-Barrios⁵, Julieta Grajales-Conesa⁶

Fecha de recepción: 18 de marzo, 2025
Fecha de aprobación: 16 de junio, 2025

López-García, J.A; Toledo-Roblero, J; Albores-Flores, V.J; de Gyves-Córdova, M.G; Oleta-Barrios, J.A; Grajales-Conesa, J. Eficacia en la reducción de lignocelulosa, cafeína y taninos en cascarilla de café (*Coffea arabica*) ensilada y agotada por *Pleurotus djamor*. *Tecnología en Marcha*. Vol. 39 N° 1. Enero-Marzo, 2026. Pág. 3-13.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v39i1.7855>

- 1 Universidad Autónoma de Chiapas, Sistemas Alimentarios. Chiapas, México.
 jose.lopez@unach.mx
 <https://orcid.org/0000-0001-8993-689X>
- 2 Universidad Autónoma de Chiapas, Instituto de Biociencias. Chiapas, México.
 jacqueline.toledo24@unach.mx
- 3 Universidad Autónoma de Chiapas, Sistemas Alimentarios. Chiapas, México.
 victor.albores@unach.mx
 <https://orcid.org/0000-0003-1735-4510>
- 4 Universidad Autónoma de Chiapas, Instituto de Biociencias. Chiapas, México.
 maria.degyves@unach.mx
 <https://orcid.org/0000-0001-9713-2920>
- 5 Universidad Autónoma de Chiapas, Sistemas Alimentarios. Chiapas, México.
 jose.oleta@unach.mx
- 6 Universidad Autónoma de Chiapas, Sistemas Alimentarios. Chiapas, México.
 julieta.grajales@unach.mx
 <https://orcid.org/0000-0002-1522-5646>



Palabras clave

Cascarilla; café; ensilaje; agotamiento; sustrato; *Pleurotus djamor*.

Resumen

Introducción La cascarilla de café tiene limitaciones para su uso en la alimentación animal debido al contenido de taninos, cafeína y lignina, por lo cual se requiere de una bioconversión con microorganismos, como el ensilaje y agotamiento del sustrato con hongo que permiten la bioconversión de desechos lignocelulósicos. Objetivo: Evaluar la eficacia del ensilaje en cascarilla de café en la reducción del contenido de cafeína y taninos y la disminución de compuestos lignocelulolíticos por agotamiento del sustrato con *Pleurotus djamor*. Materiales y métodos: Se realizaron dos tratamientos de melaza para el ensilaje, melaza al 5% y 10%, se dejó por 160 días. Se tomaron muestras por triplicado para el análisis químico en el día 0 y al final del ensilado, se determinaron azúcares reductores, proteína, cenizas y fibra de acuerdo con procedimientos estandarizados, la celulosa por Kurschner y Hoffer, la lignina por TAPPI 222 om-88, taninos por el método de Folin Ciocalteu, basado en Makkar et al. Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial, se realizó ANOVA y prueba de Tukey para la comparación de medias, además del cálculo para determinar la eficacia de los tratamientos. Resultados: El proceso de ensilaje logró reducir significativamente la cafeína y los taninos para ambos tratamientos, la lignina se redujo un 55.87 y 43.97% respectivamente de cada tratamiento. Conclusiones: La bioconversión con *Pleurotus djamor* logró disminuir este compuesto, por lo que, la cascarilla de café se vuelve factible como suplementación animal.

Keywords

Husk; coffee; silage; exhaustion; substrate; *Pleurotus djamor*.

Abstract

Introduction. Coffee husks have limitations for their use in animal feed due to the content of tannins, caffeine and lignin, which requires bioconversion with microorganisms, such as silage and depletion of the substrate with fungi that allow the bioconversion of lignocellulosic waste. Objective. To evaluate the effectiveness of coffee husk silage in reducing the caffeine and tannin content and the decrease in lignocellulolytic compounds due to substrate depletion with *Pleurotus djamor*. Materials and methods. In this study, two treatments of molasses were carried out for silage, 5% and 10% molasses, left for 160 days. Samples were taken in triplicate for chemical analysis on day 0 and at the end of ensiling, reducing sugars were determined., protein, ash and fiber according to standardized procedures, cellulose by Kurschner and Hoffer, lignin by TAPPI 222 om-88, tannins by the FolinCiocalteu method, based on Makkar et al. A completely randomized design with a factorial arrangement was used, ANOVA and Tukey's test were performed for the comparison of means, and calculations were also performed to determine the effectiveness of the treatments. Results. The silage process significantly reduced caffeine and tannins for both treatments, lignin was reduced by 55.87 and 43.97% respectively in each treatment. Conclusions. Bioconversion with *P. djamor* managed to reduce this compound, therefore, coffee husks become feasible as animal supplementation.

Introducción

La cascarilla de café es un residuo agroindustrial que puede ser utilizada como suplemento para bovinos, sin embargo, cuenta con un alto contenido de taninos, cafeína y lignina, estos compuestos disminuyen su aceptación por parte de estos animales, por lo que requiere de tratamientos previos, como el ensilaje y la degradación por hongos para eliminar los riesgos de toxicidad y disponibilidad de nutrientes absorbibles por los rumiantes [1].

El ensilaje es un pretratamiento para la cascarilla de café, el cual es llevado a cabo por un variado consorcio microbiano, fundamentalmente por bacterias ácido lácticas, cuyo metabolismo anaerobio produce compuestos que preservan la materia orgánica y mejora las cualidades nutricionales de esta [2]. Por lo que, la cascarilla de café es un sustrato adecuado para la fermentación ácido láctica, pero se requiere la adición de otros sustratos para estabilizar el proceso fermentativo [3] [4].

Los subproductos agroindustriales como el del trigo, cacao, café, caña, entre otros, cuentan con una elevada cantidad de nutrientes que pueden ayudar a la alimentación animal [5]. México es uno de los países productores de café, en 2022 se produjeron 1,025,034.80 toneladas, siendo el principal subproducto del procesamiento del café es la cascarilla, por lo que cada tonelada de café procesado, se producen 0.18 toneladas [3].

La cascarilla de café tiene limitaciones para su uso en la alimentación animal debido a su alto contenido de taninos y cafeína, sin embargo, se caracteriza por tener una alta concentración de fibra cruda, celulosa, proteína entre otros componentes y, en este sentido, son similares a otros subproductos que se utilizan como relleno en los alimentos para animales [6]. En general, la cantidad de componentes y los índices de la cascarilla de café varían según la especie de café, el origen geográfico de las cerezas y el método de procesamiento elegido [7] [8]. Además, la cáscara de café suele tener una alta porción de lignocelulosa que recubre la celulosa y la hemicelulosa, por lo cual se requiere de una bioconversión con microorganismos, lo que permite la digestión de nutrientes y de materia seca para consumo animal [9].

Por otra parte, existen hongos que permiten la bioconversión de desechos lignocelulósicos en un bioproducto a través de sus actividades enzimáticas extracelulares [10]. *Pleurotus djamor* (*P. djamor*) es considerado como un eficiente descomponedor de la lignocelulosa, que es el principal polímero constituyente de los materiales lignocelulósicos. Esta especie se puede cultivar en un amplio espectro de materiales de desecho lignocelulósicos debido a su capacidad para secretar una variedad de enzimas degradativas [11] [12]. Por lo que el objetivo de este proyecto fue evaluar la eficacia del ensilaje de la cascarilla de café en la reducción del contenido de cafeína y taninos y la disminución de compuestos lignocelulolíticos por agotamiento del sustrato con *P. djamor*.

Materiales y métodos

Obtención del material biológico

La cascarilla de café se colectó en el “Beneficio de Café Torreón” el cual se ubica en el municipio de Tapachula, Chiapas; México (14°57'37''N 92°15'06''W). Se realizó una selección de cascarilla libre de moho o cualquier residuo ajeno a la cascarilla.

Preparación del ensilado

La obtención del material fue de acuerdo a la norma ISO 10725: Planes y procedimientos de muestreo de aceptación para la inspección de materiales a granel [13]. La preparación se llevó a cabo en “Beneficio de Café Torreón”, se tomaron 20 kilos de cascarilla, se dividieron en dos

partes iguales adicionando melaza al 5% y 10% respectivamente, la cascarilla fue tendida sobre una superficie plana y limpia, se extendió en forma de círculo, dejando un grosor uniforme de 20 cm, se hicieron huecos y se fue homogeneizando con su respectiva cantidad de melaza, después de ello se colocó en bolsas de color negro con 2 kg cada una respectivamente, al término del llenado se realizó la compactación para extraer la mayor cantidad de aire posible [14]. Las bolsas fueron almacenadas en una bodega para evitar la exposición solar, hasta alcanzar 160 días.

Análisis fisico-químicos

Se realizaron los análisis fisicoquímicos en la cascarilla de café al inicio del ensilaje, después de completar los 160 días y al término del agotamiento del sustrato con *P. djamor*.

La determinación del contenido de cenizas, se realizó de acuerdo con procedimientos estandarizados [15] la celulosa, se determinó de acuerdo con método Kurschner y Hoffer [16] y la lignina, se evaluó de acuerdo con lo propuesto por TAPPI 222 om-88[17].

La cuantificación de azúcares reductores fue determinada de acuerdo a la NOM-086-SSA1-1994 Inciso 2.1 [18].

La cafeína se determinó por el método de Sánchez, A [19] con modificaciones a la metodología, donde se pesaron 10 g de cascarilla de café y se agregaron 150 ml de agua destilada en un vaso de precipitado, y posterior fue llevado a ebullición, esto con la finalidad de extraer la cafeína contenida en la muestra y se siguió con la metodología ya descrita. La extracción de los taninos, se utilizó el método oficial de la AOAC 2014, para taninos.

Para la determinación de taninos, se siguió el método de Folin Ciocalteu, basado en Makkar et al [20], se determinó fenoles totales de la muestra y posterior los taninos totales, a partir de los resultados anteriores, el contenido de taninos de la muestra se calculó de la siguiente manera: Fenólicos totales (%) – Fenólicos no taninos (%) = Taninos (%).

Se determinó la proteína total siguiendo el método descrito por Bradford [21].

Inoculación del hongo

El hongo utilizado fue *P. djamor*, se obtuvo comercialmente los cuales venían inoculados en semillas de *Sorghum bicolor* (L.) Moench, se ajustó el pH de la cascarilla de café previamente fermentada por 160 días, con una solución sobresaturada de Ca (OH)₂, hasta llegar a 6.5 de pH. Fueron inoculados 100 g de semillas colonizadas por el micelio en bolsas con 2 kg de cascarilla fermentada, 2 días después de la inoculación se perforaron las bolsas para permitir el intercambio de gases y la formación de tallos germinativos del cuerpo fructífero [22].

Diseño experimental

El experimento fue desarrollado bajo un diseño completamente al azar con arreglo bifactorial 2x2, con tres replicaciones, los tratamientos se realizaron de la siguiente manera: melaza al 5% y melaza al 10%, con el cultivo de *P. djamor* y sin el cultivo de este hongo que fue el tratamiento testigo.

Análisis estadístico

Los datos fueron sometidos al análisis de la varianza (ANOVA) seguida de una prueba de comparación de medias (Tukey $p \leq 0.05$) con ayuda del programa INFOSTAT®.

Resultados y Discusión

Composición química de la cascarilla de café sin ensilar

Los azúcares reductores de la cascarilla de café con melaza al 5% sin ensilar fue de 3.4E-05mg/mL ($\pm 1.0E-06$) mientras que el tratamiento con 10% resultó de 0.01mg/mL ($\pm 6.3E-04$) resultando significativamente diferentes entre ambos tratamientos. En el cuadro 1 se observó la composición química de la cascarilla de café sin ensilar, [23] reportó una concentración de 0.66 mg/mL, [24] obtuvieron 1.43mg/mL, las diferentes concentraciones en cascarilla de café puede depender de las variedades y la ubicación geográfica, incluso de las condiciones de cultivo y los recursos en la región de producción.

La concentración inicial de la cafeína es similar reportada por otros autores [25] cuya concentración fue de 1.3%, aun con esta concentración puede provocar un efecto fisiológico en los rumiantes, el cual al ser una purina metilada provoca un aumento en la actividad motora que causa decenso en la ganancia de peso y conversión, aumenta la sed de los animales y el reflejo urinario dando como consecuencia la excreción de nitrógeno y hay que recordar que el ciclo de la urea en el metabolismo del rumiante incluye que la molécula llegue a la saliva y mantenga la población de microorganismos que utilizan urea. Por otro lado, los fenoles libres, básicamente el ácido clorogénico y cafético pueden interferir con la utilización de proteínas y enzimas y afectar el catabolismo, al combinarse con el hierro y formar complejos insolubles que dificultan su asimilación en el intestino [28]. La absorción de las proteínas puede verse afectada al unirse a los fenoles libres y afectar su absorción en el intestino delgado. Los taninos tienen una alta capacidad de ligarse a las proteínas y actuar como inhibidores enzimáticos. Sin embargo, estos compuestos se reducen de los residuos de café después de haber sido ensilados [28].

La cantidad de taninos oscila entre 4.5 y 5% reportado por otros autores [25], esto difiere con los resultados obtenidos con valores entre 1.06 a 1.73%, una de las principales características de los taninos, es su capacidad de ligar las proteínas, evitando su absorción en el organismo y su aprovechamiento final, disminuyendo de esta manera la disponibilidad biológica de este nutriente y por otro lado, adicional a la fermentación láctica anaerobia del residuo de café se agotó el sustrato durante el desarrollo del hongo por lo cual se logró la disminución de estos compuestos. [35] ha reportado que el efecto de la cafeína sobre los procesos metabólicos en el rumen que muestran que dosis bajas de cafeína (50 ppm) incrementó la digestibilidad de materia seca y almidón, mientras que la cantidad en el número de protozarios y amonio se reducen lo cual está relacionado con el metabolismo de las proteínas. Sin embargo, dosis mayores de cafeína tienen un impacto negativo sobre los parámetros mencionados.

Los porcentajes para celulosa de ambos tratamientos fueron mayores a comparación de [26] quienes obtuvieron concentraciones de 35.40%, mientras que para el caso de lignina [27] reportó valores menores de 27.14%. [28] reportó concentraciones de lignina de 20.70%. Existen diferencias en las concentraciones debido a las condiciones agroecológicas de las zonas de producción, variedad y manejo del cultivo, las cuales influyen directamente en la composición bromatológica de la cascarilla.

El contenido de proteína fue menor a lo reportado por [29] que fue de 10.36%, así mismo [30] reporta valores entre 8 y 11% de contenido en cascarilla de café.

El contenido de ceniza es similar a lo reportado por [31] que fue de 2.50% y [32] con 7.85%.

En el contenido de fibra cruda fue mayor a comparación de [33] que obtuvo 11.52%. [30] encontró valores de 62.1%, mientras que [34] encontró valores de 24% y 43%.

Cuadro 1. Composición química de la cascarilla de café sin ensilar.

Tratamiento	Cafeína	Taninos	Celulosa	Lignina	Proteína	Ceniza	Fibra cruda
Melaza 5%	1.56±0.16 ^A	1.73±0.02 ^A	42.70±1.83 ^B	78.53%±1.8 ^B	1.52±0.00 ^A	2.32±0.11 ^A	35.33±1.00 ^A
Melaza 10%	1.47±0.04 ^A	1.06±0.04 ^A	18.17±0.99 ^A	61.57±0.47 ^A	1.52±0.28 ^A	5.01±0.10 ^B	35.32±0.12 ^A

^{AB} Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p<0.05$).

Composición química de la cascarilla de café ensilada

Los azúcares reductores en el caso de melaza al 5% fue de 8.1E-0.5 mg/g ($\pm 6.7E-06$) ^A y con melaza al 10% fue de 1.9E-03 mg/g ($\pm 6.6E-04$) ^B, en comparación con otros autores [34] que obtuvieron una concentración de 6.27%.

La composición química de la cascarilla de café ensilada por 160 días se muestra en el cuadro 2, la concentración de cafeína fue similar a lo reportado por [11] que fue de 0.2%, mientras que [4] reportó 1.3% en pulpa de café. La presencia de cafeína disminuye después del proceso de ensilaje debido a la solubilización y metabolización por parte de bacterias ácido lácticas [35].

El contenido de taninos fue similar con lo reportado por [11] que fue de 0.18%, [36] encontraron valores entre 1.80% a 8.56%. mientras que otros autores reportan rangos de 0.29 y 0.70% [34]. El alto contenido de taninos reduce la digestibilidad de las proteínas y de otros componentes de la dieta, por lo que, las tasas de inclusión no deben exceder el 2.5%, aunque algunos animales toleran altas cantidades de este compuesto, otros son más sensibles como es el caso de los rumiantes, por lo que se pueden beneficiar del tratamiento de ensilaje [37].

Para la concentración de celulosa no hubo un incremento significativo entre el inicio del ensilaje inicial y al final de este, lo mismo reportaron [38] teniendo un valor inicial de 19.50% y final del 28.25%. Se presume que el hecho de tener la cascarilla de café por tanto tiempo fermentado estimula la actividad de las reacciones enzimáticas que pueden convertirlas en sustancias inocuas o de afectar la disponibilidad de las proteínas u otros compuestos de interés en la alimentación.

El proceso de ensilaje logró disminuir el contenido de lignina, que alcanzó el 55.87 % con melaza al 5% y 43.97% con melaza al 10%, de igual manera en estudios previos, se observó una disminución del 33.63 % [34].

El ensilaje aumentó el contenido de proteína a 1.87 y 2.16% en ambos tratamientos. Sin embargo, estos valores fueron inferiores a los reportados por [39] [37] quienes obtuvieron 12.5 y 15.5% de proteína, esto puede deberse a la síntesis que producen las bacterias en el ensilaje, generando un aumento en los niveles de proteína soluble y degradada.

Se detectaron valores de cenizas de ambos tratamientos estadísticamente similares, a diferencia de otros estudios donde reportan un 22.12 % a los 120 días de ensilaje, particularmente una característica deseable en un alimento es que disponga de alto contenido de ceniza para que pueda proporcionar niveles apropiados de minerales necesarios en las dietas para animales [39].

La fibra cruda fue mayor a lo reportado por [36] obteniendo 20.8%, [32] obtuvieron 27.17%, esto se debe probablemente a la concentración de compuestos fenólicos en los granos de café, así como a la presencia de otros compuestos formados por la reacción de Maillard. durante el proceso de tostado, como las melanoidinas.

Una de las características de la cascarilla de café es la gran cantidad de fibra que contiene, definida como la biomasa vegetal que se resiste a la hidrólisis del tracto digestivo de los individuos por lo que el proceso de ensilaje y posterior agotamiento por hongos comestibles reduce significativamente la cantidad de fibra. (45) obtuvieron valores para cascarilla de café sin ensilar de fibra cruda 12%, fibra detergente neutra hasta 83.6%, celulosa 24.5%, hemicelulosa 29.7% y lignina 23.7%. Estos valores deben disminuir por la degradación microbiana durante el ensilaje y agotamiento por pleutorus, convirtiendo estos carbohidratos estructurales en azúcares solubles como se pudo observar en el trabajo donde aumenta la cantidad de azúcares reductores totales.

Cuadro 2. Composición de la cascarilla de café ensilada por 160 días.

Tratamiento	Cafeína	Taninos	Celulosa	Lignina	Proteína	Ceniza	Fibra cruda
Melaza 5%	0.16±0.01 ^A	0.21±0.03 ^B	40.77±0.47 ^B	55.87±1.12 ^B	1.87±0.05 ^A	2.51±0.05 ^A	47.83±6.62 ^A
Melaza 10%	0.17±0.01 ^B	0.06±0.02 ^A	26.07±1.52 ^A	43.97±1.01 ^A	2.16±0.05 ^B	3.48±0.96 ^A	47.83±3.21 ^A

^{AB} Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p<0.05$).

Composición química con agotamiento del sustrato con *Pleurotus djamor*

Como se observa en el cuadro 3, los azúcares reductores aumentaron, lo que quiere decir que, *P. djamor* logró convertir la lignina en azúcares simples. [40] encontraron que al cultivarlo en paja de arroz se presentó pérdidas continuas en el contenido de celulosa, hemicelulosa, lignina, carbono y nitrógeno totales, desde su inoculación hasta la cosecha de los basidiomas, mientras que el contenido de azúcares libres, cenizas y relación C/N se incrementaba, caso contrario de [41] teniendo una pérdida de fibra entre 31 al 40% al final del ciclo de cultivo, decreciendo la fracción de celulosa entre 35 a 48%.

Al inicio del ensilaje se tenía una baja concentración de proteína, la cual *P. djamor* logró incrementar, esto se debe a que tienen la capacidad de producir biomasa con mayor contenido de nitrógeno que el sustrato en el que están creciendo [40].

En el tratamiento testigo, el micelio no colonizó completamente el sustrato, esto se debió a la alta concentración de cafeína, [41] informó que este compuesto inhibe el crecimiento micelial. [42] además de la baja relación C/N del sustrato, lo cual no es adecuada para los requisitos del hongo.

(41) reportaron un retraso en sus tratamientos, debido a la ausencia del proceso de ensilaje, lo cual el sustrato presentaba un alto contenido de lignina, siendo ésta, un polímero complejo que forma una barrera que impide que el hongo ataque otros polisacáridos; por lo que primero debe degradarse para permitir el acceso a la holocelulosa en la pared celular del material vegetal, a consecuencia de esto, el crecimiento es más lento.

(45) reporta que los hongos superiores como *Pleurotus oestratus* tiene la habilidad de biotransformar los materiales lignocelulosicos a través de las actividades enzimáticas extracelulares. A nivel ruminal no encontraron efectos en el pH y la producción de nitrógenos amoniacal pero si disminuyó la producción de ácidos grasos volátiles y la digestibilidad de la materia seca conforme se aumentó el nivel de cascarilla de café, así como la población ruminal de protozoarios también fue menor que en las dietas testigo.

Cuadro 3. Composición química con agotamiento del sustrato con *Pleurotus djamor*.

	Azúcares reductores	Proteína	Ceniza	Fibra cruda
Sustrato agotado con <i>P. djamor</i>	2.36±0.85	5.45±0.23	11.40±1.19	10.66±1.16

En la figura 1, se muestra el proceso de cultivo del hongo *P. djamor* en cascarilla de café, el cual duró 20 días.



Figura 1. Proceso de cultivo del hongo *P. djamor* cultivado en cascarilla de café.

Conclusiones

El ensilaje es un método efectivo para la disminución y/o eliminación de compuestos potencialmente tóxicos, como lo es la cafeína y los taninos en la cascarilla de café. Adicionalmente, el cultivo del hongo *Pleurotus djamor* en el ensilado de cascarillad de café como sustrato disminuye efectivamente la presencia de cafeína, taninos y lignina, por lo cual hace disponible los nutrientes contenidos en la cascarilla de café, para su uso en la suplementación animal.

Agradecimientos

Se agradece a la Universidad Politécnica de Tapachula y a la Asociación Ganadera Local General de Tapachula A.C por el apoyo económico y de infraestructura proporcionada.

Referencias

- [1] A. Wogderess, "Available information on the feeding value of coffee waste and ways to improve coffee waste for animal feed" African Journal of Biology, vol. 3, no 6, pp. 243-257. 2016
- [2] C. Perraud-Gaime. "Evolution of Physico-Chemical and Microbiological Parameters During Large-Scale Coffee-Pulp Silage" Waste and Biomass Valorization, vol. 12, pp. 6057–6065. 2021
- [3] A. T. Márquez-Araque. "Algunas aplicaciones de la biotecnología en nutrición de rumiantes". Agroindustria, Sociedad y Ambiente, I, Vol. 14, pp. 125-157. 2020.
- [4] A. Cerda, L. Mejías, T. Gea, A. Sánchez. "Cellulase and xylanase production at pilot scale by solid-state fermentation from coffee husk using specialized consortia: The consistency of the process and the microbial communities involved". Agricultural Wastes, vol. 243, pp. 1059-1068. 2017.
- [5] Milawarni, Arskadius, Elfiana, Yassir. "Characteristics of wafer originated from coffee waste as ruminant animal feed", in IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, pp. 1-6.
- [6] E. Manals-Coutiño, D. Salas-Tort, M. Penedo. "Caracterización de la biomasa vegetal "cascarilla de café". Tecnología Química, vol. 38, pp. 6-12. 2017.
- [7] L. Oliveira, A. Franco. "An overview of the potential uses for coffee husks". In Coffee in health and disease prevention, Academic Press, pp. 283-291, 2015.
- [8] S. Fornito, F. Puliga, P. Leonardi, M. Di Foggia, A. Zambonelli, O. Franco. "Degradative ability of mushrooms cultivated on corn silage digestate". Molecules, vol. 25, pp. 1-15. 2020.
- [9] J. Li, X. Yuan, Z. Dong, W. Mugabe, T. Shao. "The effects of fibrolytic enzymes, cellulolytic fungi and bacteria on the fermentation characteristics, structural carbohydrates degradation, and enzymatic conversion yields of *Pennisetum sinese* silage". Bioresource Technology, vol. 264, pp. 123-130. 2018.
- [10] I. Badarinaa, D. Evyernieb, T. Toharmathb, E. Herliyanac, L. Darusmand. "Nutritive Value of Coffee Husk Fermented with *Pleurotus ostreatus* as ruminant feed". Journal of Animal Science and Technology, vol. 36, pp. 58-63, 2013.
- [11] M. Nunes, M. Da Silva, J. Schram, J. Da Silva, Y. Tamai, M. Kasuya. "*Pleurotus ostreatus*, mushrooms production using quick and cheap methods and the challenges to the use of coffee husk as substrate". African Journal of Microbiology Research, vol. 11, pp. 1252-1258. 2017.
- [12] B. Chala, H. Oechsner, J. Müller. "Introducing temperature as variable parameter into kinetic models for anaerobic fermentation of coffee husk, pulp and mucilage". Applied sciences, vol. 9, pp. 1-10. 2019.
- [13] Procedimientos y planes de muestreo de aceptación para la inspección de materiales a granel. Norma técnica NTP-ISO 10725 peruana 2009. Comisión de Normalización y Fiscalización de Barreras Comerciales no arancelarias-INDECOPI, 30 de septiembre de 2009.
- [14] A. Aguilar, A. Esteban. "Producción del hongo ostra *Pleurotus ostreatus* a partir de residuos de café (*Coffea arábica*)". BS Thesis, Universidad Católica de Cuenca, 2022.
- [15] NMX. Norma Mexicana NMX-AA-18-1984. (online) Available at <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa018.pdf>
- [16] K. Kurschner, A. Hoffer. "Cellulose and cellulose derivative, Fresenius". Journal of Analytical Chemistry, vol. 92, pp. 145-154. 1993.
- [17] T. TAPPI. 264 cm-07. Preparation of wood for chemical analysis. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. 2007
- [18] R. Arias-Ortíz, J. Meneses. "Caracterización físico-química de residuos agroindustriales (cascarilla de arroz y cascarilla de café), como materia prima potencial para la obtención de bioetanol". BS Thesis. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua. 2016.
- [19] F. Sánchez-Rojas, C. Bosh-Ojeda, J. Cano-Pavón. "Derivative ultraviolet-visible region absorption spectrophotometry and its analytical application". Talanta, Vol. 35, pp. 753-761. 1998.
- [20] H. Makkar, M. Blummel, N. Borowy, K. Becker, K. "Gravimetric determination of tannins and their correlations with chemical and protein precipitation methods". Journal of the food science and agriculture, vol. 61, pp. 161–165. 1993.

- [21] A. Dougha. "A Comparative bioconversion of yam peels by *Aspergillus niger* and *Pleurotus ostreatus* into improved animal feed". BS Thesis, Kwame Nkrumah University of Science and Technology. 2017.
- [22] O.A. F. Montes. Manual de cultivo de hongo oseta (*Pleurotus ostreatus*) de forma artesanal. BS Thesis, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 2012.
- [23] L. Qin, W. Li, J. Zhu, B. Li, Y. Yuan. "Hydrolysis of Lignocellulosic Biomass to Sugars". In: Fang, Z., Smith, Jr., R., Qi, X. (eds) Production of Platform Chemicals from Sustainable Resources. Biofuels and Biorefineries. Springer, Singapore. 2017.
- [24] S. Swaroop, S. Abdulhameed. "Coffee Husk: A Potential Agro-Industrial Residue for Bioprocess". Chapter 6. Thalassery Campus, Kannur, India. 2018.
- [25] S. Collazo-Bigliardi, R. Ortega-Toro, A. Chiralt Boix. "Isolation and characterization of microcrystalline cellulose and cellulose nanocrystals from coffee husk and comparative study with rice husk". Carbohydrate Polymers, vol. 191, ppf. 205-215. 2018.
- [26] B. Gonçalves, M. Camillo, M. Oliveira, L. Carreira, J. Moulin, F. Neto, et al. "Surface Treatments of Coffee Husk Fiber Waste for Effective Incorporation into Polymer Biocomposites". Polymers, vol. 13. 2021.
- [27] M. Hoseini, S. Cocco, C. Casucci, V. Cardelli, G. Corti. "Coffee by-products derived resources. A review". Biomass and Bioenergy, vol. 148. 2021.
- [28] Noriega S, Silva, R, García S, M. "Utilización de la pulpa de café en la alimentación animal". Zootecnia Tropical, vol. 26 n.4, pp. 411-419. 2008.
- [29] Noriega, S, Silva, R, García S, M. "Composición química de la pulpa de café a diferentes tiempos de ensilaje para su uso potencial en la alimentación animal". Zootecnia Tropical, vol. 27, pp. 135-141. 2009.
- [30] A. Skibba-Wogderez. "Available information on the feeding value of coffee". African Journal of Biology, vol. 3, pp. 243-257. 2016.
- [31] C. Mhilu. "Analysis of Energy Characteristics of Rice and Coffee Husks Blends". International Scholarly Research Notices, pp. 1-6. 2014
- [32] A. Dinata, J. Utami. "Nutrient content of coffee berries husk fermented with different inoculants". IOP Conference Series: Earth Environmental Science, 387. 2019.
- [33] A. Hernández. "Estudio de la fermentación en medio sólido con *Aspergillus niger* en un reactor semi-piloto". M. S. Thesis, Tecnológico Nacional de Orizaba, Veracruz, Mexico. 2017.
- [34] A. Farah. "Coffee as a specialty and functional beverage". In: Functional and Speciality Beverage Technology. Paquin, P. (Ed.). Woodhead Publishing Limited. 370-395 pp. 2009.
- [35] Toledo, M, Hussein, S, Peña, M, Aguerre, M, Bridges,W, Lascano, G. "Effects of Caffeine Doses on Rumen Fermentation Profile and Nutrient Digestibility Using a Lactating Cow Diet under Continuous Cultures Conditions". *Ruminants* 2024, 4(3), 406-417; <https://doi.org/10.3390/ruminants4030029>
- [36] J. Raman, K. Jang, Y. Oh, M. Oh, J. Im, H. Lakshmanan, H., V. Sabaratnam. "Cultivation and Nutritional Value of Prominent *Pleurotus* spp.: An Overview". Mycobiology, Vol. 49, pp. 1-14. 2020.
- [37] M. Paulo. "Degradation of caffeine by microorganisms and potential use of decaffeinated coffee husk and Pulp in animal feeding". Scientia Agricola., vol. 59, pp. 815-821. 2002.
- [38] E. Oropeza-Mariano, M. Ortega-Cerrilla, J. Herrera-Haro, E. Ramírez-Bribiesca, T. Salinas-Ríos. "Use of pulp and husk of coffee in animal feed". Agro Productividad, vol. 15, pp. 149-158. 2022.
- [39] P. Aguirre-Fernández, L. Acosta-Pinto, L. Cardozo-Corzo, S. Rodríguez-Arenas, G. Corredor-Sánchez. "Nutritional evaluation of silage with coffee (*Coffea arabica* L.) cherry for ruminant supplementation". Acta Agronómica, vol. 67, pp. 326-332. 2018.
- [40] F. Ramón, G. Páez, M. Chirinos, Z. Mármol. "Ensilaje de la Pulpa de Café". Revista de la Facultad de Agronomía, vol. 12, pp. 417-428. 1995.
- [41] D. Salmones. "*Pleurotus djamor*, un hongo con potencial aplicación biotecnológica para el neotrópico". Scientia Fungorum, vol. 46, pp. 73-85. 2017.
- [42] A. Kivaisi, F. Magingo, B. Mamiro. "Performance of *Pleurotus flabellatus* on water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) shoots at two different temperature and relative humidity regimes". Tanzania Journal Science, vol. 29, pp. 11-18. 2003.
- [43] R. Campos-Vega, G. Loarca-Piña, H. Vergara-Castañeda, B. Oomah. "Posos de café gastados: una revisión de la investigación actual y perspectivas futuras". Tendencias en ciencia y tecnología de los alimentos, vol. 45, pp. 24-36. 2015.

- [44] C. Carrasco-Cabrera, T. Bell, M. Kertesz. "Metabolismo de la cafeína durante el cultivo del hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*) con posos de café". Microbiología y biotecnología aplicadas, vol. 103, pp. 5831-5841. 2019.
- [45] Badarinaa I*, Evvyernieb D, Toharmath, T, Herliyanac EN, & Darusmand, LK (2013). Nutritive Value of coffee husk fermentedated with Pelurotus ousestratus as ruminant feed". Media Petermakan. April pp.5863 medpet.journal.ipb.ac.id/ DOI: 10.5398/medpet.2013.36.1.58

Declaración sobre uso de Inteligencia Artificial (IA)

Los autores aquí firmantes declaramos que no se utilizó ninguna herramienta de IA para la conceptualización, traducción o redacción de este artículo.