

Perspectivas del uso de los posos de café en la agricultura

Perspectives for the use of spent coffee grounds in agriculture

Vanessa Flores-Santiago^a, Mariana Saucedo-García^a, Nallely Trejo-González^a, Iridiam Hernández-Soto^a, Jaime Pacheco-Trejo^a, Eliazar Aquino-Torres^{a*}

Abstract:

The high consumption of coffee around the world produces enormous quantities of spent coffee grounds (SCG) that require a high Biochemical Oxygen Demand for their decomposition. Recently, the search for sustainable alternatives applied to agriculture has been promoted due to their contribution of essential nutrients. This review article is based on the various agricultural uses of SCG, including its applications as fresh organic amendments, compost and vermicompost components, biochar in seedlings, substrates for mushroom production, pesticides, and other important applications in the agricultural sector. The results of the compilation of experimental studies indicate that SCG can improve soil structure and increase moisture retention. However, their direct use can generate phytotoxic effects due to the content of secondary metabolites such as caffeine and polyphenols. Nevertheless, these effects can be mitigated by prior composting or mixing with manure. In conclusion, agricultural applications are a viable alternative for recycling coffee grounds, promoting the circular economy and sustainability of production systems.

Keywords:

Spent coffee grounds, recovery, applications, sustainability, agriculture

Resumen:

El gran consumo de café alrededor del mundo produce enormes cantidades de posos de café (PC) que requieren una alta Demanda Bioquímica de Oxígeno para su descomposición. Recientemente, se ha impulsado la búsqueda de alternativas sostenibles aplicadas a la agricultura, debido a su aporte de nutrientes esenciales. Este artículo de revisión se basa en los diversos usos agrícolas de los PC, incluyendo sus aplicaciones como enmiendas orgánicas en fresco, componente de composta y vermicomposta, bio-carbón en plántula, sustratos para producción de setas, plaguicida y otras aplicaciones importantes en el sector agrícola. Los resultados de la recopilación de estudios experimentales indican que los PC pueden mejorar la estructura del suelo y aumentar la retención de humedad. Sin embargo, su uso directo puede generar efectos fitotóxicos debido al contenido de metabolitos secundarios como la cafeína y polifenoles. No obstante, estos efectos pueden mitigarse mediante compostaje previo o mezclas con estiércoles. En conclusión, las aplicaciones agrícolas son una alternativa viable para el reciclaje de los PC promoviendo la economía circular y sostenibilidad de los sistemas productivos.

Palabras Clave:

Posos de café, valorización, aplicaciones, sostenibilidad, agricultura

1. Introducción

El café es uno de los productos agrícolas más consumidos a nivel mundial. En el año 2023, el consumo mundial del café fue de 177 millones de

^a Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Agropecuarias. Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo, México. Vanessa Flores-Santiago, <https://orcid.org/0009-0001-6432-6259>, email: f465930@uaeh.edu.mx; Mariana Saucedo-García, <https://orcid.org/0000-0001-7073-9263>, email: saucedo@uaeh.edu.mx; Nallely Trejo-González, <https://orcid.org/0000-0001-8720-8194>, email: nallely_trejo@uaeh.edu.mx; Iridiam Hernández Soto, <https://orcid.org/0000-0002-0307-1651>, email: iridiam_hernandez@uaeh.edu.mx; Jaime Pacheco-Trejo, <https://orcid.org/0000-0001-7060-4959>, email: jaimo_pacheco@uaeh.edu.mx

*Autor de Correspondencia: Eliazar Aquino-Torres, <https://orcid.org/0000-0003-1787-6570>, email: eaquino@uaeh.edu.mx

costales de 60 kg, con una producción anual de 178 millones de sacos para el ciclo 2022-2023 [1].

México es uno de los mayores productores de café del mundo; actualmente ocupa el 11.º lugar, con una producción de 1 millón 25 mil toneladas en 2022, concentrada en los estados de Chiapas, Veracruz, Puebla y Oaxaca. En México, el consumo promedio anual per cápita osciló en torno a 1,4 kg [2].

El grano de café es la semilla contenida en los frutos del café, también conocidos como cerezas, que se utiliza para preparar la bebida. Para obtener el grano, se utiliza la semilla, que representa sólo el 5% del peso fresco del fruto, mientras que el resto corresponde a residuos que incluyen pulpa, mucílago y cáscaras de café [3].

La problemática de los residuos generados en la producción del café es mayor si se consideran los generados una vez que el café se procesa. Se estima que por cada kilogramo de café procesado se producen 350 g de residuos o posos de café (PC), que son los **materiales sobrantes de los granos de café molidos tras la preparación de la bebida** [4]. De acuerdo con la SADER (2020), los PC contribuyen a la problemática ambiental debido a la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) que requieren los microorganismos para la descomposición de los componentes orgánicos [4, 5]. Recientemente se reportó una DBO de hasta 50,000 mg L⁻¹ para la degradación de residuos de café vertidos en aguas residuales, lo cual es mayor al requerido en un compost maduro (1,000 mg L⁻¹) [6, 7].

Algunos países han desarrollado tecnologías y propuestas para el reciclaje de los PC en diferentes sectores productivos (Fig. 1). Por ejemplo, el Reino Unido está transformando los PC en biocarbón, un sustrato poroso y resistente que se mezcla con cemento con fines de construcción [8]. Asimismo, existen evidencias de la transformación de los PC en biocombustibles, como biogás y biodiésel, mediante la extracción de sus aceites o la producción de pellets que sustituyen a la madera y al biodiésel [9]. España produce en solo una fábrica de café soluble 45.000 toneladas de posos de café, con el propósito de revalorizarlos, prevé utilizarlos como biomasa para la generación de energía en forma de vapor [10].

India los ha introducido en la industria textil para el teñido de telas de seda, mientras que Australia los

está convirtiendo en un suplemento alimenticio para los rumiantes en la ganadería [11, 12].

Los posibles usos de los PC en la agricultura aún se están explorando, tales como enmiendas al suelo en fresco o con pretratamientos [13]. Las plantas requieren nutrientes esenciales para un correcto desarrollo; estos se dividen en macronutrientes: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S); y micronutrientes: hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdeno (Mo), cloro (Cl) [14]. Los PC en fresco pueden aportar una relación de N, P y K de 1.4-0.3-3.7 [15], similar a la de una composta que aporta 1.5-0.4-0.5 [16].

La composición química de los PC resulta esencial, ya que determina el reciclaje adecuado en diversas industrias para maximizar su potencial. Esta composición depende de las variedades, del procesamiento del café y de los métodos de extracción de los componentes para su cuantificación [17]. La Tabla 1 resume los componentes principales y sus posibles aplicaciones.



Figura 1. Valorización de los posos de café y sus aplicaciones en los sectores productivos. Elaboración propia

Tabla 1. Composición química de los PC y sus aplicaciones.

Componente	Aplicaciones	Referencia
Fibra total (45-51%)	Suplemento alimenticio,	[18, 19]

	panadería, prebiótico	
Proteínas (12.8-16.9%)	Suplemento alimenticio	[20]
Celulosa (7.6-22.2%)	Bioetanol, biogás, bioplásticos, biocatalizador	[21, 22,23]
Hemicelulosa (30-42%)	Sustratos fermentables, empaques sustentables y prebióticos.	[20,21,23]
Lignina (20-24%)	Biocompuestos	[17,23]
Lípidos (10-20%)	Biodiésel	[21]
Cenizas (1.3-1.5%) Minerales: K, P, Ca, Mg, S, Mn, B, Cu y Fe	Composta agrícola	[17]
Contenido de carbono (47-56.1%)	Enmienda agrícola, biocarbón	[21]
Compuestos fenólicos: ácidos clorogénicos, cafeico, ferúlico, gálico, <i>p</i> -cumárico, siríngico, trans- cinámico y vanílico	Cosméticos, alimentos	[24,25]
Flavonoides: Rutina, Cianidina 3- glucósido, Quercetina	Cosméticos, antifúngicos, alimentos	[18, 25]
Cafeína (cafeína 0.055- 0.3%)	Productos farmacéuticos	[20,24]

El uso agronómico de los PC como abono requiere mayor investigación para su aprovechamiento. En este trabajo se resumen los avances en el uso potencial de los PC en la agricultura para promover su reciclaje y su implementación.

2. Aplicaciones de los posos de café en fresco como sustrato

Las enmiendas agrícolas son productos derivados de la descomposición y mineralización de residuos que contribuyen a mejorar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del suelo [26].

Cervera-Mata et al. (2022) analizaron el efecto de la mezcla de PC con suelos arcillosos sobre el crecimiento de plantas de lechuga var. longifolia. El estudio reveló que al aumentar el porcentaje de PC (1, 2, 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5 y 15%) en la mezcla, se incrementó la retención de agua en el sustrato [27]. Esta característica es propia de la materia orgánica [28]. Sin embargo, los PC redujeron la disponibilidad de agua para las plantas, lo que provocó un punto de marchitez permanente. Además, el uso de PC en fresco disminuyó el pH a corto plazo, lo que propició un desequilibrio en el equilibrio del suelo y un aumento de los contenidos de N y K [27].

Las mezclas de turba con PC, en concentraciones del 2.5, 5 y 10%, se utilizaron como sustrato para el crecimiento de plántulas de Brassica, como coliflor, brócoli y repollo. La incorporación de PC provocó una pérdida total de porosidad, lo que limitó la disponibilidad de aire para el desarrollo de las plántulas. El tamaño de partícula y la alta capacidad de retención del agua ocuparon los macroporos del sustrato, compactándolo y reduciendo la aireación al aumentar los PC. Un 2,5% de PC estimuló la emergencia de las semillas evaluadas y se sugiere usar hasta un 5% para evitar estrés [29].

Asimismo, la incorporación de PC fresco en suelo agrícola en invernadero, en concentraciones del 5, 10 y 25%, inhibió el crecimiento de plantas de rábano rojo (*Raphanus sativus*), lo que sugiere que los polifenoles contenidos en los PC, así como la competencia entre los microorganismos del suelo y las raíces de planta por el nitrógeno disponible, tienen un efecto inhibitor del crecimiento [30]. Los residuos orgánicos en proceso de descomposición albergan microorganismos que requieren nitrógeno para su metabolismo y la degradación de los PC. Sin embargo, estas desventajas pueden subsanarse aplicando 0,5 g de PC como cobertura en la segunda y la tercera semana después de la siembra [30].

Horgan et al. (2023) evaluaron el crecimiento de rábano y jitomate con mezclas de PC de 1 a 14 meses después de su obtención y suelo franco

arcilloso en proporciones 1:3. Los resultados muestran que los rábanos y tomates en suelo mezclado con PC relativamente frescos de ≤ 7 meses redujo el crecimiento de plantas y mostró repelencia de babosas y caracoles, mientras que el envejecimiento de PC de 14 meses mejoró el desarrollo de las plántulas, aumentando su altura y peso húmedo hasta un 30% mayor comparado con el testigo de 100% suelo, sin embargo este PC no mantiene el efecto contra herbívoros, por lo que para lograr los beneficios de crecimiento y reducción de herbivoría se recomienda PC con maduración de hasta 8 meses [31].

Estos trabajos muestran que la implementación de los PC en fresco tiene desventajas para el crecimiento de las plantas y que requiere entre 8 y 14 meses para superar los efectos negativos.

3. Compostas

El compostaje de los PC puede producir abonos eficaces para el crecimiento de las plantas. Por ejemplo, la incorporación del compost obtenido de una mezcla PC:estiércol de aves de corral (1:1) mejoró la calidad, el vigor y el color del pasto bermuda (*Cynodon dactylon*) en comparación con el compost obtenido tras la fertilización con Miloganite® (6-4-0), sulfato de amonio o con URI-PEL SR® (19-5-9) [32].

Ronga et al. (2025) afirman que al compostear los PC con residuos orgánicos como astillas de madera y biomasa de cardo (*Cynara cardunculus*) durante 105 días y, posteriormente, combinarlos con turba comercial y aplicarlos a semillas de tomate y albahaca, las plantas presentan un índice de germinación superior al 60% frente al testigo de 100% de turba comercial en los tratamientos con 30% y 40% de PC [33].

Los PC composteados con residuos de plantas medicinales por 36 días se utilizaron para la germinación de trigo sarraceno (*Fagopyrum esculentum*) añadiendo bacterias promotoras de crecimiento vegetal como *Streptomyces* sp., *Paenybacillus* sp., *Hymenobacter* sp. y *Bacillus* sp. Estos mostraron una alta fitotoxicidad atribuida a la inmadurez del compost, lo que los calificó como un sustrato no apto para fines agrícolas [34].

Otro tipo de abono utilizado en la agricultura es el bocashi, un abono fermentado que se elabora a partir de una mezcla de diversos residuos orgánicos,

incluyendo PC, y puede tardar entre 150 y 21 días en su elaboración [35].

Irfan et al. (2025) prepararon bocashi mezclando estiércol de vaca, salvado, cenizas de cascarilla de café, aserrín, harina de pescado, microorganismos locales y PC (250 g) en melaza (1 L) durante 20 días de fermentación. Este abono se aplicó al maíz Bonanza F1. El bocashi con 20% de PC de café tuvo un efecto positivo en la altura del cultivo comparado con el control (bocashi sin PC) [36].

4. Vermicomposta

Otra alternativa para tratar los PC es someterlos a vermicompostaje con lombrices de la especie *Eisenia foetida*.

La aplicación de vermicomposta, derivada de una mezcla de PC:estiércol de vaca (2:1) y 20 lombrices, en una concentración de 25 g por 5 kg de suelo, incrementó la altura, número de hojas y ramificaciones, diámetro del tallo y mayor número y calidad de frutos de *Capsicum frutescens* en comparación con el control (100% de suelo), demostrando que el uso de vermicomposta producida con PC mejora la productividad del cultivo [37].

Erdawati et al. (2024) propusieron un proceso de compostaje para los PC destinado a la producción de *Aglaonema brevispathum*, una planta ornamental. El método incluye un compostaje de estiércol de vaca y PC en proporción 1:1 durante 7 días, seguido de la vermicomposta de 40 kg de composta con 4 kg de lombrices, y de la recolección del lixiviado cada 10 días durante 60 días. Posteriormente, realizaron un sustrato mezclando 30% de tierra, 30% de cascarilla de arroz, 20% de turba de coco, 15% de biocarbón, 5% de cal y 1, 2, 3 y 4% del lixiviado. El estudio muestra que, al aumentar la concentración del lixiviado de vermicomposta, hubo una mayor producción de hojas, macollo y flores [38].

Asimismo, Hanc et al. (2021) reportan el uso de los PC en vermicomposta, al mezclar 25% de PC y 75% de pellets de paja se obtuvo 1.6 veces y 4.5 veces más en el número y biomasa de lombrices, respectivamente [39].

5. Biocarbón

El biocarbón se produce mediante la combustión de biorresiduos, como los PC, en un entorno de oxígeno

limitado. Actualmente, se están evaluando para fines agronómicos, como enmiendas de suelos y para el crecimiento de cultivos.

La aplicación del 5% de biocarbón derivado de PC arábica (PCA) y colombiano (PCC) sobre suelo arenoso franco tiene un alto potencial como enmienda de suelos, mejorando las propiedades físicas del suelo y el crecimiento de plantas de maíz, en comparación con el control sin enmiendas. La aplicación de PCA y PCC condujo a una reducción del 57 al 66% en la evaporación acumulada y a una incrementación del 124 al 181% en la tasa de infiltración en comparación con el control. Además, los tratamientos con biocarbón mejoraron la retención de agua en el suelo entre 101 y 130% respecto al control. Respecto al crecimiento de las plantas, los PCA y PCC duplicaron la altura de las plantas, aumentaron la biomasa de las raíces en 5 veces y mejoraron la biomasa de los brotes en 1,5 veces en comparación con el control, lo que indica que los PC pueden convertirse eficazmente en biocarbón y usarse como potentes enmiendas del suelo para aumentar la productividad del maíz en regiones áridas y semiáridas [40].

En plantas de lechuga de 40 días, la aplicación de biocarbón obtenido a 400 °C superó la biomasa obtenida con PC en fresco, pero no alcanzó los niveles de las plantas tratadas con una fertilización convencional 15-15-15 [41].

En otro estudio se reporta que el extracto de biocarbón sometido a 350 °C durante 1 hora puede provocar fitotoxicidad relacionada con la lixiviación de ácidos carboxílicos, como el ácido acético, el fórmico y el láctico, y que, con mayores dosis de biocarbón (0-100 t ha⁻¹), se observa una mayor inhibición de la germinación de lechuga [42].

Asimismo, se comparó el efecto del biocarbón de PC y del estiércol de animales de granja, ambos obtenidos a 550 °C durante 1,5 horas, en la producción de lechuga. Este estudio muestra que, al aplicar 5% v/v de biocarbón de PC en suelo franco-arcilloso arenoso, las plantas presentaron un peso fresco menor (casi el 50%) que al usar biocarbón de estiércol de animales de granja. Esto sugiere que los efectos en el sistema suelo-planta varían según el tipo de biocarbón (materia prima y condiciones de pirólisis de obtención), la tasa de aplicación y la especie de la planta cultivada [43].

6. Sustrato para producción de setas

Los PC también han sido evaluados como sustrato para el crecimiento de *Pleurotus ostreatus*. Para este propósito, los PC se usan en semifresco, previamente secados al sol.

Alsanad et al. (2021) estudiaron la colonización y producción de setas en paja de trigo con diferentes proporciones de PC, resaltando que la cantidad de PC influye sobre el crecimiento y rendimiento. Aunque el uso de 33 y 67% de PC con paja de trigo limitó el crecimiento, se reportó una mejora en el valor nutrimental de los hongos, incrementando los niveles de carbohidratos y disminuyendo los de grasa y sodio [44].

Por otro lado, el uso de PC en la producción de setas mezclado con aserrín, 10% de salvado de arroz y 1% de CaCO₃ mostró una deficiencia en el desarrollo y crecimiento de los cuerpos fructíferos en comparación al control 100% de aserrín, atribuido a los ácidos fenólicos no degradados en los sustratos [45].

Kohphaisansombat et al. (2023) mezclaron PC en diferentes proporciones con residuos de piña; el mejor tratamiento fue: 50% de PC con 30% de residuos de fibras de piña naturales, 16% de salvado de arroz, 2% de harina y 2% de piedra pómez. Las setas obtenidas mostraron una mejor resistencia a la flexión, absorción de agua y hinchamiento frente al testigo (solo aserrín) [46].

Otro estudio demostró que la combinación 60, 20 y 20% de paja de trigo, PC y cascara de papa, respectivamente, aumentó la tasa de producción de setas hasta 20% comparado con el control (solo paja) [47].

Abou Fayssal et al. (2021) experimentaron con mezclas de paja de trigo, PC y residuos de podas de olivo. Los tratamientos con mayor contenido de PC y paja de olivo tuvieron 50% del desarrollo del micelio y no fueron productivos, estos resultados se asociaron a la baja relación C/N (37:1 y 26:1) de las mezclas utilizadas, mientras que los sustratos con mezclas en proporciones iguales de paja, PC y podas de olivo (33% cada una, relación C/N 46:1) y 66, 17 y 17% (relación C/N 59:1), respectivamente, tuvieron un rendimiento similar al testigo (100% paja de trigo, relación C/N 69:1) mejorando algunas propiedades nutricionales como el contenido de proteína y potasio [48]. Esto sugiere que los PC

pueden implementarse según la cantidad de PC y la relación C/N en el sustrato.

7. Efecto plaguicida

Otra de las propiedades de los PC poco exploradas es el efecto plaguicida. Oka (2024) reportó el uso de un extracto metanólico de PC (1:10 p/v, 20 mL de metanol al 90% y 2 g de PC, con agitación durante 1 hora a 60 °C). El sólido obtenido mediante extracción se utilizó para preparar soluciones de 0.125, 0.25 y 0.375 mg en 4 µL de agua, que se aplicaron a una solución de 150 nematodos en 10 µL. El tratamiento con 0.125 mg inhibió el 100% del crecimiento de *Meloidogyne javanica*, *M. hapla* y *M. marylandi* en condiciones *in vitro*. Además, su aplicación en raíces de lechuga *in vivo* demostró una disminución del 75% de las infecciones en comparación con el testigo (0.25 mg de cristales de café instantáneo y 3 µL de metanol al 90%) [49].

Otro estudio realizado por Hussein et al. (2022) demostró el efecto insecticida de un extracto metanólico de PC sobre *Helicoverpa armigera*, una plaga que afecta el desarrollo del frijol. El extracto metanólico (usado al 60%) se obtuvo en proporción 1:4 (40 mL de metanol por gramo de PC, ebullición a 60-65 °C durante 90 min y centrifugado a 2500 × g a 4 °C durante 20 min). El sobrenadante del extracto al 100% se aplicó a 5 gusanos en cajas de Petri y se observó una mortalidad del 76% [50].

El efecto herbicida de los PC fue estudiado por Hirooka et al. (2022), quienes aplicaron PC en fresco directamente en proporciones de 5, 10 y 20 kg m⁻² en un terreno con especies de malezas de la región. Se observó que la inhibición del crecimiento en todos los tratamientos solo dura 4 meses y que las gramíneas fueron tolerantes a la aplicación de PC [51].

8. Otras aplicaciones en la agricultura

Los PC también pueden tener efectos fungicidas. Un estudio *in vitro* demostró que los PC pueden estar colonizados por microorganismos como *Trichoderma atroviride*. Al aplicarse 10% de PC frescos con turba en plantas de berro infectadas con *Phytophthora nicotianae*, se ayuda al control de este hongo fitopatógeno y se disminuye el marchitamiento de las raíces por la presencia de *T. atroviride*, que mejora la absorción de nutrientes de las raíces [52].

Por otro lado, la implementación de los PC en techos verdes fue estudiada por Yalçınalp et al. (2025). Las aplicaciones de PC del 20% y 50% con tierra en *Sedum spurium* y *Fragaria ananassa* muestran que los PC reducen la altura y el diámetro de ambas especies. Sin embargo, aumentó la cantidad de frutos cosechados al incrementar la dosis de PC, y con el 20% de PC se observó un mejor desarrollo radicular [53].

9. Conclusiones

Los PC presentan usos alternativos sustentables en la producción agrícola. De acuerdo con la revisión de la literatura, se recomienda encarecidamente realizar un pretratamiento de los PC y evaluar la tasa de aplicación, con el fin de obtener efectos positivos en la enmienda de suelos, el crecimiento de los cultivos y la rentabilidad, así como en la producción de insumos que sustituyan a los agroquímicos. La incorporación de los PC en la agricultura representa una solución viable para gestionar la gran cantidad de desechos generados a nivel mundial, en respuesta a la alta demanda de bebida de café.

Conflicto de intereses

Los autores manifiestan no presentar conflictos de interés.

Referencias

- [1] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). The state of food and agriculture 2023: making agrifood systems more resilient to shocks and stresses. Rome: FAO; 2023. Disponible en: <https://www.fao.org/4/y5143s/y5143s0v.htm>
- [2] Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). DGSIAP. Ciudad de México: Gobierno de México, 2023. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/dgsiap>
- [3] Fernández-Cortés, Y., Sotto-Rodríguez, KD., Vargas-Marín, LA. Impactos ambientales de la producción de café y el aprovechamiento sustentable de los residuos generados. *Revista Producción + Limpia* 2020; 15 (1): 93-110. <https://doi.org/10.22507/pml.v15n1a7>
- [4] Gutiérrez-Antonio, C., Rodríguez-Romero, LA., García-Trejo, JF., Feregrino-Pérez, AA. Revalorización de residuos del cultivo de café: rumbo a una economía circular. *Digital Ciencia@UAQRO* 2020; 14(1): 71-79.
- [5] Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). México, onceavo productor mundial de café. Ciudad de México: Gobierno de México; 2020. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/mexico-onceavo-productor-mundial-de-cafe?idiom=es>.

- [6] Ijanu, EM., Kamaruddin, MA., Norashiddin, FA. Coffee processing wastewater treatment: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. *Applied Water Science* 2020; 10 (11). <https://doi.org/10.1007/s13201-019-1091-9>
- [7] Vázquez Trillo, MA., Soto, M. El ensayo de DBO como indicador del establecimiento del compost. *Compostaje de residuos orgánicos y seguridad medioambiental* 2011; 1 (1): 457-467. DOI:10.13140/2.1.5104.2889
- [8] Saeli, M., Capena, MN., Piccirillo, C., Tobaldi, D., Seabra, MP., Scalera, F., Striani, R., Corcione, CE., Campisi, T. Development of energy-saving innovative hydraulic mortars reusing spent coffee ground for applications in construction. *Journal of Cleaner Production* 2023; 399 (1). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136664>
- [9] Bio-Bean. A fusion of biology and caffeine for your fitness goals 2021. <https://www.bio-bean.com/>
- [10] Nestlé España S. A. Nestlé utiliza los posos de café para producir energía 2020. Disponible en: <https://empresa.nestle.es/es/sala-de-prensa/actualidad-nestle/nestle-utiliza-posos-cafe-producir-energia>
- [11] Xia, W., Li, Z., Tang, Y., Li, Q. Sustainable recycling of café waste as natural bio resource and its value adding applications in green and effective dyeing/bio finishing of textile. *Separation and Purification Technology* 2023; 309 <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.123091>.
- [12] Batbekh, B., Ahmed, E., Hanada, M., Fukuma, N., Nishida, T. Assessment of the Impact of coffee waste as an alternative feed supplementation on rumen fermentation and methane emissions in an in vitro study. *Fermentation* 2023; 9(9): 858. <https://doi.org/10.3390/fermentation9090858>
- [13] Angeloni, S., Caprioli, G., Cespi, M., Acquaticci, L., Mustafa, AM., Satanatoglia, A., Alessandro, AD., Coletta, M., Waris, N., Terza, A. An innovative formulation to improve spent coffee characteristics as soil fertilizer: Nutrient, chemical characterization and effects on plant germination. *Biocatalysis and Agricultural biotechnology* 2024; 61. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2024.103394>
- [14] Galán-Moreno, Y., Román-Jeri, CH., Viltres-Barbán, D., Arañó-Leyva, L., Valdés-González, K., Yero-Guevara, A., Vélez-Brizo, E. Caracterización físico química del BIOL-Y23 de residuos del café en el municipio Tercer Frente. *Café Cacao* 2024; 23. <https://cafecacao.edicionescervantes.com/index.php/cafecacao/article/view/278>
- [15] Arifin, A., Ariyanto, T., Mustakim., Gunawan, I. Characteristics and Nutrient content of spent and non spent coffee ground from robusta coffee in Samigaluh, Kulonprogo. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 2025; 1463. doi:10.1088/1755-1315/1463/1/012017
- [16] Guo, R., Li, G., Jiang, T., Schuchardt, F. Effect of aeration rate, C/N ratio and moisture content on the stability and maturity of compost. *Bioresource Technology* 2012; 8: 112-171. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.02.099>
- [17] Singh, TA., Pal, N., Sharma, P., Passari, AK. Spent coffee ground: transformation from environmental burden into valuable bioactive metabolites. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 2023; 22(4), 887-898.
- [18] Franca, AS., Oliveira, LS. Potential uses of spent coffee grounds in the food industry. *Foods* 2022; 11(14):2064. <https://doi.org/10.3390/foods11142064>
- [19] Montoya-Hernández, D., Dufoo-Hurtado, E., Cruz-Hernández, A., Campos-Vega, R. Spent coffee grounds and its antioxidant dietary fiber promote different colonic microbiome signatures: Benefits for subjects with chronodisruption. *Microbial Pathogenesis* 2023; 176:106431. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2023.106431>
- [20] Hassan, SM. Composition, phyto-chemical properties, recovery of bio active components and different applications food and nonfood of the spent coffee: a review. *Open Journal of Nutrition and Food Sciences* 2023; 5(1):1029.
- [21] Nascimento, DD., Fernandes dSL., Bezerra, LJAM., Silveira, FL., da Silva AFI., Sousa, dSJC. Spent coffee grounds: Insights and future prospects for bioenergy and circular economy applications. *Green Technologies & Sustainability* 2025; 3(4):100213. <https://doi.org/10.1016/j.grets.2025.100213>
- [22] Ostojčić, M., Brekalo, M., Stjepanović, M., Bilić, RB., Velić, N., Šarić, S., Djerdj, I., Budžaki, S., Strelec, I. Cellulose carriers from spent coffee grounds for lipase immobilization and evaluation of biocatalyst performance. *Sustainability* 2025; 17(21):9633. <https://doi.org/10.3390/su1721963>
- [23] Huang, M., Chatzifragkou, A., Rastall, RA. Valorisation of spent coffee grounds in the context of prebiotic potential: a review. *Food Bioscience* 2025; 69:106936. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2025.106936>
- [24] Navarro-Hoyos, M., Vargas-Huertas, LF., Chacón-Vargas, JD., Leandro-Aguilar, V., Alvarado-Corella, D., Vega-Baudrit, JR., Romero-Esquivel, LG., Sánchez-Kopper, A., Monge-Navarro, A., Araya-Sibaja, AM. HRMS Characterization and antioxidant evaluation of Costa Rican spent coffee grounds as a source of bioactive polyphenolic extracts. *Foods* 2025; 14(3):448. <https://doi.org/10.3390/foods14030448>
- [25] Angeloni, S., Kamgang Nzekoue, F., Navarini, L., Sagratini, G., Torregiani, E., Vittori, S., Caprioli, G. An analytical method for the simultaneous quantification of 30 bioactive compounds in spent coffee ground by HPLC-MS/MS. *Journal of Mass Spectrometry* 2020; 55(11):e4519. <https://doi.org/10.1002/jms.4519>
- [26] Murillo-Montoya, SA., Mendoza-Mora, A., Fadul-Vásquez, CJ. La importancia de las enmiendas orgánicas en la conservación del suelo y la producción agrícola. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales* 2020; 7 (1): 58-68. <https://doi.org/10.23850/24220582.2503>
- [27] Cervera-Mata, A., Molinero-García, A., Martín-García, JM., Delgado, G. Sequential effects of spent coffee grounds on soil physical properties. *Soil Use and Management* 2022; 39, 286-297. <https://doi.org/10.1111/sum.12853>
- [28] Bedoya-Justo, E., Julca-Otiniano, A. Efecto de la materia orgánica en el cultivo de palto variedad Fuerte en Moquegua, Perú. *Idesia (Arica)* 2021; 39 (4): 111-119. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292021000400111>
- [29] Chrysargyris, A., Antoniou, O., Xylia, P., Petropoulos, S., Tzortzakis, N. The use of spent coffee grounds in growing media for the production of *Brassica* seedlings in nurseries. *Environmental Science and Pollution Research* 2021; 28: 24279-24290. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07944-9>
- [30] Mesmar, AK., Albedwawi, ST., Alsalami, AK., Alshemeili, AR., Abu-Elsaoud, AM., El-Tarabily, KA., Al Raish, SM. The effect of recycled spent coffee grounds fertilizer, vermicompost, and chemical fertilizers on the growth and soil quality of red radish (*Raphanus sativus*) in the United Arab Emirates: a sustainability perspective. *Foods* 2024; 13: 1997. <https://doi.org/10.3390/foods13131997>
- [31] Horgan, FG., Floyd, D., Mundaca, EA., Crisol-Martínez, E. Spent coffee grounds applied as a top-dressing or incorporated into the soil can

- improve plant growth while reducing slug herbivory. *Agriculture* 2023; 13(2):257. <https://doi.org/10.3390/agriculture13020257>
- [32] Flores, G., Wherley, B., McInnes, K., Feagley, S., Hejl, R. Evaluation of spent coffee grounds as a nutrient source for turfgrass systems. *Journal of Plant Nutrition* 2024; 47:3526-3541. <https://doi.org/10.1080/01904167.2024.2380488>
- [33] Ronga, D., Pane, C., Zaccardelli, M., Pecchioni, N. Use of spent coffee ground compost in peat-based growing media for the production of basil and tomato potting plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 2025, 47(3), 356–368. <https://doi.org/10.1080/00103624.2015.1122803>
- [34] Dimitrijević, S., Milić, M., Buntić, A., Dimitrijević-Branković, S., Filipović, V., Popović, V., Salamon, I. Spent coffee grounds, plant growth promoting bacteria, and medicinal plant waste: the biofertilizing effect of high-value compost. *Sustainability* 2024; 16, 1632. <https://doi.org/10.3390/su16041632>
- [35] Ramos-Agüero, D., Terry-Alfonso, E., Soto-Carreno, F., Cabrera-Rodríguez, JA. Bocashi: organic manure elaborated starting from residuals of bananas production in Bocas del Toro, Panama. *Cultivos Tropicales* 2014, 35 (2): 90-97.
- [36] Irfan, I., Fahmi, R., Fadhil, M., Sulaiman, I. The influence of robusta coffee grounds proportion and fermentation time on the quality of bokashi. *Coffee Science* 2025; 20. <https://doi.org/10.25186/v20i.2275>
- [37] Darwis, D., Lisdiana, H., Erdawati, E. Application of vermicompost from spent coffee ground on the growth of *Capsicum frutescens* L. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 2023. doi:10.1088/1755-1315/12228/1/012030
- [38] Erdawati, E., Pratiwi, Y., Saefurrahman, G. Vermicompost from Spent coffee grounds as a nutrient-rich organic fertilizer. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 2024; 1354. doi:10.1088/1755-1315/1354/1/012011
- [39] Hanc, A., Hrebeckova, T., Grasserova, A., Cajhaml, T. Conversion of spent coffee grounds into vermicompost. *Bioresource Technology* 2021; 341. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125925>
- [40] Alghamdi, AG., Alomran, A., Ibrahim, HM., Alkhasha, A., Majrashi, MA. Spent coffee waste-derived biochar improves physical properties, water retention, and maize (*Zea mays* L.) growth in sandy soil. *Scientific Reports* 2024; 14. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-70504-5>
- [41] Cervera-Mata, A., Navarro-Alarcón, M., Rufián-Henares, JA., Pastoriza, S., Montilla-Gómez, J., Delgado, G. Phytotoxicity and chelating capacity of spent coffee grounds: two contrasting faces in its use as soil organic amendment. *Science of the Total Environment* 2020; 717 (15). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137247>
- [42] Martins de Souza, LZ., Pinto, BC., Barboza-Alves, A., Oliveira-Ribeiro, AV., Teodoro-Feliciano, DC., Silva, LH., Morales-Dias, TT., Yilaz, M., André de Oliveira, M., Silva-Bezerra, AC., Emerenciano-Ferreira, O., Pereira de Lima, R., Teixeira-Machado, AR. Ecotoxicological effects of biochar obtained from spent coffee grounds. *Materials Research* 2020; 25 (2). <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2022-0013>
- [43] Christou, A., Stylianou, M., Georgiadou, E., Gedeon, S., Ioannou, A., Michael, C., Papanastasiou, P., Fotopoulos, V., Fatta-Kassinou, D. Effects of biochar derived from the pyrolysis of either biosolids, manure or spent coffee grounds on the growth, physiology and quality attributes of field-grown lettuce plants. *Environmental Technology y Innovation* 2020; 26. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102263>
- [44] Alsanad, MA., Sassine, YN., El Sebaaly, Z., Abou, FS. Spent coffee grounds influence on *Pleurotus ostreatus* production, composition, fatty acid profile, and lignocellulose biodegradation capacity. *CyTA - Journal of Food* 2021; 19(1), 11–20. <https://doi.org/10.1080/19476337.2020.1845243>
- [45] Yao-Chai, W., Gopala-Krishnan, U., Sabaratnam, V., Lee Tan, JB. Assessment of coffee waste in formulation of substrate for oyster mushrooms *Pleurotus pulmonarius* and *Pleurotus florida* production. *Future foods* 2021; 4. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100075>
- [46] Kohphaisansombat, C., Jongpipitaporn, Y., Laoratanakul, P., Tantipabulvut, S., Euanorasetr, J., Rungjindamai, N., Boonyuen, N. Fabrication of mycelium (oyster mushroom)-based composites derived from spent coffee grounds with pineapple fibre reinforcement. *Mycology* 2023; 15(4): 665–682. <https://doi.org/10.1080/21501203.2023.2273355>
- [47] Torres-Martínez, BdM., Vargas-Sánchez, RD., Pérez-Alvarez, JA., Fernández-López, J., Viuda-Martos, M., Esqueda, M., Rodríguez-Carpena, JG., Ibarra-Arias, FJ., Torrescano-Urrutia, GR., Sánchez-Escalante, A. Bio-valorization of spent coffee grounds and potato peel as substrates for *Pleurotus ostreatus* growth. *Foods* 2024; 13, 3774. <https://doi.org/10.3390/foods13233774>
- [48] Abou Fayssal, S., Sebaaly, Z., Alsanad, M., Najjar, R., Bohme, M., Yordanov, HY., Sassine, YN. Combined effect of olive pruning residues and spent coffee grounds on *Pleurotus ostreatus* production, composition, and nutritional value. *PLoS One* 2021; 16 (9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0255794>
- [49] Oka, Y. Coffee and its waste repel second-stage juveniles of *Meloidogyne* species and inhibit their infection of lettuce roots. *Nematology* 2024; 26(9): 995-1011. <https://doi.org/10.1163/15685411-bja10353>
- [50] Hussein, H., Abouamer, W., Ali, H., Elkhadragey, M., Yehia, H., Farouk, A. The valorization of spent coffee ground extract as a prospective insecticidal agent against some main key pests of *Phaseolus vulgaris* in the laboratory and field. *Plants* 2022; 11, 1124. <https://doi.org/10.3390/plants11091124>
- [51] Hirooka, Y., Kurashige, S., Yamane, K., Kakiuchi, M., Miyagawa, T., Iwai, K. Effects of different application methods of spent coffee grounds on weed growth. *Weed Technology* 2022; 36(5): 692–9. doi:10.1017/wet.2022.66
- [52] Chilosi, G., Aleandri, MP., Luccioli, E., Stazi, SR., Marabottini, R., Morales-Rodríguez, C., Vettraino, AM., Vannini, A. Suppression of soil-borne plant pathogens in growing media amended with espresso spent coffee grounds as a carrier of *Trichoderma* spp. *Scientia Horticulturae* 2021; 259. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108666>
- [53] Yalçınalp, E., Demirci, Ö., Meral, A. Brewing sustainability: unveiling the potential of coffee ground as green roof media. *Urban Ecosystems* 2025; 28 (80). <https://doi.org/10.1007/s11252-025-01684-9>