

Actividad antioxidante y antibacteriana de la cascarilla plateada de café fermentada con *Pleurotus ostreatus*

Antioxidant and antibacterial activity of coffee silverskin fermented with *Pleurotus ostreatus*

Atondo Echeagaray, W.A.¹ , Torres Martínez, B.M.¹ , Sánchez Escalante, A.¹ ,
Ibarra Arias, F.J.^{2*} , Torrescano Urrutia, G.R.¹ , Vargas Sánchez, R.D.^{1*} 

¹ Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Animal. SECIHTI - Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas, 46, La Victoria. C.P. 83304, Hermosillo, Sonora, México.

² Alta Tecnología Industrial para la Salud Animal. Gabino Barreda, 1290-10, San Carlos. C.P. 4443, Guadalajara, Jalisco, México.



Please cite this article as/Como citar este artículo: Atondo-Echeagaray, W.A., Torres-Martínez, B.M., Sánchez-Escalante, A., Ibarra-Arias, F.J., Torrescano-Urrutia, G.R., Vargas-Sánchez, R.D. (2025). Antioxidant and antibacterial activity of coffee silverskin fermented with *Pleurotus ostreatus*. *Revista Bio Ciencias*, 13, e1983. <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e1983>

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: June 24, 2025.

Accepted/Aceptado: November 15, 2025.

Available on line/Publicado: December 15, 2025.

RESUMEN

Este estudio evaluó el efecto del método de extracción y el nivel de adición de residuo de la cascarilla plateada de café en la composición de metabolitos, actividad antioxidante y actividad antibacteriana de extractos acuosos. Se emplearon dos métodos de extracción: maceración y fermentación fúngica sumergida, con niveles de residuo de 0, 1 y 2 %. Los resultados mostraron que ambos factores influyeron significativamente en la composición y bioactividad de los extractos. La maceración con 1 % y 2 % de residuo presentó el contenido más alto de compuestos fenólicos, mientras que la fermentación con 2 % de residuo tuvo el ácido clorogénico más alto. Los extractos obtenidos por maceración exhibieron la inhibición más significativa de radicales libres y poder reductor férrico. Por el contrario, los obtenidos por fermentación presentaron la inhibición más significativa de radicales catiónicos y poder reductor. La fermentación con 2 % resultó en una mayor inhibición de *Staphylococcus aureus*, mientras que la maceración y fermentación con 2 % fueron efectivas contra *Listeria monocytogenes* y *Salmonella typhimurium*. Los extractos obtenidos por fermentación fúngica sumergida son aditivos potenciales para la industria cárnica.

PALABRAS CLAVE: Residuos agroindustriales, Maceración, Fermentación, Bioactividad, *Pleurotus ostreatus*.

*Corresponding Author:

Rey David Vargas-Sánchez. Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Animal. SECIHTI - Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas, 46, La Victoria. C.P. 83304, Hermosillo, Sonora, México. Teléfono: +52 (662) 289 2400. E-mail: rey.vargas@ciad.mx

ABSTRACT

This study evaluated the effect of the extraction method and the level of coffee silverskin residue addition on the metabolite composition, antioxidant activity, and antibacterial activity of aqueous extracts. Two extraction methods were employed: maceration and submerged fungal fermentation, with residue levels of 0, 1, and 2 %. The results showed that both factors significantly influenced the composition and bioactivity of the extracts. Maceration with 1 % and 2 % residue yielded the highest phenolic compound content, while fermentation with 2 % residue yielded the highest chlorogenic acid content. Extracts obtained by maceration exhibited the greatest inhibition of free radicals and ferric reducing power. In contrast, those obtained by fermentation presented the most significant inhibition of cation radicals and reducing power. Fermentation with 2 % resulted in greater inhibition of *Staphylococcus aureus*, while maceration and fermentation with 2 % were effective against *Listeria monocytogenes* and *Salmonella typhimurium*. Extracts obtained by submerged fungal fermentation are potential additives for the meat industry.

KEY WORDS: Agro-industrial residue, Maceration, Fermentation, Bioactivity, *Pleurotus ostreatus*.

Introducción

La industria del café genera una cantidad significativa de subproductos en las diferentes etapas de su procesamiento, más de seis millones de toneladas al año, entre los que se incluyen pulpa de café, cáscara y cascarilla plateada. Estos subproductos se consideran subutilizados, ya que son fuente de carbohidratos, proteínas, grasa, fibra (soluble e insoluble), celulosa (principalmente unidades de glucosa), hemicelulosa (arabinosa, manosa, galactosa y xilosa), lignina (soluble e insoluble), cafeína, taninos y ácido clorogénico. Además, la presencia de compuestos bioactivos como polifenoles se ha asociado con las propiedades biológicas de estos subproductos (Ballesteros *et al.*, 2014; Serna-Jiménez *et al.*, 2022).

A diferencia de la cáscara de café, que se obtiene del café en cereza durante el beneficio seco, la cascarilla plateada de café (tegumento seminal o testa) es el principal subproducto generado durante el proceso de tostado (Serna-Jiménez *et al.*, 2022). Se estima que, entre 2015 y 2023, la producción mundial de café creció de 8.5 a 11 millones de toneladas, lo que ha provocado que la acumulación de cascarilla plateada se sitúe entre 200,000 y 400,000 toneladas por año (Boninsegna *et al.*, 2025). Debido a su composición y propiedades funcionales, este subproducto representa una materia prima alternativa con potencial para aplicaciones de valor agregado en la industria alimentaria (Boninsegna *et al.*, 2025; Serna-Jiménez *et al.*, 2022).

En relación con sus propiedades funcionales, en un estudio previo se demostró que la harina de cascarilla plateada presenta propiedades tecno-funcionales como capacidad de retención de agua, capacidad de retención de aceite, capacidad de emulsificación, y estabilidad de la emulsión, mientras que el extracto acuoso-metanólico obtenido de la cascarilla plateada mediante extracción por maceración mostró actividad antirradical, así como poder reductor (Ballesteros *et al.*, 2014).

En otro estudio se evaluó la efectividad del extracto acuoso de la cascarilla plateada, obtenido mediante extracción por maceración, como antioxidante en homogeneizados de carne de cerdo sin cocinar. Para ello, se determinó el contenido de polifenoles y la actividad antioxidante del extracto, el cual se incorporó al homogenizado cárnico en concentraciones de 0, 250 y 500 ppm, lo cual se llevó a cabo por oxidación inducida. Los resultados mostraron que el extracto redujo la oxidación de lípidos, el contenido de metamioglobina y los cambios de color, lo que se relacionó con la presencia de polifenoles, sugiriendo su uso potencial como aditivo antioxidante en productos cárnicos (Vargas-Sánchez *et al.*, 2024).

Sin embargo, la extracción de compuestos antioxidantes y antibacterianos a través de procesos biotecnológicos presenta una oportunidad para desarrollar nuevos aditivos alimentarios (Martí-Quijal *et al.*, 2021; Ogidi *et al.*, 2020). La fermentación, tanto en estado sólido como en cultivo sumergido, se ha explorado como una herramienta para recuperar compuestos bioactivos (Martí-Quijal *et al.*, 2021). El uso de hongos para fermentar subproductos agroindustriales puede facilitar la liberación de estos compuestos mediante la actividad enzimática, convirtiéndose en una alternativa a la extracción convencional con solventes, ya que a través de esta a menudo no se liberan completamente los compuestos unidos a la matriz vegetal (Ogidi *et al.*, 2020; Terán-Rivera *et al.*, 2025). La fermentación sumergida, en particular, ofrece varias ventajas sobre la fermentación en estado sólido, como la distribución uniforme del inóculo y tiempos de procesamiento más cortos (Dey *et al.*, 2016). No obstante, su efectividad depende de algunos factores, tales como la especie de hongo utilizada, la composición del sustrato y las condiciones de cultivo utilizadas (Martí-Quijal *et al.*, 2021; Terán-Rivera *et al.*, 2025).

A pesar de estos hallazgos, no se han reportado investigaciones sobre la recuperación de compuestos antioxidantes a partir de la cascarilla plateada mediante la fermentación sumergida, utilizando *Pleurotus* spp. Por lo anterior, en este estudio se planteó como objetivo evaluar la composición de metabolitos y la actividad antioxidante de extractos acuosos de la cascarilla plateada fermentados en cultivo sumergido con micelio de *Pleurotus ostreatus*.

Material y Métodos

Material vegetal

El residuo de café (cascarilla plateada), donado por un proveedor local (Caffenio®, Hermosillo, México), fue secado a 60 °C (DX402, Yamato, Japón) hasta alcanzar una humedad del 10 %, y luego se esterilizó a 121 °C por 20 min (SM300, Yamato, Japón).

Fermentación en medio sumergido

El micelio de *P. ostreatus* fue cultivado en placas Petri utilizando como medio agar de papa dextrosa a 25 °C por 5 días (IC602, Yamato, Japón), hasta que el micelio cubrió completamente la superficie. El medio de fermentación (pH = 5.4) se esterilizó a 121 °C por 30 min y estuvo compuesto por glucosa (20 g/L), extracto de levadura (5 g/L), fosfato de potasio (1 g/L), sulfato de magnesio (0.5 g/L) y ácido ascórbico (0.05 g/L). La fermentación se llevó a cabo utilizando 100 mL de medio, al que se añadieron diferentes proporciones de cascarilla plateada (0, 1 y 2 %, p/v). Se realizaron dos tipos de ensayos: 1) sin la adición de micelio, denominados ME (extracción por maceración), y 2) con la adición de 1.5 mg de micelio, denominados FE (extracción por fermentación). Las muestras se incubaron a 150 rpm (28 °C; agitación orbital de 2.54 cm) por 10 días (MaxQ-5000, Fisher, Canadá), en la oscuridad (Terán-Rivera *et al.*, 2025).

Obtención del extracto

El medio de cultivo fermentado se homogeneizó a 10,000 rpm (4 °C) por 1 min (T25, IKA®, Alemania) y se filtró al vacío con papel filtro Whatman 1 (MVP6, Soosung Vacuum, Corea del Sur). Posteriormente, la solución obtenida se secó mediante liofilización (DC401, Yamato, Japón), y los extractos acuosos obtenidos se almacenaron en recipientes de plástico hasta su análisis (Terán-Rivera *et al.*, 2025).

Contenido de metabolitos

El contenido total de carbohidratos (TCC) se determinó mediante el método de fenol-ácido sulfúrico (Albalasmeh *et al.*, 2024), con ligeras modificaciones. Los extractos acuosos (50 µL, 5 mg/mL) se homogeneizaron con 25 µL de solución de fenol (5 %, v/v) y 125 µL de ácido sulfúrico concentrado. La mezcla de reacción se incubó a temperatura ambiente (25 °C) por 10 min, en la oscuridad. La absorbancia se midió a 490 nm en un espectrofotómetro (Multiskan-FC, Thermo Scientific, Japón) y los resultados se expresaron como equivalentes de glucosa (g GE/L).

El contenido total de fenoles (TPC) se determinó mediante el método de Folin-Ciocalteu (Matic & Jakobek, 2021), con ligeras modificaciones. Los extractos acuosos (20 µL, 5 mg/mL) se homogeneizaron con 160 µL de agua destilada, 40 µL de reactivo de Folin-Ciocalteu (2 M) y 60 µL de solución de carbonato de sodio (7 %, p/v). La mezcla de reacción se incubó a 25 °C por 1 h, en la oscuridad. La absorbancia se midió a 750 nm y los resultados se expresaron como equivalentes de ácido gálico (g GAE/L).

El contenido total de flavonoides (TFC) se determinó mediante el método de formación de complejos de cloruro de aluminio (Matic & Jakobek, 2021), con ligeras modificaciones. El extracto acuoso (20 µL, 5 mg/mL) se homogeneizó con 130 µL de metanol y 20 µL de cloruro de aluminio (5 %, p/v). La mezcla de reacción se incubó a 25 °C por 30 min, en la oscuridad. La absorbancia se midió a 415 nm y los resultados se expresaron como equivalentes de quercetina (g QE/L).

También se determinó el contenido total de ácido clorogénico (CAC) (Nguyen *et al.*, 2022), con ligeras modificaciones. Los extractos acuosos (100 μL , 5 mg/mL) se homogeneizaron con 500 μL de agua destilada, 200 μL de urea (0.17 M) y 200 μL de ácido acético glacial (0.1 M). La solución obtenida se mezcló con 500 μL de nitrito de sodio (0.14 M) y 500 μL de hidróxido de sodio (1 M), mezcla que se centrifugó a $2250\times g$ (5 °C) por 10 min (ST18R, Thermo Fisher Scientific, USA). La absorbancia se midió a 510 nm y los resultados se expresaron como equivalentes de ácido clorogénico (g CAE/L).

Actividad antirradical

La actividad de eliminación de radicales libres se midió mediante el método DPPH (Carrera-Felipe *et al.*, 2020), con ligeras modificaciones. Los extractos acuosos (100 μL , 5 mg/mL) se homogeneizaron con 100 μL de solución DPPH (0.03 M). La mezcla de reacción se incubó a 25 °C por 30 min, en la oscuridad. La absorbancia se midió a 517 nm y los resultados se expresaron como porcentaje de inhibición del radical.

La actividad de eliminación de radicales catiónicos se determinó mediante el método ABTS (Biskup *et al.*, 2013), con ligeras modificaciones. Los extractos acuosos (20 μL , 5 mg/mL) se homogeneizaron con 200 μL de solución ABTS (absorbancia = 0.8 a 730 nm, diluida en etanol). La mezcla de reacción se incubó a 25 °C por 10 min, en la oscuridad. La absorbancia se midió a 730 nm y los resultados se expresaron como porcentaje de inhibición del radical.

Poder reductor

El poder reductor se determinó mediante el método de poder antioxidante reductor férrico (FRAP) (Berker *et al.*, 2010), con ligeras modificaciones. Los extractos acuosos (20 μL , 5 mg/mL) se homogeneizaron con 200 μL de solución FRAP [10:1:1, tampón de acetato de sodio (0.3 M) en ácido acético glacial (pH 3.6) y 2,4,6-Tris(2-piridil)-s-triazina (0.01 M) en ácido clorhídrico (0.04 M) y cloruro de hierro (0.02 M)]. La mezcla de reacción se incubó a 25 °C por 8 min, en la oscuridad. La absorbancia se midió a 595 nm y los resultados se expresaron como equivalentes de Fe^{2+} (g Fe^{2+} /L).

También se determinó el poder reductor (RPA) mediante el método de ferricianuro/azul de Prusia (Berker *et al.*, 2010), con ligeras modificaciones. Los extractos acuosos (100 μL , 5 mg/mL) se homogeneizaron con 300 μL de tampón fosfato (0.2 M, pH 6.6) y 300 μL de ferrocianuro de potasio (1 %, p/v). La mezcla de reacción se incubó a 50 °C por 20 min, en la oscuridad. Posteriormente, la solución se mezcló con 300 μL de TCA (10 %, p/v) y se centrifugó a $4200\times g$ (4 °C) por 10 min. El sobrenadante (100 μL) se mezcló con 100 μL de agua destilada y 250 μL de cloruro de hierro (0.1 %, p/v). La absorbancia se midió a 700 nm y los resultados se expresaron como absorbancia a la misma longitud de onda.

Actividad antibacteriana

La actividad antibacteriana se determinó mediante el método de microdilución (Terán-Rivera *et al.*, 2025), con ligeras modificaciones. Los patógenos utilizados fueron cepas bacterianas Gram-positivas, incluyendo a *Staphylococcus aureus* ATCC 29213B (SAU) y *Listeria monocytogenes* ATCC 33090 (LMO) y Gram-negativas, como *Escherichia coli* ATCC 25922 (ECO) y *Salmonella typhimurium* ATCC 14028 (STY), las cuales se reactivaron inicialmente en caldo BHI a 37 °C por 24 h (IC403C, Yamato, Japón). Los extractos acuosos (20 µL, 5 mg/mL) se homogeneizaron con 100 µL de la suspensión bacteriana (1.5×10^8 UFC/mL) y se incubaron a 37 °C por 24 h. Como control negativo se utilizó solución de caldo BHI. La absorbancia se midió a 630 nm y los resultados se expresaron como porcentaje de inhibición de la bacteria.

Análisis estadístico

Los valores se presentan como promedio \pm desviación estándar ($n = 6$). Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza de dos vías, considerando como factores el nivel de adición de la cascarilla plateada y el uso o no del micelio. Las diferencias estadísticas entre los tratamientos se determinaron mediante una prueba de comparación de medias (Tukey-Kramer) a una $p < 0.05$. Además, para evaluar la relación entre las variables se utilizó un análisis de componentes principales (PCA) (SPSS versión 21, IBM, USA).

Resultados y Discusión

En la Tabla 1 se presentan los resultados del contenido de metabolitos (TCC, TPC, TFC y CAC) en los extractos evaluados. Los datos indican que estos valores fueron significativamente afectados por el método de extracción y el nivel de residuo utilizado ($p < 0.001$). En particular, los extractos FE-1 % y FE-2 % presentan el menor TCC, con una reducción del 26.5 % en comparación con ME-0 %. Por otro lado, ME-1 % y ME-2 % muestran el mayor TPC, con un incremento del 41.1 % respecto a ME-0 %. Además, los extractos ME-2 %, FE-1 % y FE-2 % presentan el contenido más alto de TFC (incremento del 93.5 %), y FE-2 % mostró el mayor CAC, con un incremento del 99.8 % respecto a ME-0 %.

Tabla 1. Contenido de metabolitos de extractos de cascarilla plateada de café obtenida por ME y FE.

Parámetro	Tratamiento					
	ME-0 %	ME-1 %	ME-2 %	FE-0 %	FE-1 %	FE-2 %
TCC (g GE/L)	20.84 ^d (0.47)	19.41 ^c (0.38)	18.58 ^c (0.57)	16.77 ^b (0.52)	15.04 ^a (0.50)	15.61 ^a (0.49)
TPC (g GAE/L)	0.38 ^c (0.02)	0.64 ^d (0.04)	0.65 ^d (0.05)	0.20 ^a (0.01)	0.21 ^a (0.01)	0.25 ^b (0.01)
TFC (g QE/L)	0.002 ^a (0.001)	0.025 ^b (0.001)	0.030 ^c (0.001)	0.025 ^b (0.001)	0.031 ^c (0.001)	0.032 ^c (0.001)
CAC (g CAE/L)	0.06 ^a (0.01)	0.11 ^b (0.01)	0.12 ^b (0.01)	0.40 ^c (0.01)	0.44 ^d (0.02)	0.52 ^e (0.01)

Los resultados son expresados como media (desviación estándar) (n = 6). TTC, contenido total de carbohidratos; TPC, contenido total de fenoles; TFC, contenido total de flavonoides; CAC, contenido de ácido clorogénico; GE, equivalentes de glucosa; GAE, equivalentes de ácido gálico; QE, equivalentes de quercetina; CAE, equivalentes de ácido clorogénico; ME, extracción por maceración; FE, extracción por fermentación. Las literales indican diferencias significativas por la interacción del método de extracción y el nivel de adición de residuo (Tukey, $p < 0.05$).

Los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por Vargas-Sánchez *et al.* (2023) y Terán-Rivera *et al.* (2025), quienes observaron que los extractos obtenidos por fermentación fúngica sumergida presentaron altos valores de TPC, TFC y CAC, mientras que los obtenidos por maceración mostraron altos valores de TCC. Este comportamiento puede atribuirse a la capacidad del proceso de fermentación para liberar compuestos bioactivos ligados a la matriz vegetal mediante actividad enzimática extracelular (Dey *et al.*, 2016). El ácido clorogénico es un compuesto fenólico ampliamente presente en extractos vegetales, particularmente en el café, y su presencia tiene alta relevancia funcional debido a que es un potente captador de radicales libres y posee actividad antibacteriana (Ballesteros *et al.*, 2014; Terán-Rivera *et al.*, 2025).

En la Tabla 2 se presentan los resultados de la actividad antioxidante de los extractos evaluados. Se observa que los valores de DPPH y ABTS son significativamente afectados por el método de extracción y el nivel de residuo utilizado ($p < 0.001$). En contraste, los valores de FRAP y RPA no se ven afectados por el método de extracción ($p = 0.262$). Aun así, se ven afectados por el nivel de adición de residuo ($p < 0.001$), sin observarse un efecto significativo de la interacción entre los dos factores ($p = 0.809$). El extracto ME-2 % presenta la mayor inhibición del radical DPPH, con un incremento del 78.3 % en comparación con ME-0 %. Por otro lado, FE-2 % muestra la mayor inhibición del radical ABTS (incremento del 20.1 %) y los valores más altos de poder reductor (FRAP y RPA) con un incremento del 18.78 y 48.8 % respecto a ME-0 %, respectivamente.

Tabla 2. Actividad antioxidante de extractos de cascarilla plateada de café obtenida por ME y FE.

Parámetro	Tratamiento					
	ME-0 %	ME-1 %	ME-2 %	FE-0 %	FE-1 %	FE-2 %
DPPH	9.32 ^b	31.18 ^d	43.13 ^e	2.53 ^a	8.72 ^b	20.13 ^c
(% inhibición)	(0.25)	(1.36)	(2.30)	(0.30)	(1.31)	(1.70)
ABTS	50.68 ^a	52.98 ^b	57.52 ^c	50.12 ^{ab}	57.10 ^c	63.43 ^d
(% inhibición)	(0.31)	(1.05)	(0.99)	(1.04)	(0.85)	(0.83)
FRAP	0.160 ^a	0.175 ^b	0.198 ^c	0.153 ^a	0.170 ^b	0.197 ^c
(g Fe ²⁺ /L)	(0.010)	(0.011)	(0.016)	(0.002)	(0.016)	(0.011)
RPA	0.173 ^a	0.195 ^b	0.247 ^c	0.185 ^a	0.239 ^c	0.338 ^d
(700 nm)	(0.009)	(0.010)	(0.003)	(0.003)	(0.006)	(0.010)

Los resultados son expresados como media (desviación estándar) (n = 6). DPPH, 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo; ABTS, ácido 2,2-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico); FRAP, poder antioxidante reductor férrico; RPA, poder reductor; ME, extracción por maceración; FE, extracción por fermentación. Las literales indican diferencias significativas por la interacción del método de extracción y el nivel de adición de residuo (Tukey, $p < 0.05$).

Los resultados obtenidos concuerdan con estudios previos, que han reportado una relación directa entre el contenido fenólico y la actividad antioxidante de extractos obtenidos por fermentación fúngica sumergida, destacando la producción de antioxidantes naturales con potencial para aplicaciones industriales (Özdal *et al.*, 2019; Jiamworanunkul, 2020). En este contexto, en un estudio previo se determinó el contenido de metabolitos y actividad antioxidante del extracto etanólico obtenido por fermentación fúngica sumergida utilizando micelio de hongos comestibles del género *Pleurotus* (*P. eryngii*, *P. ostreatus*, *P. florida* y *P. sajor-caju*). Los resultados de este estudio mostraron que los extractos obtenidos presentaron actividad contra el radical DPPH (*P. ostreatus* > *P. eryngii* = *P. florida* = *P. sajor-caju*) y poder reductor (*P. ostreatus* = *P. eryngii* > *P. florida* = *P. sajor-caju*), respectivamente (Dundar *et al.*, 2013).

En la Tabla 3 se presentan los resultados de la actividad antibacteriana de los extractos evaluados frente a bacterias Gram-positivas y Gram-negativas. Se observa que la inhibición de SAU es significativamente afectada por el método de extracción y el nivel de residuo utilizado ($p < 0.001$). En contraste, la inhibición de LMO es afectada de forma independiente por ambos factores ($p < 0.001$), sin efecto de la interacción ($p = 0.672$). Por otro lado, la inhibición de ECO no es afectada por el método de extracción ($p = 0.560$). Aun así, se ve afectado por el nivel de adición de residuo ($p < 0.001$), sin efecto de interacción ($p = 0.771$). De manera similar, la inhibición de STY no es afectada por el método de extracción ($p = 0.897$), pero sí por el nivel de adición de residuo ($p < 0.001$), sin observarse un efecto de la interacción ($p = 0.596$). En cuanto a

la eficacia antibacteriana, el extracto FE-2 % presenta los valores más altos de inhibición contra SAU con una reducción del 88 % en comparación con ME-0 %, mientras que ME-2 %, FE-1 % y FE-2 % muestran la mayor inhibición de LMO (reducción del 58.5 %). Asimismo, ME-2 % y FE-2 % muestran ser más efectivos contra ECO (reducción del 85.1 %), y ME-2 %, FE-1 % y FE-2 % muestran los valores más altos de inhibición contra STY con una reducción del 72 % respecto a ME-0 %.

Los resultados obtenidos concuerdan parcialmente con lo reportado por Nicolcioiu *et al.* (2017) y Hiroko Hassegawa *et al.* (2005), quienes encontraron que los extractos fúngicos presentaron mayor actividad frente a bacterias Gram-positivas. Sin embargo, en contraste con Terán-Rivera *et al.* (2025), en este estudio, los extractos por fermentación fúngica mostraron actividad frente a Gram-negativas, particularmente ECO y STY.

Otro estudio también se determinó la actividad antibacteriana del extracto acuoso obtenido por fermentación fúngica sumergida utilizando micelio de *P. eryngii*, *P. sajor-caju*, *P. citrinopileatus*, *P. ostreatus* y *P. florida*. Los resultados de este estudio mostraron que todos los extractos presentaron un efecto inhibitorio contra bacterias Gram-positivas (*Bacillus cereus*) y Gram-negativas (*Azomonas agilis*, *Helicobacter pylori*, *Klebsiella oxytoca*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Xanthomonas campestris*) (Özdal *et al.*, 2019).

Se ha evidenciado que las bacterias Gram-negativas son más resistentes que las Gram-positivas debido a la presencia de una membrana externa rica en lipopolisacáridos que actúa como barrera frente a compuestos antibacterianos. No obstante, algunos compuestos bioactivos (por ejemplo, flavonoides, terpenos y otros) presentes en extractos naturales pueden ser más efectivos contra bacterias Gram-negativas, al inducir estrés oxidativo y alterar la permeabilidad de la membrana (Efenberger-Szmechtyk *et al.*, 2021; Terán-Rivera *et al.*, 2025). Combatir este tipo de bacterias es especialmente importante para la industria cárnica, ya que muchas especies patógenas o deteriorativas asociadas a la carne y sus productos pertenecen a este grupo (Efenberger-Szmechtyk *et al.*, 2021).

Los resultados de la matriz de correlación de Pearson (Tabla 4) muestran asociaciones significativas entre las diversas variables (contenido de metabolitos, actividad antioxidante y actividad antibacteriana). Se observa que la correlación positiva entre TPC y la inhibición del radical DPPH fue muy fuerte ($r = 0.868$; $***p < 0.001$). No obstante, la correlación inversa entre TPC y TCC y CAC fue muy fuerte ($r = -0.926$ y -0.786 , respectivamente; $***p < 0.001$).

Tabla 3. Actividad antibacteriana de extractos de cascarilla plateada de café obtenida por ME y FE.

Parámetro	Tratamiento					
	ME-0 %	ME-1 %	ME-2 %	FE-0 %	FE-1 %	FE-2 %
SAU	9.32 ^b	31.18 ^d	43.13 ^e	2.53 ^a	8.72 ^b	20.13 ^c
(% inhibición)	(0.25)	(1.36)	(2.30)	(0.30)	(1.31)	(1.70)
LMO	50.68 ^a	52.98 ^b	57.52 ^c	50.12 ^{ab}	57.10 ^c	63.43 ^d
(% inhibición)	(0.31)	(1.05)	(0.99)	(1.04)	(0.85)	(0.83)
ECO	0.160 ^a	0.175 ^b	0.198 ^c	0.153 ^a	0.170 ^b	0.197 ^c
(% inhibición)	(0.010)	(0.011)	(0.016)	(0.002)	(0.016)	(0.011)
STY	0.173 ^a	0.195 ^b	0.247 ^c	0.185 ^a	0.239 ^c	0.338 ^d
(% inhibición)	(0.009)	(0.010)	(0.003)	(0.003)	(0.006)	(0.010)

Los resultados son expresados como media (desviación estándar) (n = 6). SAU, *S. aureus*; LMO, *L. monocytogenes*; ECO, *E. coli*; STY, *S. typhimurium*; ME, extracción por maceración; FE, extracción por fermentación. Las literales indican diferencias significativas por la interacción del método de extracción y el nivel de adición de residuo (Tukey, $p < 0.05$).

Por otro lado, la correlación positiva entre TFC y CAC fue fuerte ($r = 0.586$; $***p < 0.001$), mientras que la correlación positiva para la inhibición de SAU y LMO fue muy fuerte ($r = 0.963$ y 0.764 , respectivamente, $***p < 0.001$). Además, la correlación positiva entre TFC respecto a ABTS y RPA ($r = 0.619$ y 0.620 , respectivamente, $***p < 0.001$), así como para la inhibición de ECO y STY fue fuerte ($r = 0.697$ y 0.700 , respectivamente, $***p < 0.001$).

Estos resultados sugieren que los compuestos fenólicos presentes en los extractos contribuyen significativamente con la actividad antioxidante y al efecto antibacteriano frente a patógenos relevantes en la industria alimentaria.

En diversas investigaciones han reportado de manera continua la asociación entre los metabolitos y la actividad antioxidante y antibacteriana de extractos obtenidos de fuentes naturales. Por ejemplo, en un estudio previo se reportó una fuerte correlación positiva entre TPC y TFC y la inhibición de los radicales DPPH ($r = 0.81$ y 0.84) y ABTS ($r = 0.86$ y 0.83), además de los valores de FRAP ($r = 0.88$ y 0.77) de extractos obtenidos de diferentes partes de la ulmaria (*Filipendula ulmaria*). Adicionalmente, se encontró una fuerte correlación positiva entre el contenido de ácidos fenólicos y los valores de DPPH ($r = 0.93$), ABTS ($r = 0.94$) y FRAP ($r = 0.84$) (Savina *et al.*, 2023).

En el caso de productos de la industria del café, específicamente café expreso, se reportó la mayor correlación positiva entre TPC y la actividad antirradical DPPH y FRAP ($r = 0.664$ y 0.723 , respectivamente), en comparación con la inhibición de radicales ABTS ($r = 0.130$). Por otro lado, TFC y CAC fueron correlacionados principalmente con FRAP ($r = 0.751$ y 0.843) (Jung *et al.*, 2021).

Tabla 4. Matriz de correlación de Pearson de los parámetros evaluados.

	TCC	TPC	TFC	CAC	DPPH	ABTS	FRAP	RPA	SAU	LMO	ECO	STY
TCC	1.000	0.627 ***	-0.720 ***	-0.926 ***	0.292 *	-0.573 ***	-0.153 ns	-0.607 ***	-0.717 ***	-0.488 **	-0.351 *	-0.355 *
TPC		1.000	-0.021 ns	-0.786 ***	0.868 ***	-0.067 ns	0.339 *	-0.176 ns	-0.058 ns	0.209 ns	0.321 *	0.362 *
TFC			1.000	0.586 ***	0.341 *	0.619 ***	0.445 **	0.620 ***	0.963 ***	0.764 ***	0.697 ***	0.700 ***
CAC				1.000	-0.461 **	0.510 **	0.055 ns	0.603 ***	0.637 ***	0.342 *	0.210 ns	0.164 ns
DPPH					1.000	0.359 *	0.677 ***	0.272 ns	0.319 *	0.570 ***	0.711 ***	0.642 ***
ABTS						1.000	0.678 ***	0.959 ***	0.651 ***	0.811 ***	0.873 ***	0.730 ***
FRAP							1.000	0.663 ***	0.484 **	0.711 ***	0.764 ***	0.656 ***
RPA								1.000	0.685 ***	0.769 ***	0.807 ***	0.626 ***
SAU									1.000	0.771 ***	0.699 ***	0.681 ***
LMO										1.000	0.858 ***	0.911 ***
ECO											1.000	0.844 ***
STY												1.000
+	Muy fuerte		Fuerte			Moderada			Ligera			
-	Muy fuerte		Fuerte			Moderada			Ligera			

TCC, carbohidratos; TPC, fenoles; TFC, flavonoides; CAC, ácido clorogénico; DPPH, 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo; ABTS, ácido 2,2-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico); FRAP, poder antioxidante reductor férrico; RPA, poder reductor; SAU, *S. aureus*; LMO, *L. monocytogenes*; ECO, *E. coli*; STY, *S. typhimurium*. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$. ns, no significativo.

Asimismo, se observó una alta correlación positiva entre TPC y los valores de DPPH, ABTS y FRAP ($r = 0.979, 0.954$ y 0.881 , respectivamente), así como entre CAC y RPA ($r = 0.986$) en extractos obtenidos de bagazo de café. Además, se reportó una fuerte correlación positiva entre el contenido de fenoles y la inhibición de SAU y LMO ($r = 0.934$ y 0.864 , respectivamente), así como entre el TFC y CAC y la inhibición de ECO y STY ($r > 0.90$) (García-Larez et al., 2021).

En la Figura 1 se presenta el PCA que explica la variabilidad de los tratamientos evaluados.

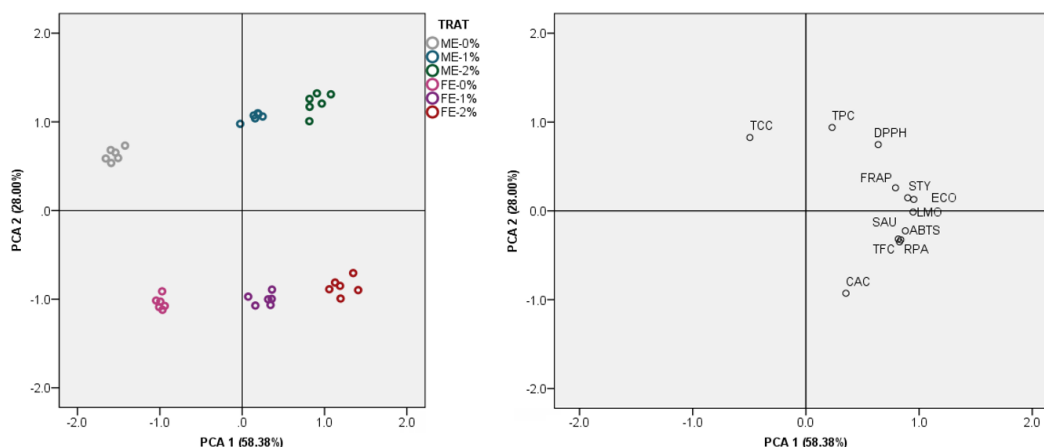


Figura 1. PCA de los parámetros evaluados.

El primer componente explica el 58.38 % de la variación, mientras que el segundo componente representa el 28.00 %, sumando un 86.38 % de la variabilidad explicada en el sistema. En el panel izquierdo, se evidencia una separación entre los tratamientos obtenidos por medio de maceración y mediante fermentación fúngica sumergida. En el panel superior derecho, la distribución de las variables sugiere que el TPC, la actividad antioxidante medida por DPPH y FRAP y la inhibición de STY se correlacionan positivamente con los extractos obtenidos por maceración (ME-2 % > ME-1 %). En contraste, en el panel inferior derecho, TFC y CAC, la actividad antioxidante medida por ABTS y RPA y la inhibición de SAU se correlacionan positivamente con los extractos obtenidos por fermentación fúngica sumergida (FE-2 % > FE-1 %).

Conclusiones

En este estudio se demostró que tanto el método de extracción como el nivel de residuo influyeron en el contenido de metabolitos y la actividad biológica de los extractos. La maceración favoreció un mayor contenido de fenoles y actividad antioxidante (DPPH y FRAP), mientras que la fermentación fúngica sumergida favoreció el contenido de flavonoides, ácido clorogénico y la capacidad antioxidante (ABTS y RPA). En términos de actividad antibacteriana, los extractos obtenidos por fermentación fúngica sumergida presentaron actividad principalmente frente a bacterias Gram-positivas que a Gram-negativas. El análisis de correlación mostró un efecto significativo entre metabolitos y bioactividad, mientras que el análisis de componentes principales destacó la importancia del método de extracción en la diferenciación de los extractos. En conclusión, los extractos obtenidos por fermentación fúngica sumergida pueden ser considerados como un aditivo natural con potencial uso para la industria cárnica.

Contribución de los autores

Conceptualización del trabajo, WAAE, ASE, FJIA, RDVS; desarrollo de la metodología, WAAE, RDVS; manejo de software, BMTM, RDVS; análisis de resultados, WAAE, BMTM, GRTU, ASE, RDVS; escritura y preparación del manuscrito, WAAE, BMTM, GRTU, ASE, RDVS; redacción, revisión y edición, WAAE, BMTM, GRTU, ASE, RDVS.

Todos los autores de este manuscrito han leído y aceptado la versión publicada del mismo.

Financiamiento

Esta investigación no recibió financiamiento externo.

Agradecimientos

Rey David Vargas-Sánchez agradece el apoyo recibido del programa “Investigadoras e Investigadores por México” de la SECIHTI (Proyecto 739).

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Referencias

- Albalasmeh, A. A., Mohawesh, O., Gharaibeh, M. A., & Ghezzehei, T. A. (2024). A novel approach for determining soil carbohydrates using UV spectrophotometry. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 23(5), 333-339. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2024.01.004>
- Ballesteros, L. F., Teixeira, J. A., & Mussatto, S. I. (2014). Chemical, functional, and structural properties of spent coffee grounds and coffee silverskin. *Food and Bioprocess Technology*, 7(2014), 3493-3503. <https://doi.org/10.1007/s11947-014-1349-z>
- Berker, K. I., Güçlü, K., Demirata, B., & Apak, R. (2010). A novel antioxidant assay of ferric reducing capacity measurement using ferrozine as the colour forming complexation reagent. *Analytical Methods*, 2(11), 1770-1778. <https://doi.org/10.1039/C0AY00245C>
- Biskup, I., Golonka, I., Gamian, A., & Sroka, Z. (2013). Antioxidant activity of selected phenols estimated by ABTS and FRAP methods. *Postep Hig Med Dosw*, 67(2013), 958-963. <https://doi.org/10.5604/17322693.1066062>
- Boninsegna, M. A., De Bruno, A., Giacondino, C., Piscopo, A., Crea, G., Chinè, V., & Poiana, M. (2025). Use of coffee roasting by-products (coffee silverskin) as natural preservative for fresh-cut fennel slices. *Foods*, 14(9), 1493. <https://doi.org/10.3390/foods14091493>

- Carrera-Felipe, A. K., Vásquez-Hernández, S., González-Arno, M. T., Bonilla-Zavaleta, E., Nuñez-Pastrana, R., & Cruz-Cruz, C. A. (2020). Total phenolic content and antioxidant capacity of hydromethanolic extracts of *in vitro* and *ex vitro* plantlets of *Drosera* spp. *Mexican Journal of Biotechnology*, 2(3), 17-32. <https://doi.org/10.29267/mxjb.2020.5.3.17>
- Dey, T. B., Chakraborty, S., Jain, K. K., Sharma, A., & Kuhad, R. C. (2016). Antioxidant phenolics and their microbial production by submerged and solid state fermentation process: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 53(2016), 60-74. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.04.007>
- Dundar, A., Okumus, V., Ozdemir, S., & Yildiz, A. (2013). Antioxidant properties of cultured mycelia from four *Pleurotus* species produced in submerged medium. *International Journal of Food Properties*, 16(5), 1105-1116. <https://doi.org/10.1080/10942912.2011.576793>
- Efenberger-Szmechtyk, M., Nowak, A., & Czyzowska, A. (2021). Plant extracts rich in polyphenols: Antibacterial agents and natural preservatives for meat and meat products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(1), 149-178. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1722060>
- García-Larez, F. L., Murillo-Hernández, J. L., Vargas-Sánchez, R. D., Torrescano-Urrutia, G. R., Torres-Martínez, B. D. M., & Sánchez-Escalante, A. (2021). Effect of extraction solvent on metabolites content, antioxidant, and antibacterial activity of coffee bagasse. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 24(2021), 1-10. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2021.363>
- Hiroko Hassegawa, R., Megumi Kasuya, M. C., & Dantas Vanetti, M. C. (2005). Growth and antibacterial activity of *Lentinula edodes* in liquid media supplemented with agricultural wastes. *Electronic Journal of Biotechnology*, 8(2), 94-99. <http://www.ejbiotechnology.info/content/vol8/issue2/full/3/>
- Jiamworanunkul, S. (2020). Effective antioxidant production through submerged fermentation of edible mushrooms. *Thai Journal of Pharmaceutical Sciences*, 43(4), 213-218. <http://www.tjps.pharm.chula.ac.th/ojs/index.php/tjps/article/view/34/232>
- Jung, S., Gu, S., Lee, S. H., & Jeong, Y. (2021). Effect of roasting degree on the antioxidant properties of espresso and drip coffee extracted from *Coffea arabica* cv. Java. *Applied Sciences*, 11(15), 7025. <https://doi.org/10.3390/app11157025>
- Martí-Quijal, F. J., Khubber, S., Remize, F., Tomasevic, I., Roselló-Soto, E., & Barba, F. J. (2021). Obtaining antioxidants and natural preservatives from food by-products through fermentation: A review. *Fermentation*, 7(3), 106. <https://doi.org/10.3390/fermentation7030106>
- Matić, P., & Jakobek, L. (2021). Spectrophotometric Folin-Ciocalteu and aluminium chloride method validation for the determination of phenolic acid, flavan-3-ol, flavonol, and anthocyanin content. *Croatian Journal of Food Science and Technology*, 13(2), 176-183. <https://doi.org/10.17508/CJFST.2021.13.2.06>
- Nguyen, T. T., Rosselló, C., & Ratti, C. (2022). Understanding air-drying behavior of potato peel waste. *Drying Technology*, 40(16), 3520-3531. <https://doi.org/10.1080/07373937.2022.2062603>
- Nicolcioiu, M. B., Ppopa, G., & Matei, F. (2017). Antimicrobial activity of ethanolic extracts made of mushroom mycelia developed in submerged culture. *Scientific Bulletin Series F. Biotechnologies*, 21(2017), 159-164. <https://biotechnologyjournal.usamv.ro/index.php/scientific-papers/current?id=361>

- Ogidi, C. O., Ubaru, A. M., Ladi-Lawal, T., Thonda, O. A., Aladejana, O. M., & Malomo, O. (2020). Bioactivity assessment of exopolysaccharides produced by *Pleurotus pulmonarius* in submerged culture with different agro-waste residues. *Heliyon*, 6(12), e05685. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05685>
- Özdal, M., Gülmez, Ö., Özdal, Ö. G., & Algur, Ö. F. (2019). Antibacterial and antioxidant activity of mycelial extracts of different *Pleurotus* species. *Food and Health*, 5(1), 12-18. <https://doi.org/10.3153/FH19002>
- Savina, T., Lisun, V., Feduraev, P., & Skrypnik, L. (2023). Variation in phenolic compounds, antioxidant and antibacterial activities of extracts from different plant organs of meadowsweet (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim.). *Molecules*, 28(8), 3512. <https://doi.org/10.3390/molecules28083512>
- Serna-Jiménez, J. A., Siles, J. A., de los Ángeles Martín, M., & Chica, A. F. (2022). A review on the applications of coffee waste derived from primary processing: Strategies for revalorization. *Processes*, 10(11), 2436. <https://doi.org/10.3390/pr10112436>
- Terán-Rivera, S. C., Torrescano-Urrutia, G. R., Torres-Martínez, B., Esqueda-Valle, M., Ibarra-Arias, F. J., Sánchez-Escalante, A., & Vargas-Sánchez, R. D. (2025). Fungal submerged fermentation of coffee silverskin: A sustainable source of natural meat additives. *Resources*, 14(1), 6. <https://doi.org/10.3390/resources14010006>
- Vargas-Sánchez, R. D., Esqueda, M., Torres Martínez, B. D. M., Torrescano Urrutia, G. R., & Sánchez Escalante, A. (2023). Antioxidant activity of the aqueous extract from spent coffee grounds fermented with *Pleurotus ostreatus*. *Scientia Fungorum*, 54(2023), e1433. <https://doi.org/10.33885/sf.2023.54.1433>
- Vargas-Sánchez, R. D., Torres-Martínez, B. D. M., Torrescano-Urrutia, G. R., & Sánchez-Escalante, A. (2024). Utilization of coffee silverskin aqueous extract to improve pork meat homogenates oxidative stability. *Biotechnia*, 26(1), e2128. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v26.2128>