

© 2023 Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.
Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).
TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 26: 1-12, 2023.
<https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2023.540>

Residuos del procesamiento del fruto de café como fuente natural de antioxidantes para la industria cárnica

Stephany Carolina Terán-Rivera¹, Brisa del Mar Torres-Martínez¹,
Gastón Ramón Torrescano-Urrutia¹, Martín Esqueda²,
Armida Sánchez-Escalante¹ y Rey David Vargas-Sánchez^{1*}

¹Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Animal (CTAOA), Lab. de Investigación en Carne y Productos Cárnicos, ²Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal (CTAOV), Lab. de Biotecnología en Hongos y Plantas, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. (CIAD) Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas # 46, Hermosillo 83304, Sonora, México. E-mail: *rey.vargas@ciad.mx

RESUMEN

Los residuos que se generan por el proceso al fruto del café (cáscara, pulpa, cascarilla o piel plateada), y por la preparación de la bebida (bagazo), son una fuente importante de nutrientes y cuya extracción es una estrategia potencial para la obtención de nuevos aditivos alimentarios, razones por las que en este trabajo se presente una recopilación de los resultados de los estudios sobre sus nutrientes, sus componentes bioactivos, la extracción de estos compuestos, la evaluación de su actividad antioxidante y su posible aplicación en la carne fresca y en los productos cárnicos. De acuerdo a los estudios realizados, los residuos del café (harinas y extractos) contienen compuestos fenólicos como los ácidos fenólicos y los flavonoides, con actividad antioxidante (antirradical y poder reductor). Los compuestos bioactivos se obtienen por métodos convencionales (maceración y Soxhlet), no convencionales (alta presión hidrostática, microondas y ultrasonido) y biotecnológicos (fermentación fúngica). También se muestra que tanto las harinas como los extractos de estos residuos tienen un efecto positivo sobre la estabilidad oxidativa de la carne (cerdo, cordero y pollo) y los productos cárnicos (hamburguesas y salchichas).

Palabras clave: residuos de café, compuestos fenólicos, métodos de extracción, actividad antioxidante, carne fresca, productos cárnicos.

Coffee fruit processing residues as a natural source of antioxidant for meat industry

ABSTRACT

The residues generated by coffee fruit processing (husk, pulp, skin or silverskin), and by the beverage preparation (spent coffee), are an important source of nutrients and whose extraction is a potential strategy for the obtaining of new food additives, reason for this work to present a compilation of the results of the studies on its nutrients, its bioactive compounds, the extraction of these compounds, the evaluation of its antioxidant activity and its possible application in fresh meat and in meat products. According to the studies carried out, coffee residues (flours and extracts) contain phenolic compounds such as phenolic acids and flavonoids, with antioxidant activity (anti-radical and reducing power). Bioactive compounds are obtained by conventional (maceration and Soxhlet), unconventional (high hydrostatic pressure, microwave, and ultrasound) and biotechnological (fungal fermentation) methods. It is also shown that both the flours and the extracts of these residues have a positive effect on the oxidative stability of meat (pork, lamb, and chicken) and meat products (hamburgers and sausages).

Key words: coffee residues, phenolic compounds, extraction methods, antioxidant activity, fresh meat, meat products.

INTRODUCCIÓN

El café es una planta perenne y tropical clasificada con el nombre genérico *Coffea* de la familia Rubiaceae, en la que están incluidas más de 30 especies (Naranjo, Luz & Rojano, 2011; SAGARPA, 2016). En México, el cultivo de esta planta da empleo a más de 500 mil productores de 14 entidades federativas y con fines comerciales se producen, principalmente, dos variedades: la Arábica (*Coffea arabica* L.) y la Robusta (*Coffea canephora* L.) (SAGARPA, 2016). La bebida que se prepara al mezclar el fruto (tostado y molido) con agua caliente se denomina café (SAGARPA, 2016; Mussatto, Machado, Martins & Teixeira, 2011). Sin embargo, se ha reportado que esta industria genera grandes cantidades de residuos, que, en su mayoría, son subproductos derivados de la obtención del grano de café y del consumo de la bebida. Estos residuos agroindustriales representan un enorme problema ambiental, debido a la presencia de material orgánico que requiere grandes cantidades de oxígeno para ser degradado (Campos-Vega, Loarca-Pina, Vergara-Castaneda & Oomah, 2015; Murthy & Naidu, 2012a; Mussatto *et al.*, 2011).

En contraste, se ha demostrado que los residuos del café son una fuente importante de nutrientes y compuestos, a los que se les atribuyen diversas actividades biológicas (Mussatto *et al.*, 2011). Por lo que, en varios trabajos de investigación se enfatiza el aprovechamiento y recuperación de los compuestos bioactivos a partir de los residuos del café mediante los siguientes métodos de extracción: los convencionales (maceración, Soxhlet), los no convencionales (ultrasonido) (Murthy & Naidu, 2012b) y los biotecnológicos (extracción asistida por fermentación fúngica) (Machado, Rodríguez-Jasso, Teixeira & Mussatto, 2012; Palomino-García, Bassetto, Araujo & Del Bianchi, 2015). En resumen, estos métodos son una estrategia para la recuperación de los extractos ricos en compuestos antioxidantes a partir de los residuos agroindustriales y con el fin de ser utilizados como aditivos en la prevención de las reacciones de oxidación en los alimentos (Ogidi *et al.*, 2020; Ramírez-Rojo, Vargas-Sánchez, Torres-Martínez, Torrescano-Urrutia & Sánchez-Escalante, 2018).

Las reacciones de oxidación de los lípidos y las proteínas son dos factores importantes que repercuten en la calidad nutritiva y sensorial de los alimentos, como en la carne y en los productos cárnicos, al provocar pérdidas y falta de aceptación del producto (Ribeiro *et al.*, 2019) por las reacciones que promueven la formación de compuestos considerados tóxicos para el consumidor (Falowo, Fayemi & Muchenje, 2014). Por esta razón, algunas estrategias utilizadas para evitar el daño oxidativo de la carne y la de los productos cárnicos son el uso de la cadena de frío (refrigeración), envasado pasivo y activo (vacío y atmósferas modificadas), empleo de aditivos como los antioxidantes sintéticos (butilhidroxianisol, BHA; butilhidroxitolueno, BHT y terbutilhidroquinona, TBHQ), entre otros (Valenzuela & Pérez, 2016). Sin embargo, la percepción

del consumidor sobre el uso de los antioxidantes sintéticos en los alimentos es negativa, en consecuencia, se han realizado esfuerzos para obtener antioxidantes a partir de fuentes naturales, incluidos los residuos agroindustriales, con capacidad para preservar la carne y los productos cárnicos (Ramírez-Rojo *et al.*, 2018).

Por lo anterior, el objetivo de esta revisión es mostrar algunos de los estudios que abordan la extracción o recuperación de los compuestos antioxidantes a partir de los residuos de la industria del café y los trabajos que presentan el uso de estos residuos como aditivos con función antioxidante para la carne y los productos cárnicos.

PRODUCCIÓN DE CAFÉ EN MÉXICO

Para la producción de café se requieren determinadas condiciones geográficas (limitadas a los Trópicos de Cáncer y de Capricornio) y ambientales, entre ellas temperaturas de 17-26 °C, alturas de 900-1,600 m.s.n.m., vientos de <30 km/h, lluvias de 1,000-3,000 mm/año y la humedad >90 %. En México, esta planta fue introducida al estado de Veracruz en el año 1790, y al estado de Michoacán en el año 1823. Hoy en día se producen alrededor de 820 mil toneladas (Mt) de grano de café y se consumen alrededor de 810 Mt, lo que indica que se satisface a nivel nacional a un 100 % con un consumo *per cápita* de 1.3 kg. Los principales estados productores son: Chiapas (355 Mt), Veracruz (209.8 Mt), Puebla (135.7 Mt), Oaxaca (0.75 Mt) y Guerrero (0.39 Mt). Con relación al balance comercial (exportaciones e importaciones), en el año 2016 se reportó un volumen aproximado de 80 y 66 Mt, siendo los principales destinos del café mexicano a los Estados Unidos con (43.7 Mt), España (9.7 Mt), Bélgica (8.1 Mt), Alemania (3.5 Mt), Canadá (3.3 Mt) y Cuba (2.5 Mt); la diferencia fue la importación de granos de café provenientes de Vietnam con (24.6 Mt), Brasil (14.9 Mt), Honduras (11.44 Mt), Uganda (2.4 Mt), Colombia (1.8 Mt) y Perú (1.7 Mt) (SAGARPA, 2016).

PROCESAMIENTO DEL FRUTO DE CAFÉ

El fruto crudo de la planta (cerezas de café) se compone de dos granos cubiertos por un pergamino delgado como una cáscara, y ambos son rodeados por la pulpa (Figura 1). El fruto o cerezo se cosecha cuando éste se vuelve rojo. El proceso inicia con la conversión del fruto en granos de café verde (eliminación de la pulpa y la cáscara), al aplicar los métodos de humedad y de secado (Mussatto *et al.*, 2011).

El café procesado mediante el primer método (húmedo) se conoce como café lavado o pergamino; en éste la pulpa del fruto que cubre la semilla es removida antes del secado, con el fin de eliminar el mucílago de la cubierta del pergamino. Además, se lleva a cabo un proceso de fermentación microbiana (30-35 °C; 24-36 h para la variedad Arábica y 72 h para la variedad Robusta y se agitan de 2-3 veces por periodo) para hidrolizar

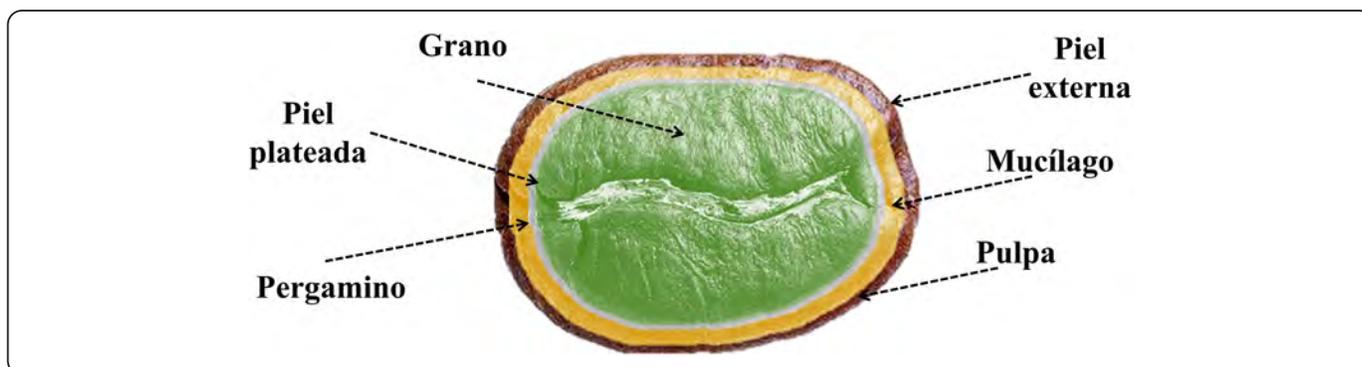


Figura 1. Representación esquemática del corte transversal del fruto de café. Modificada de (Janissen & Huynh, 2018).

la capa de mucílago del pergamino a través de las enzimas pectinolíticas. El proceso termina al garantizar a través del tacto que el pergamino no se pega después del lavado (Murthy & Naidu, 2012a; Mussatto *et al.*, 2011). En el segundo método (seco), los frutos recién cosechados se esparcen uniformes para el secado a temperatura ambiente (12-15 d), se les considera secos cuando al agitar varias semillas, éstas producen un sonido de traqueteo, que suele ser un indicativo, para ser almacenadas (aprox. a un 65 % de humedad relativa y a 20 °C) en sacos limpios o recipientes herméticos para evitar la humedad y con ello la formación de moho (Murthy & Naidu, 2012a).

También, el tostado de los granos de café es otro paso importante porque se desarrollan sus propiedades sensoriales (color, sabor, y aroma), que inciden en la calidad del café y de la bebida. Esta etapa conduce a cambios en la composición química y la actividad biológica del grano, por lo que, al enfriarse después del tostado está en un momento crítico por detenerse las reacciones exotérmicas. Posteriormente, los granos tostados son envasados enteros o pulverizados (Mussatto *et al.*, 2011).

RESIDUOS DEL PROCESO DEL FRUTO DE CAFÉ

El proceso inicia con la eliminación de los componentes externos del fruto o cereza, hasta la aparición del color verde (Figura 2). El método húmedo se emplea principalmente para Arábica y produce la pulpa como subproducto, a diferencia del método seco, que se destina para Robusta y el residuo es la cáscara. Los componentes externos del fruto (50 %) incluyen a la piel (7-8 %), a la pulpa/cáscara (41 %: 29 y 12%, respectivamente) y la piel plateada o cascarilla que corresponde al tegumento del grano de café (1.2 %), siendo este último el principal residuo del proceso de tostado (Janissen & Huynh, 2018). La pulpa y la cáscara son los primeros residuos del proceso industrial, y por cada tonelada de café procesado se obtienen 0.5 o 0.18 t de residuos, respectivamente (Janissen & Huynh, 2018; Mussatto *et al.*, 2011).

El grano de café representa un 50 % del peso seco del fruto, una vez tostado y molido se trata con calor o vapor para

producir un extracto, el residuo que queda después de la extracción se le conoce como bagazo de café (Janissen & Huynh, 2018).

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS RESIDUOS DEL CAFÉ

Los residuos de la industria del café se componen principalmente de agua, compuestos nitrogenados (proteínas y aminoácidos libres, y cafeína), lípidos (cera y aceite), minerales y carbohidratos (solubles e insolubles). La proporción de los componentes dependerá del método que se utilice (húmedo, seco o tostado), para la preparación de la bebida (Janissen & Huynh, 2018). En relación con el contenido de aminoácidos se menciona la presencia de los ácidos glutámico y aspártico y también de la glicina, histidina, arginina, treonina, alanina, prolina, cisteína, tirosina, valina, metionina, lisina, isoleucina, leucina y fenilalanina (Tang, Sun, Cornuz, Yu & Lassabliere, 2021). En lo que se refiere a los ácidos palmítico y linoleico son los principales ácidos grasos identificados (Mussatto *et al.*, 2011). Respecto al contenido de minerales, se incluye la presencia de potasio, magnesio, calcio, sodio, hierro, manganeso, zinc, cobre y cadmio, entre otros (Janissen & Huynh, 2011; Mussatto *et al.*, 2011). Mientras que en relación con los carbohidratos solubles, se ha demostrado la presencia de monosacáridos (fructosa, glucosa y galactosa, entre otros), de oligosacáridos (sacarosa, rafinosa y estaquiosa) y de polisacáridos (polímeros de galactosa, arabinosa y manosa, entre otros). En cuanto a la fracción insoluble está compuesta de celulosa y hemicelulosa (Murthy & Naidu, 2012a; Mussatto *et al.*, 2011).

Adicionalmente, en los residuos del café se ha reportado la presencia de ácidos alifáticos no volátiles (ácido cítrico, ácido málico y ácido quínico), y se han identificado alcaloides como la cafeína y compuestos fenólicos incluyendo los ácidos fenólicos y flavonoides (Mussatto *et al.*, 2011). También el ácido clorogénico (mono-, dicafeoil-, y feruloilquínico), *p*-cumárico, ferúlico, gálico, protocatecuico, siríngico y vanílico (Ameca *et al.*, 2018; Murthy & Naidu, 2012b) e identificado ésteres de ácidos fenólicos, entre ellos los ácidos: 3-cumaroilquínico,

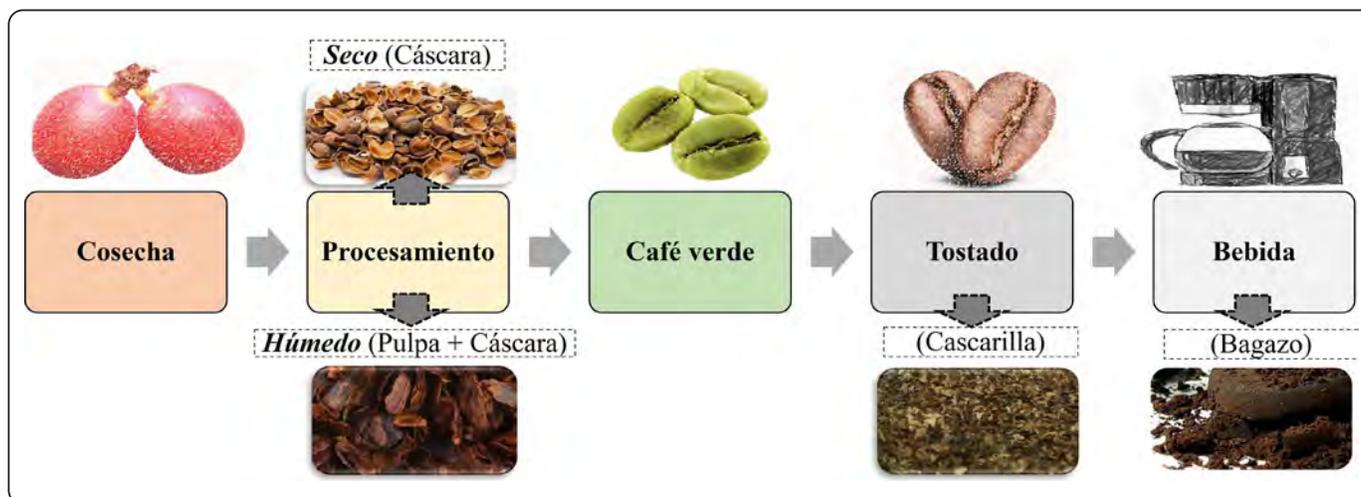


Figura 2. Representación esquemática del proceso general del fruto de café y residuos generados. Modificada de (Murthy & Naidu, 2012a; 2012b).

5-cumaroilquínico, 3-cafeoilquínico, 4-cafeoilquínico, 5-cafeoilquínico, 4-feruloilquínico y 5-feruloilquínico, además de los flavonoides como la crisantemina, la quercetina y la rutina (Angeloni *et al.*, 2020; Bresciani, Calani, Bruni, Brighenti & Del Rio, 2014).

MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS

Los compuestos bioactivos es común encontrarlos en fuentes naturales como mezclas de diferentes componentes en un sólido, por esta razón, para su extracción o separación de la fase sólida se utiliza una fase líquida (extracción sólido-líquido), con un pretratamiento de secado y reducción del tamaño de partícula (Azmir *et al.*, 2013). Sin embargo, para mejorar el proceso de extracción se han utilizado los métodos convencionales (p. ej. extracción por maceración, Soxhlet e hidroddestilación); así como los no convencionales (p. ej. extracción asistida por ultrasonido, microondas y enzimática, entre otros). La eficiencia en el proceso de extracción depende de diversos factores como: la polaridad del disolvente, la relación disolvente-sólido, el pH, el tiempo y la temperatura (Azmir *et al.*, 2013; Wijngaard, Hossain, Rai & Brunton, 2012). En este contexto, se ha demostrado la presencia de los compuestos fenólicos y la actividad antioxidante tanto en los extractos acuosos de la pulpa del café por el método de la maceración como en los extractos etanólicos de los residuos del café o en la extracción asistida por ultrasonido (Serna-Jiménez, Torres-Valenzuela, Martínez-Cortínez & Hernández-Sandoval, 2018; Marcelo-Díaz *et al.*, 2017).

Por otra parte, el uso de los métodos biotecnológicos como la extracción asistida por fermentación fúngica en los medios sólido y líquido, ha sido considerada una gran estrategia para la obtención de los compuestos con actividad antioxidante, a

partir de los residuos agroindustriales (Martínez-Ávila *et al.*, 2013). En ambos tipos de fermentación se producen enzimas extracelulares, que son utilizadas simultáneamente para la liberación de los compuestos bioactivos del sustrato (Dey, Chakraborty, Jain, Sharma & Kuhad, 2016; Rosales, Pazos & Sanromán, 2018; Martins *et al.*, 2011).

La eficiencia en la extracción de estos compuestos depende del tipo de residuo (cáscara, semillas, etc.), composición química (contenido de agua), y características físicas del sustrato como la porosidad y el diámetro de la partícula, entre otros (Dey *et al.*, 2016; Ogidi *et al.*, 2020; Rosales, Pazos & Sanromán, 2018; Xu, Shen & Quan, 2015). Además, influyen la especie de microorganismo utilizado, las condiciones de cultivo como el pH, la temperatura y la ventilación, entre otros (Dey *et al.*, 2016; Xu *et al.*, 2015). En este contexto, a lo largo de los últimos años, se ha aprovechado la actividad lignocelulítica para la extracción de los compuestos bioactivos. Por ejemplo, en un estudio se reportó la actividad lignocelulítica del hongo *Pleurotus pulmonarius* sobre las mezclas de los residuos agroindustriales, en un medio líquido (Masaphy & Levanon, 1992). También, en un trabajo reciente se demostró el potencial uso del hongo *P. pulmonarius* para la recuperación de los compuestos bioactivos con actividad antioxidante a partir de los residuos agroindustriales, de las pieles de los frutos de la piña, el mango y el plátano, entre otros (Ogidi *et al.*, 2020).

Por lo anterior, los métodos convencionales, así como los no convencionales y los biotecnológicos se han propuesto como estrategias para obtener los compuestos antioxidantes a partir de fuentes naturales (Fan, Pandey, Moha & Soccol, 2000; Rosales *et al.*, 2018; Ogidi *et al.*, 2020).

ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE LOS EXTRACTOS OBTENIDOS DE LOS RESIDUOS DEL CAFÉ

Los antioxidantes pueden definirse como “cualquier sustancia que, en concentraciones bajas, retrasa o inhibe la oxidación de un sustrato oxidable” (Berker, Güçlü, Tor, Demirata & Apak *et al.*, 2010). En este contexto, existen diferentes métodos que son utilizados para medir la actividad antioxidante de los compuestos recuperados de una fuente vegetal, con base en la actividad de estos para atrapar o inhibir a los radicales y reducir a los iones metálicos (Berker, Güçlü, Tor, Demirata & Apak *et al.*, 2010; Molyneux, 2004). Respecto a los ensayos con radicales, la molécula 1,1-difenil-2-picrilhidrazil (DPPH[•]) se caracteriza por ser un radical libre estable, cuya deslocalización del electrón sobrante en la molécula da lugar al color violeta intenso y a una banda de absorción en solución de etanol a 520 nm; cuando el radical se mezcla con un antioxidante (donador de átomo de hidrógeno), da lugar a la forma reducida con cambio de color violeta a amarillo (Molyneux, 2004). Además, en el ensayo del radical catión ABTS^{•+} (ácido 2,2'-azino-bis-(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico), al mezclarse este radical con los antioxidantes (donador de electrones) da lugar a una forma reducida con cambio de color medible a 734 nm (Re *et al.*, 1999). Lo opuesto ocurre en los ensayos químicos con azul de Prusia y FRAP que reducen el ión férrico - Fe⁺³ a ferroso - Fe⁺² (Berker, Güçlü, Tor, Demirata & Apak *et al.*, 2010).

En la Tabla I, se reporta la actividad antioxidante *in vitro* de los extractos obtenidos de diferentes residuos del café (cáscara, pulpa, cascarilla y bagazo). Estos resultados demostraron que el tipo de residuo, el método de extracción (la maceración, el Soxhlet, el ultrasonido y la fermentación fúngica) así como las condiciones de extracción (el disolvente y la temperatura), influyen en la actividad antioxidante del extracto obtenido. Sin embargo, son limitados el número de estudios sobre la extracción de compuestos antioxidantes a partir de los residuos de la industria del café (la cascarilla y el bagazo), utilizando el método de extracción asistida por fermentación fúngica. También, esta Tabla, indica que la extracción asistida por el ultrasonido es uno de los métodos más utilizados y efectivos en la extracción de los compuestos con actividad antioxidante en comparación con la extracción asistida por la maceración. Además, aunque el agua es el disolvente más utilizado para obtener extractos de residuos del café, se demuestra que los disolventes de baja polaridad son más efectivos en la extracción de ciertos compuestos fenólicos.

La actividad antioxidante de los residuos del café ha sido asociada a la presencia de compuestos formados por las reacciones de Maillard durante el proceso de tostado, como las melanoidinas, así como los compuestos fenólicos presentes en la fracción soluble de la fibra dietaria (Murthy & Naidu, 2012b). Por lo que, la extracción de los compuestos fenólicos

a partir de estos residuos es una alternativa para la obtención de antioxidantes naturales con el propósito de ser utilizados como aditivos alimentarios (Murthy & Naidu, 2012b; Mussato *et al.*, 2011).

USO DE LOS ANTIOXIDANTES DE LOS RESIDUOS DEL CAFÉ EN LA CARNE Y LOS PRODUCTOS CÁRNICOS

Los aditivos alimentarios son definidos como “cualquier sustancia que, independientemente de su valor nutrimental, se agregan intencionalmente a un alimento durante su elaboración en cantidades controladas con fines tecnológicos”. Por ejemplo, aportar o intensificar características sensoriales (aroma, color y sabor) o con fines de conservación (NOM, 2002). En relación con la conservación de los alimentos, se ha demostrado que la oxidación de los lípidos y las proteínas es uno de los principales factores que afectan la pérdida de la calidad en la carne y en productos cárnicos, crudos o cocidos. En consecuencia, este proceso oxidativo conlleva a la formación de compuestos que pueden ser tóxicos, afectar el valor nutritivo o los atributos sensoriales, al reducir la aceptación del producto (Falowo, Fayemi & Muchenje, 2014; Valenzuela & Pérez, 2016).

Por lo anterior, los aditivos son ampliamente utilizados en la carne y en los productos cárnicos con fines de conservación, como es el uso de los antioxidantes sintéticos (BHA, BHT y TBHQ), que se añaden a un alimento para evitar que el oxígeno presente en el aire provoque cambios indeseables en sus parámetros de calidad (Falowo *et al.*, 2014; NOM, 2002). Sin embargo, la perspectiva del consumidor sobre el uso de los aditivos antioxidantes sintéticos es negativa, por esta razón, se han realizado esfuerzos para extraer compuestos antioxidantes a partir de fuentes naturales, incluidos los subproductos o residuos agroindustriales (Falowo *et al.*, 2014; Pfalzgraf, Frigg & Steinhart, 1995; Ramírez-Rojo *et al.*, 2018).

En relación con los residuos de la industria del café, en la Tabla II se describen algunos de los estudios sobre su potencial uso como antioxidantes en la carne y en los productos cárnicos. Los resultados descritos en esta Tabla demuestran que los residuos del café (la cascarilla y el bagazo) tienen potencial para ser utilizados como aditivos alimentarios, debido a su efecto conservador al reducir los valores de la oxidación de los lípidos y de la formación de la metamioglobina y, en consecuencia, evitan el cambio del color rojo característico de la carne fresca al marrón. Sin embargo, son limitados los estudios sobre el uso de los extractos obtenidos de los residuos del procesamiento del café como la pulpa y la cáscara (fermentados o no) y su efecto sobre la estabilidad oxidativa de los productos cárnicos. También, se ha demostrado que la adición de los residuos del café (<1.0 %) en la formulación de los productos cárnicos no afecta a los parámetros sensoriales, no obstante, son limitados los estudios en los que se evalúa sensorialmente el uso de los extractos o las harinas como aditivos para estos productos.

Tabla I. Actividad antioxidante *in vitro* de los extractos obtenidos de los residuos del café.

Residuos	Condiciones de extracción	Resultados relevantes	Referencias
Cáscara (<i>C. arabica</i>)	EAM: 60 °C; 1 h; disolvente (agua, etanol y 1:1); proporción (1:10); ([≠]) rpm; ([≠]) °C secado	Compuestos fenólicos: Ácido gálico (EAM > EAU) Ácido cafeoilquínico y cafeico (EAU > EAM) Actividad antioxidante: Inhibición del radical DPPH' (EAU > EAM), ABTS ⁺ y FRAP (EAU > EAM)	Silva, Honfoga, Medeiros, Madruga & Bezerra, 2021
	EAU: frecuencia (40 kHz); potencia (220 V); 35 °C; 1 h; disolvente (agua-etanol 1:1); proporción (1:10); secado ([≠]) °C secado		
Bagazo (<i>C. arabica</i>)	EAM: 25 °C; 30 min; disolvente (metanol 80 %); proporción (1:10); ([≠]) rpm; secado ([≠])	Compuestos fenólicos: Fenoles totales (EAAPH = EAU > EAM); ácido cafeoilquínico (EAU > EAAPH > EAM); ácido cafeico (EAU = EAAPH > EAM) Actividad antioxidante: Inhibición del radical DPPH' y poder reductor (EAAPH = EAU > EAM)	Okur, Soyler, Sezer, Oztop & Alpas, 2021
	EAU: amplitud (40, 50 y 60 %); 25 °C; 5, 10 y 15 min; disolvente (metanol 80 %); ratio (1:10); ([≠]) °C secado		
	EAAPH: presión (300, 400 y 500 MPa); 25 °C, 5, 10 y 15 min; disolvente (metanol 80 %); proporción (1:10); ([≠]) °C secado		
Cascarilla (<i>C. arabica</i>)	EAU: frecuencia (40 kHz); 20 °C; 2 h; disolvente (E1-metanol, E2-agua, E3-metanol-agua 1:1, E4-etanol-agua 7:3); proporción (1:5); secado (liofilizado)	Compuestos fenólicos: Ácido 3,5-cafeoilquínico, cafeico, ferúlico, <i>p</i> -cumárico, siríngico, <i>t</i> -cinámico y vanílico (E4 > E3 > E2 = E1); quercetina (E4 > E1 > E3 > E2), rutina (E3 > E4 > E2 > E1) Actividad antioxidante: Inhibición del radical DPPH' (E1 > E4 > E3 > E2)	Nzekoue <i>et al.</i> , 2020
Cascarilla ([≠])	EAU: frecuencia (20 kHz); potencia (5 y 38 W/cm ²); ([≠]) °C; 10 min; disolvente (agua y metanol 80%); proporción (1:5); ([≠]) °C secado	Compuestos fenólicos: Fenoles totales y ácido cafeoilquínico (metanol 80 % > agua) Actividad antioxidante: Inhibición del radical DPPH' y poder reductor (metanol 80 % > agua)	Wen, Zhang, Rai, Sun & Tiwari, 2019
Cáscara (<i>C. arabica</i>)	EAU: frecuencia (40 kHz); 25 °C, 10 min; disolvente (agua); proporción (1:75); ([≠]) °C secado	Compuestos fenólicos: El extracto mostró la presencia de compuestos fenólicos, incluyendo flavonoides y taninos Actividad antioxidante: El extracto presentó inhibición del radical DPPH'	Neves <i>et al.</i> , 2019
Pulpa (<i>C. arabica</i>)	EAFF: cultivo (medio sólido); cepa (<i>Rhizopus oryzae</i>); ([≠]) °C, 6 d; disolvente (agua-etanol 1:1); ([≠]) °C secado	Compuestos fenólicos: Ácido cafeoilquínico, cinámico, ferúlico, protocateuico, (+)-catequina, y kaempferol	Londoño-Hernandez <i>et al.</i> , 2019
Pulpa (<i>C. arabica</i>)	EAM: ([≠]) °C, 30 min; disolvente (agua); ratio (40 mg/mL); ([≠]) rpm; ([≠]) °C secado	Compuestos fenólicos: Ácido cafeico, ferúlico, gálico, vanílico, siríngico, y <i>p</i> -cumárico Actividad antioxidante: El extracto presentó poder reductor	Ameca <i>et al.</i> , 2018

Tabla I. Actividad antioxidante *in vitro* de los extractos obtenidos de los residuos del café (continuación).

Residuos	Condiciones de extracción	Resultados relevantes	Referencias
Bagazo ^(#)	EAM: 80 °C, 2 h; disolvente (agua); proporción (1:10); ^(#) rpm; secado (vacío)	Actividad antioxidante: Inhibición del radical DPPH* (EAM > EAU); poder reductor (EAM = EAU)	Ben-Romdhane, Krichen, Ghazala, Ellouz-Chaabouni & Haddar, 2017
	EAU: frecuencia ^(#) kHz; ^(#) °C, 1 h; disolvente (agua); proporción (1:10); secado (vacío)		
Pulpa (<i>C. arabica</i>)	EAM: 92 °C, 2 min; disolvente (agua); proporción (1:5); ^(#) rpm; secado (liofilización o no)	Compuestos fenólicos: Ácido cafeoilquínico, ferúlico y protocatecuico Actividad antioxidante: Inhibición del radical DPPH* y ABTS ⁺⁺ (liofilizado > no liofilizado)	Duangjai <i>et al.</i> , 2016
Pulpa y cáscara (<i>C. cenephora</i>)	EAFF: cultivo (medio sólido); cepa (<i>Penicillium purpurogenum</i>); ^(#) °C, 5 d; disolvente (acetona, 80 %); ^(#) °C secado	Compuestos fenólicos: Fenoles totales (cáscara > pulpa) Actividad antioxidante: Inhibición del radical DPPH* (cáscara > pulpa > estándar-quercetina)	Palomino-Garcia, Bissetto, Araujo & Del Bianchi, 2015
Cáscara (<i>C. cenephora</i>)	EAM: 40 °C, 30 min; disolvente (agua, etanol, metanol y acetona); ratio (1:20); 120 rpm; ^(#) °C secado	Compuestos fenólicos: Fenoles totales (acetona > metanol > etanol > agua) Fenoles del extracto acetónico (EAFM > EAM)	Palomino-Garcia & Del Bianchi, 2015
	EAFF: cultivo (medio sólido); cepa (<i>Penicillium purpurogenum</i>); 30 °C, 7 d; disolvente (acetona); ^(#) °C secado		
Cascarilla (<i>C. arabica</i>)	EAU: frecuencia (20 golpes/min); 70 °C, 1 h; disolvente (agua acidificada); concentración (100 mg/mL); ^(#) °C secado	Compuestos fenólicos: Ácidos 3 y 5-cumaroilquínico; 3, 4 y 5-cafeoilquínico; 4 y 5-feruoilquínico Actividad antioxidante: El extracto mostró poder reductor	Bresciani <i>et al.</i> , 2014
Pulpa, cáscara, cascarilla y bagazo (<i>C. arabica</i> y <i>C. cenephora</i>)	EAS: ^(#) °C, 5 h; disolvente (isopropanol-agua); proporción (1:10); secado (vacío)	Compuestos fenólicos: Ácido cafeoilquínico (bagazo = cascarilla > cáscara > pulpa) Actividad antioxidante: El extracto mostró inhibición del radical DPPH* (cascarilla = bagazo > cáscara > pulpa)	Murthy & Naidu, 2012b
Cascarilla y bagazo ^(#)	EAFF: cultivo (medio sólido); cepa (<i>Aspergillus niger</i> , <i>Aspergillus ustus</i> , <i>Penicillium purpurugenum</i> y <i>Mucor</i> sp.); 30 °C, 6 d; disolvente ^(#) ; ^(#) °C secado	Compuestos fenólicos: Fenoles totales (<i>P. purpurugenum</i> > <i>A. niger</i> > <i>Mucor</i> sp. > <i>A. ustus</i>)	Machado <i>et al.</i> , 2012

^(#), no se especifica; EAM, extracción asistida por maceración; EAU, extracción asistida por ultrasonido; EAAPH, extracción asistida por alta presión hidrostática; EAFF, extracción asistida por fermentación fúngica; EAMw, extracción asistida por microondas; EAS, extracción asistida por Soxhlet.

Tabla II. Uso de los residuos del café como un aditivo antioxidante en la carne y los productos cárnicos.

Carne/Producto cárnico	Condiciones	Resultados	Referencias
Salchichas de cerdo (cruda)	Aditivos: harina de cascarilla (0 y 0.8%) Almacenamiento: película de polipropileno; 3-5 °C, 1 d	(≠) pH (▲) Color (0.8% > control) (Ⓞ) Oxidación de lípidos (≠) Oxidación de proteínas (≠) Formación de MetMb (≠) Actividad antirradical (≠) Poder reductor (≠) Aceptabilidad sensorial	Thangavelu, Tiwari, Kerry & Álvarez, 2022
Hamburguesa de pollo (cruda)	Aditivos: extractos de cáscara (100 y 200 ppm) Almacenamiento: película plástica y papel aluminio; -48 °C, 45 d	(≠) pH (▲) Color (200 ppm > 100 ppm > control) (▼) Oxidación de lípidos (200 ppm > 100 ppm > control) (▼) Oxidación de proteínas (100 ppm > 200 ppm > control) (≠) Formación de MetMb (≠) Actividad antirradical (≠) Poder reductor (≠) Aceptabilidad sensorial	de Farias Marques <i>et al.</i> , 2022
Hamburguesa de pollo (cruda y cocida)	Aditivos: harina de cascarilla (1.5 y 3.0 %) Almacenamiento: película plástica permeable al oxígeno; 4 °C, 0 d	(Ⓞ) pH (Ⓞ) Actividad de agua (▼) Pérdida de peso por cocción (▲) Color (3.0 % > 1.5 % > control), en carne cruda y cocida (▼) Oxidación de lípidos (3.0 % > 1.5 % > control), en carne cruda y cocida (≠) Oxidación de proteínas (≠) Formación de MetMb (≠) Actividad antirradical (≠) Poder reductor (≠) Aceptabilidad sensorial	Martuscelli, Esposito & Mastrocola, 2021
Carne molida de cerdo (cruda)	Aditivos: harina de grano, extracto de la bebida y bagazo, claro y oscuro (1 g/kg); control positivo (extracto de romero, 0.02 %) Almacenamiento: atmósfera modificada (74-85 % O ₂ y 16-26 CO ₂); 4 °C, 20 d	(≠) pH (≠) Color (▼) Oxidación de lípidos (bagazo oscuro = harina = extracto > romero > bagazo claro > control) (▼) Oxidación de proteínas (harina clara > extracto oscuro > control > resto tratamientos) (Ⓞ) Formación de MetMb (≠) Actividad antirradical (≠) Poder reductor (Ⓞ) Aceptabilidad sensorial	Hashimoto, Caporaso, Toto & Were, 2019
Hamburguesas de cerdo (cruda)	Aditivos: extracto acuoso de bagazo (0.5 y 1.0 %); control positivo (BHT, 0.01 %) Almacenamiento: película de polipropileno (17,400 cm ³ O ₂ /m ² /24 h a 23 °C); 4 °C por 9 d	(▲) pH (1.0 % > 0.5 % = BHT > control) (▲) Color (1.0 % > 0.5 % > BHT > control) (▼) Oxidación de lípidos (1.0 % > 0.5 % > BHT > control) (≠) Oxidación de proteínas (≠) Formación de MetMb (≠) Actividad antirradical (≠) Poder reductor (≠) Aceptabilidad sensorial	Murillo-Hernández <i>et al.</i> , 2019

Tabla II. Uso de los residuos del café como un aditivo antioxidante en la carne y los productos cárnicos (continuación).

Carne/Producto cárnico	Condiciones	Resultados	Referencias
Carne molida de pollo (cruda y cocida)	Aditivos: extracto acuoso y etanólico de bagazo (500 ppm). Control positivo (BHA, 500 ppm) Almacenamiento: Carne cruda: empaque (≠); 37 °C, 12 h Carne cocida: bolsas permeables con oxígeno (≠); 4 °C, 5 d	(≠) pH (≠) Color (▼) Oxidación de lípidos (extracto etanólico = BHA > acuoso > control), en carne cruda y cocida (≠) Oxidación de proteínas (≠) Formación de MetMb (≠) Actividad antirradical (≠) Poder reductor (≠) Aceptabilidad sensorial	Kim, Ahn, Eun & Moon, 2016
Carne molida de cerdo (cocida)	Aditivos: harina de bagazo, café claro y oscuro (1 g/kg). Control positivo (romero, 2 g/kg) Almacenamiento: bolsas de polietileno (≠); -18 °C, 3 meses	(≠) pH (≠) Color (▼) Oxidación de lípidos (romero oscuro > = claro > control) (⊖) Oxidación de proteínas (⊖) Formación de MetMb (≠) Actividad antirradical (≠) Poder reductor (≠) Aceptabilidad sensorial	Jully, Toto & Were, 2016
Carne de cordero (<i>Longissimus dorsi</i>)	Aditivos: harina de pulpa (8.0 y 16 %) Suplementación: ovejas cruzadas Blackbelly (♂); peso promedio (21.2 kg); tiempo de dietado (56 d) Almacenamiento: empaque (≠); 5 °C, 9 d	(⊖) pH ₂₄ (⊖) Color (índice de rojo, a*) (⊖) Oxidación de lípidos (≠) Oxidación de proteínas (≠) Actividad antirradical (⊖) Poder reductor (≠) Aceptabilidad sensorial	Salinas-Rios <i>et al.</i> , 2014

(≠), no se especifica; (▼), reducción respecto al control negativo; (▲), incremento respecto al control negativo; (⊖), sin diferencias respecto al control negativo; MetMb, formación de metamioglobina.

Schwarz *et al.* (2001) demostraron el efecto de la adición del extracto acuoso de los granos de café (aprox. 1 mg equivalentes de ácido gálico/mL) sobre la formación de los productos primarios de la oxidación de lípidos (dienos conjugados), lo cual fue asociado a la presencia de compuestos fenólicos en el extracto como el ácido ferúlico y los ésteres del ácido cafeoilquínico. En otro estudio, se demostró la capacidad del extracto acuoso de los granos de café (50 ppm) para reducir la oxidación de los lípidos (medida a través del ensayo de la formación de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico - TBARS) de las hamburguesas de cerdo cocidas, durante su almacenamiento a 4 °C por 6 d (Nissen, Byrne, Bertelsen & Skibsted, 2004). Además, en otra investigación se demostró el potencial de la harina de los granos del café al 0.1 % con

diferente grado de tostado (ligero, medio y oscuro), para reducir en más del 50 % los valores de TBARS y evitar la pérdida del color rojo en la carne molida de res durante su almacenamiento a 4 °C por 10 d (Lin, Toto & Were, 2015). En un trabajo reciente se demostró el impacto de incorporar la harina de grano de café (1.25 y 2.5 g/kg) en la dieta de los pollos de engorda, con el fin de mejorar la calidad de la pechuga, al estabilizar los cambios en los valores del pH y reducir los niveles de oxidación de los lípidos sin afectar los atributos sensoriales (Ashour *et al.*, 2020); estos resultados están relacionados con el incremento en la presencia de los compuestos fenólicos en la carne de las aves suplementada con los antioxidantes de origen natural (Vargas-Sánchez *et al.*, 2018).

CONCLUSIONES

La información obtenida de las diferentes fuentes bibliográficas verifica que los residuos del café, incluidos los que se generan durante el procesamiento del fruto (cáscara, pulpa y cascarilla) así como durante la preparación de la bebida (bagazo), son una importante fuente de nutrientes y compuestos con actividad antioxidante. Por esta razón, en la literatura se evidencia el interés por extraer estos compuestos al utilizar los métodos de extracción convencional y no convencional, e indica que el método de extracción asistida por fermentación fúngica puede ser una alternativa en la recuperación de los compuestos bioactivos. Además, en algunos trabajos de investigación se menciona el uso de los residuos del café (cascarilla y bagazo) en forma de harina o extracto con el fin de incrementar la estabilidad oxidativa de la carne y de los productos cárnicos. Por lo que, los residuos de la industria del café tienen potencial para ser utilizados como aditivos antioxidantes en los alimentos. No obstante, es necesario desarrollar más estudios que involucren la adición de los residuos del café en diferentes matrices cárnicas y su efecto sobre la estabilidad oxidativa y los atributos sensoriales durante su almacenamiento.

AGRADECIMIENTOS

Stephany Carolina Terán Rivera agradece la beca recibida por CONACYT, para sus estudios de Maestría en Ciencias. Los autores también agradecen al CONACYT por el apoyo al Proyecto #739 de Investigadoras e Investigadores por México.

REFERENCIAS

- Ameca, G. M., Cerrilla, M. E. O., Córdoba, P. Z., Cruz, A. D., Hernández, M. S. & Haro, J. H. (2018). Chemical composition and antioxidant capacity of coffee pulp. *Ciencia e Agrotecnología*, **42(3)**, 307-313. <https://doi.org/10.1590/1413-70542018423000818>
- Angeloni, S., Nzekoue, F. K., Navarini, L., Sagratini, G., Torregiani, E., Vittori, S. & Caprioli, G. (2020). An analytical method for the simultaneous quantification of 30 bioactive compounds in spent coffee ground by HPLC-MS/MS. *Journal of Mass Spectrometry*, **55(11)**, e4519. <https://doi.org/10.1002/jms.4519>
- Azmir, J., Zaidul, I. S. M., Rahman, M. M., Sharif, K. M., Mohamed, A., Sahena, F., Jahurul, M. H. A. & Omar, A. K. M. (2013). Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: a review. *Journal of Food Engineering*, **117(4)**, 426-436. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.014>
- Ashour, E. A., El-Hack, M. E. A., Shafi, M. E., Alghamdi, W. Y., Taha, A. E., Swelum, A. A., Tufarelli, V., Mulla, Z. S., El-Ghareeb, W. R. & El-Saadony, M. T. (2020). Impacts of green coffee powder supplementation on growth performance, carcass characteristics, blood indices, meat quality and gut microbial load in broilers. *Agriculture*, **10(10)**, 457. <https://doi.org/10.3390/agriculture10100457>
- Ben-Romdhane, M., Krichen, F., Ghazala, I., Ellouz-Chaabouni, S. & Haddar, A. (2017). Effect of extraction methods on chemical composition, angiotensin I-converting enzyme inhibitory and antioxidant activity of coffee residue. *Journal of Food Processing and Preservation*, **41(2)**, e12768. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12768>
- Berker, K. I., Güçlü, K., Tor, İ., Demirata, B. & Apak, R. (2010). Total antioxidant capacity assay using optimized ferricyanide/prussian blue method. *Food Analytical Methods*, **3**, 154-168. <https://doi.org/10.1007/s12161-009-9117-9>
- Bresciani, L., Calani, L., Bruni, R., Brighenti, F. & Del Rio, D. (2014). Phenolic composition, caffeine content and antioxidant capacity of coffee silverskin. *Food Research International*, **61**, 196-201. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.10.047>
- Campos-Vega, R., Loarca-Pina, G., Vergara-Castaneda, H. A. & Oomah, B. D. (2015). Spent coffee grounds: A review on current research and future prospects. *Trends in Food Science & Technology*, **45(1)**, 24-36. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.04.012>
- de Farias Marques, A. D. J., de Lima Tavares, J., de Carvalho, L. M., Abreu, T. L., Pereira, D. A., Santos, M. M. F., Madruga, M. S., de Medeiros, L. L. & Bezerra, T. K. A. (2022). Oxidative stability of chicken burgers using organic coffee husk extract. *Food Chemistry*, **393**, 133451. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133451>
- 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**, 60-74. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.04.007>
- Duangjai, A., Suphrom, N., Wungrath, J., Ontawong, A., Nuengchamnon, N. & Yosboonruang, A. (2016). Comparison of antioxidant, antimicrobial activities and chemical profiles of three coffee (*Coffea arabica* L.) pulp aqueous extracts. *Integrative Medicine Research*, **5(4)**, 324-331. <https://doi.org/10.1016/j.imr.2016.09.001>
- Falowo, A. B., Fayemi, P. O. & Muchenje, V. (2014). Natural antioxidants against lipid-protein oxidative deterioration in meat and meat products: A review. *Food Research International*, **64**, 171-181. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.06.022>
- Fan, L., Pandey, A., Moha, R. & Socol, C. R. (2000). Use of various coffee industry residues for the cultivation of *Pleurotus ostreatus* in solid state fermentation. *Acta Biotechnologica*, **20(1)**, 41-52. <https://doi.org/10.1002/abio.370200108>
- Hashimoto, T. A., Caporaso, F., Toto, C. & Were, L. (2019). Antioxidant capacity and sensory impact of coffee added to ground pork. *European Food Research and Technology*, **245(5)**, 977-986. <https://doi.org/10.1007/s00217-018-3200-7>
- Janissen, B. & Huynh, T. (2018). Chemical composition and value-adding applications of coffee industry by-products:

- A review. *Resources, Conservation and Recycling*, **128**, 110-117. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.001>
- Jully, K. M. M., Toto, C. S. & Were, L. (2016). Antioxidant effect of spent, ground, and lyophilized brew from roasted coffee in frozen cooked pork patties. *LWT-Food Science and Technology*, **66**, 244-251. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.10.046>
- Kim, J. H., Ahn, D. U., Eun, J. B. & Moon, S. H. (2016). Antioxidant effect of extracts from the coffee residue in raw and cooked meat. *Antioxidants*, **5**(3), 21. <https://dx.doi.org/10.3390/2Fantiox5030021>
- Lin, C., Toto, C. & Were, L. (2015). Antioxidant effectiveness of ground roasted coffee in raw ground top round beef with added sodium chloride. *LWT-Food Science and Technology*, **60**(1), 29-35. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.08.010>
- Londoño-Hernandez, L., Ruiz, H. A., Ramírez, T. C., Ascacio, J. A., Rodríguez-Herrera, R. & Aguilar, C. N. (2020). Fungal detoxification of coffee pulp by solid-state fermentation. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, **23**, 101467. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101467>
- Machado, E. M. S., Rodriguez-Jasso, R. M., Teixeira, J. A. & Mussatto, S. I. (2012). Growth of fungal strains on coffee industry residues with removal of polyphenolic compounds. *Biochemical Engineering Journal*, **60**, 87-90. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2011.10.007>
- Marcelo-Díaz, R., Luján-Gonzalez, V., Ramírez, L., Olano, M., Vargas, A., Rojas, M. L. & Linares, G. (2017). Fenólicos a partir de residuos de café: optimización del proceso de extracción. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, **19**(4), 405-410. <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2017.315>
- Martínez-Ávila, G. C. G., Ascacio-Valdés, J. A., Sepúlveda-Torre, L., Rodríguez-Herrera, R., Aguilera-Carbó, A. & Aguilar, C. N. (2013). Extracción asistida por fermentación fúngica de antioxidantes fenólicos. *Acta Química Mexicana*, **5**(9), 16-24. <http://www.actaquimicamexicana.uadec.mx/?p=571>
- Martins, S., Mussatto, S. I., Martínez-Avila, G., Montañez-Saenz, J., Aguilar, C. N. & Teixeira, J. A. (2011). Bioactive phenolic compounds: production and extraction by solid-state fermentation. A review. *Biotechnology Advances*, **29**(3), 365-373. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2011.01.008>
- Martuscelli, M., Esposito, L., & Mastrocola, D. (2021). The role of coffee silver skin against oxidative phenomena in newly formulated chicken meat burgers after cooking. *Foods*, **10**(8), 1833. <https://doi.org/10.3390/foods10081833>
- Masaphy, S. & Levanon, D. (1992). The effect of lignocellulose on lignocellulolytic activity of *Pleurotus pulmonarius* in submerged culture. *Applied Microbiology and Biotechnology*, **36**(6), 828-832. <https://doi.org/10.1007/BF00172203>
- Molyneux, P. (2004). The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarinn Journal of Science and Technology*, **26**(2), 211-219. <https://www.thaiscience.info/Journals/Article/SONG/10462423.pdf>
- Murillo-Hernández, J. L., Torres-Martínez, B. M., Vargas-Sánchez, R. D., Huerta-Leidenz, N. O., Sánchez-Escalante, A. & Torrescano-Urrutia, G. R. (2019). Coffee bagasse extract enhances antioxidant status of pork patties during chilled storage. Consultado el 18 de mayo de 2021 del sitio web: http://icomst-proceedings.helsinki.fi/papers/2019_11_27.pdf
- Murthy, P. S. & Naidu, M. M. (2012a). Sustainable management of coffee industry by-products and value addition-A review. *Resources, Conservation and Recycling*, **66**, 45-58. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.06.005>
- Murthy, P. S. & Naidu, M. M. (2012b). Recovery of phenolic antioxidants and functional compounds from coffee industry by-products. *Food and Bioprocess Technology*, **5**(3), 897-903. <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0363-z>
- Mussatto, S. I., Machado, E. M., Martins, S. & Teixeira, J. A. (2011). Production, composition, and application of coffee and its industrial residues. *Food and Bioprocess Technology*, **4**(5), 661-672. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0565-z>
- Naranjo, M. V., Luz, T. & Rojano, B. A. (2011). Actividad antioxidante de café colombiano de diferentes calidades. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, **16**(2), 164-173. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-47962011000200005
- Neves, J. V. G. D., Borges, M. V., Silva, D. D. M., Leite, C. X. D. S., Santos, M. R. C., Lima, N. G. B. D., Lannes, S. C. S. & Silva, M. V. D. (2019). Total phenolic content and primary antioxidant capacity of aqueous extracts of coffee husk: chemical evaluation and beverage development. *Food Science and Technology*, **39**, 348-353. <http://dx.doi.org/10.1590/fst.36018>
- Nissen, L. R., Byrne, D. V., Bertelsen, G. & Skibsted, L. H. (2004). The antioxidative activity of plant extracts in cooked pork patties as evaluated by descriptive sensory profiling and chemical analysis. *Meat Science*, **68**(3), 485-495. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.05.004>
- NOM. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-213-SSA1-2002, Productos y servicios. Productos cárnicos procesados. Especificaciones sanitarias. Métodos de prueba. Consultado el 18 de mayo de 2021 del sitio web: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/213ssa102.html>
- Nzekoue, F. K., Angeloni, S., Navarini, L., Angeloni, C., Freschi, M., Hrelia, S., Vitali, L. A., Sagratini, G. & Caprioli, G. (2020). Coffee silverskin extracts: Quantification of 30 bioactive compounds by a new HPLC-MS/MS method and evaluation of their antioxidant and antibacterial activities. *Food Research International*, **133**, 109128. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109128>
- 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.2020.101616>

- heliyon.2020.e05685
- Okur, I., Soyler, B., Sezer, P., Oztop, M. H. & Alpas H. (2021). Improving the recovery of phenolic compounds from spent coffee grounds (SCG) by environmentally friendly extraction techniques. *Molecules*, **26**(3), 613. <https://doi.org/10.3390/molecules26030613>
- Palomino-García, L. R., Biasetto, C. R., Araujo, A. R. & Del Bianchi, V. L. (2015). Enhanced extraction of phenolic compounds from coffee industry's residues through solid-state fermentation by *Penicillium purpurogenum*. *Food Science and Technology*, **35**(4), 704-711. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-457X.6834>
- Pfalzgraf, A., Frigg, M. & Steinhart, H. (1995). Alpha-tocopherol contents and lipid oxidation in pork muscle and adipose tissue during storage. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, **43**, 1339-1342. <https://doi.org/10.1021/jf00053a039>
- Ramírez-Rojo, M. I., Vargas-Sánchez, R. D., Torres-Martínez, B. M., Torrescano-Urrutia, G. R. & Sánchez-Escalante, A. (2018). Extractos de hojas de plantas para conservar la calidad de la carne y los productos cárnicos frescos. Revisión. *Biocencia*, **20**(3), 155-164. <https://doi.org/10.18633/biocencia.v20i3.712>
- Re, R., Pellegrini, N., Progettente, A., Pannala, A., Yang, M. & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, **26**(9-10), 1231-1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Ribeiro, J. S., Santos, M. J. M. C., Silva, L. K. R., Pereira, L. C. L., Santos, I. A., da Silva Lannes, S. C. & da Silva, M. V. (2019). Natural antioxidants used in meat products: A brief review. *Meat Science*, **148**, 181-188. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.10.016>
- Rosales, E., Pazos, M. & Sanromán, M. Á. (2018). Solid-state fermentation for food applications. In *current developments in biotechnology and bioengineering* (pp. 319-355). New York: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2016-0-02261-1>
- SAGARPA. (2016). Café mexicano, Planeación agrícola nacional 2017-2030. Consultado el 18 de mayo de 2021 del sitio web: Recuperado de: <https://www.gob.mx/agricultura/documentos/planeacion-agricola-nacional-2017-2030?state=published>
- Salinas-Rios, T., Sánchez-Torres-Esqueda, M. T., Hernández-Bautista, J., Díaz-Cruz, A., Nava-Cuellar, C., Ortega-Cerrilla, M. E., Cordero-Mora, J. L., Vaquera-Huerta, H. & Velasco, J. L. F. (2014). Carcass characteristics, physicochemical changes and oxidative stress indicators of meat from sheep fed diets with coffee pulp. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, **66**(6), 1901-1908. <https://doi.org/10.1590/1678-7747>
- Serna-Jiménez, J. A., Torres-Valenzuela, L. S., Martínez-Cortínez, K. & Hernández-Sandoval, M. C. (2018). Aprovechamiento de la pulpa de café como alternativa de valorización de subproductos. *Revista Ion*, **31**(1), 37-42. <http://dx.doi.org/10.18273/revion.v31n1-2018006>
- Silva, M. D. O., Honfoga, J. N. B., Medeiros, L. L. D., Madruga, M. S. & Bezerra, T. K. A. (2021). Obtaining bioactive compounds from the coffee husk (*Coffea arabica* L.) using different extraction methods. *Molecules*, **26**(1), 46. <https://doi.org/10.3390/molecules26010046>
- Schwarz, K., Bertelsen, G., Nissen, L. R., Gardner, P. T., Heinonen, M. I., Hopia, A., Huynh-Ba, T., Lambelet, P., McPhail, D., Skibsted, L. & Tijburg L. (2001). Investigation of plant extracts for the protection of processed foods against lipid oxidation. Comparison of antioxidant assays based on radical scavenging, lipid oxidation and analysis of the principal antioxidant compounds. *European Food Research and Technology*, **212**(3), 319-328. <https://doi.org/10.1007/s002170000256>
- Tang, V. C. Y., Sun, J., Cornuz, M., Yu, B. & Lassabliere, B. (2021). Effect of solid-state fungal fermentation on the non-volatiles content and volatiles composition of *Coffea canephora* (Robusta) coffee beans. *Food Chemistry*, **337**, 128023. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128023>
- Thangavelu, K. P., Tiwari, B., Kerry, J. P. & Álvarez, C. (2022). A comparative study on the effect of ultrasound-treated apple pomace and coffee silverskin powders as phosphate replacers in Irish breakfast sausage formulations. *Foods*, **11**(18), 2763. <https://doi.org/10.3390/foods11182763>
- Valenzuela, C. V. & Pérez, P. M. (2016). Actualización en el uso de antioxidantes naturales derivados de frutas y verduras y su efecto sobre la vida útil de la carne y los productos cárnicos. *Revista Chilena de Nutrición*, **43**(2), 188-195. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182016000200012>
- Vargas-Sánchez, R. D., Velásquez-Jiménez, D., Torrescano-Urrutia, G. R., Ibarra-Arias, F. J., Portillo-Loera, J. J., Ríos-Rincón, F. G., Ramírez-Guerra, H. E. & Sánchez-Escalante, A. (2018). Actividad antioxidante total en pechuga de codorniz japonesa (*Coturnix coturnix japonica*) alimentada con una dieta suplementada con hongos comestibles. *Biocencia*, **20**(2), 43-50. <https://doi.org/10.18633/biocencia.v20i2.605>
- Wen, L., Zhang, Z., Rai, D., Sun, D. W. & Tiwari, B. K. (2019). Ultrasound-assisted extraction (UAE) of bioactive compounds from coffee silverskin: Impact on phenolic content, antioxidant activity, and morphological characteristics. *Journal of Food Process Engineering*, **42**(6), e13191. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13191>
- Wijngaard, H., Hossain, M. B., Rai, D. K. & Brunton, N. (2012). Techniques to extract bioactive compounds from food by-products of plant origin. *Food Research International*, **46**, 505-513. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.09.027>
- Xu, X., Shen, M. & Quan L. (2015). Stimulatory agents simultaneously improving the production and antioxidant activity of polyphenols from *Inonotus obliquus* by submerged fermentation. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, **176**, 1237-1250. <https://doi.org/10.1007/s12010-015-1642-y>