

Transformación y agroindustria

Artículo de investigación científica y tecnológica

Efecto del proceso de tostado en el contenido de polifenoles totales, actividad antioxidante y evaluación sensorial del café producido en Perú

Effect of roasting on the total polyphenols content, antioxidant activity, and sensorial properties in coffee produced in Peru

 Celinda Huaccha-Herrera ^{1*}  Elizabeth S. Ordoñez ¹
 Juan Edson Villanueva-Tiburcio ^{1*}

¹ Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú.

¹ Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Huánuco, Perú.

*Autor de correspondencia: Juan Edson Villanueva-Tiburcio. Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, avenida Esteban Pablich N.º 172, Pillo Marca-Huánuco, Perú.
juanedvi@unheval.edu.pe

Recibido: 31 de agosto de 2023
Aprobado: 15 de septiembre de 2024
Publicado: 29 de octubre de 2024

Editor temático: Juan Camilo Henao,
(Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]), Mosquera, Colombia.

Para citar este artículo: Huaccha-Herrera, C., Ordoñez, E. S., & Villanueva-Tiburcio, J. E. (2024). Efecto del proceso de tostado en el contenido de polifenoles totales, actividad antioxidante y evaluación sensorial del café producido en Perú. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 25(3), e3508.
https://doi.org/10.21930/rcta.vol25_num3_art:3508

Resumen: El café es un alimento mundial que se comercializa con base en la calidad del grano, por sus características físicas y organolépticas. En Perú, en la región Huánuco, provincia de Leoncio Prado, se producen cafés de las variedades Typica y Bourbon, sin embargo, existe poca información sobre el efecto de los grados de tostado en la calidad de la taza y las propiedades antioxidantes. Los objetivos fueron evaluar el efecto de diferentes grados en el proceso de tostado de ambos cafés; evaluar el contenido de polifenoles totales, capacidad antioxidante (DPPH y ABTS+) y calidad del café en taza, mediante el método reportado por el Coffee Quality Institute. Las muestras de café verde oro también fueron sometidas a procesos de tostado claro, medio y oscuro, con un diseño estadístico factorial de 2³, se realizó un análisis descriptivo cuantitativo (ADC) y un análisis de componentes principales (ACP). Los resultados mostraron que el tostado claro en cafés Typica y Bourbon ofrecieron un mayor contenido de polifenoles totales (4,13 ± 0,03 g AGE/100 g y 4,13 ± 0,01 g AGE/100 g) y actividad antioxidante frente al DPPH (IC₅₀ 155,66 ± 3,4 µg/ml y 170,41 ± 1,06 µg/ml, respectivamente) y ABTS+ (53,19 ± 0,16 µg/ml y 43,17 ± 0,57 µg/ml); la variedad Typica con tostado claro y la variedad Bourbon con tostados claro y medio ofrecieron las mejores características sensoriales. Los diferentes grados de tostado en el café provocaron cambios sensoriales y variaciones en el contenido de los principios activos, mientras que el grado de tostado claro ofreció una mayor cantidad de principios activos en el café que podrían ser aprovechados por los consumidores.

Palabras clave: calidad de taza, componentes principales, principios activos.

Abstract: Coffee is one of the products in the world market that is traded based on the quality of the bean, and its physical and organoleptic characteristics. In Peru, one of the production areas is in the Leoncio Prado province of the Huánuco region. There is little information on the cup quality and antioxidant properties of Typica and Bourbon coffee subjected to different degrees of roasting. The objectives were to evaluate the effect of different degrees of roasting on the Typica and Bourbon coffee varieties, to determine the total polyphenol content, antioxidant capacity (DPPH and ABTS+), and to evaluate the quality of the coffee cup using the method reported by the Coffee Quality Institute. The green gold coffee samples were subjected to light, medium, and dark roasting. The statistical design was a 2³ factorial, as well as quantitative descriptive analysis (QDA), and principal component analysis (PCA). The results showed that the light roast in Typica and Bourbon coffees offered the highest total polyphenol content with 4.13±0.03 and 4.13±0.01 g AGE/100g and antioxidant activity against the DPPH radical (IC₅₀ 155.66±3.4 µg/mL and 170.41±1.06 µg/mL) and ABTS+ with 53.19±0.16 µg/mL and 43.17±0.57 µg/mL, while the Typica variety with light roast and the Bourbon variety with light and medium roasts offered the best sensory characteristics. The different degrees of roasting in coffee caused sensory changes, as well as variations in the content of active compounds. The light degree of roasting offers a greater quantity of active ingredients in the coffee that could be used by consumers.

Keywords: Cup quality, principal components, active ingredients.



Introducción

El café es un producto alimenticio básico y popular en el mundo, el cual se comercializa de acuerdo con la calidad del grano (Cheng et al., 2016; Gimase et al., 2014); el mercado del café a nivel nacional y externo depende básicamente de las características sensoriales, físicas y químicas (Rodrigues de Oliveira et al., 2015). En Perú, durante el 2022, el ingreso económico por concepto de exportaciones fue de USD 5879 millones de dólares (Valdiviezo Chamorro, 2023). Además, se estima que el consumo total mundial anual de café supera los 400 mil millones de tazas (Gimase et al., 2014).

Diversas investigaciones reportan que el café es un alimento rico en compuestos que poseen efectos benéficos para la salud humana (Bortholazzi Almeida & de Toledo Benassi, 2011), donde destacan los polifenoles, específicamente el ácido clorogénico y la cafeína, los cuales previenen la hipoxia inducida por la degeneración retinal (Jang et al., 2014). Además, el ácido clorogénico obtenido del café tostado posee un mayor efecto neuroprotector, comparado con el café verde (Chu et al., 2009).

Por otra parte, el consumo de café está relacionado con la reducción de prevalencia de enfermedades relacionadas a diabetes tipo 2, cirrosis hepática, enfermedades cardiovasculares e inflamatorias (Farah & Donangelo, 2006; Fonseca-García et al., 2014) y cáncer *in vitro* e *in vivo* (Ferrazzano et al., 2009), también previene enfermedades neurodegenerativas como Alzheimer y Parkinson (Perrone et al., 2012). Por ello, el café está propuesto como un alimento eficiente de actividad antioxidante, por su contenido en sustancias fenólicas, como ácidos clorogénicos, cafeico, ferúlico y p-cumárico (Badmos et al., 2020; Londoño et al., 2013; Nebesny & Budryn, 2003; Parras et al., 2007). Se han identificado más de 40 compuestos volátiles en muestras de café verde (Bertrand et al., 2012), así como ácidos orgánicos (Dong et al., 2017), y todo ello constituye una mezcla muy compleja de compuestos químicos que se producen naturalmente durante el proceso de tostado (Duarte et al., 2010). La concentración y la composición de los compuestos fenólicos en el café dependen fuertemente de las condiciones del procesamiento, especialmente del tostado (Bertrand et al., 2012; Duarte et al., 2010; Pérez-Hernández et al., 2012), el cual consiste en someter a los granos de café a un calentamiento de 200-240 °C por 10-15 minutos, dependiendo del grado de tostado requerido (Daglia et al., 2000; Hečimović et al., 2011).

En el proceso de tostado suceden muchos cambios, tal como la degradación del ácido clorogénico (Nebesny & Budryn, 2003) y la generación de las melanoidinas, que se dan en la reacción de Maillard (Ahmed et al., 2013), y muchos de estos compuestos químicos poseen una actividad antioxidante (Hečimović et al., 2011; Jiménez Monreal et al., 2012; Perrone et al., 2012). Además, estas propiedades antioxidantes dependen del tiempo y la temperatura del tostado (Yashin et al., 2013), el cual puede causar un aumento o disminución de ello (Borrelli et al., 2002), por ejemplo, la capacidad antioxidante decrece en un tostado claro y aumenta en un tostado oscuro (Daglia et al., 2000).

En cuanto a la evaluación sensorial, esta se considera como una de las herramientas rápidas, simples y directas para detectar las causas de defectos en la calidad de los alimentos (Lima Filho

et al., 2013), se utiliza para la comercialización a nivel del global y para determinar el valor económico en el mercado (Adhikari et al., 2019).

Diversos estudios realizados en múltiples variedades de café han revisado sus propiedades antioxidantes y sus efectos benéficos, sin embargo, con respecto a cafés producidos en Perú, es poca la información publicada referente al procesamiento de tostado y comportamiento de polifenoles y actividad antioxidante. Por lo tanto, se espera un efecto positivo del nivel de tueste en granos de café sobre las características sensoriales, lo cual se soporta en el objetivo de la investigación, el cual fue evaluar el efecto del grado de tostado en el contenido de polifenoles totales, actividad antioxidante y calidad en una taza de café de las variedades Typica y Bourbon, ambas producidas en Perú.

Materiales y métodos

Obtención de materia prima

Los granos de café (*Coffea arabica*) pergamino de las variedades Typica y Bourbon se obtuvieron del distrito Hermilio Valdizán, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco, en Perú, exactamente en las coordenadas -9.129551861685327, -76.04396347629942 y a 1250 m s.n.m., donde cada muestra estuvo constituida por 25 kg. Luego, las muestras fueron trasladadas al laboratorio del Centro de Investigación para el Desarrollo Biotecnológico de la Amazonía (Cidbam), de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS).

Preparación de muestras

Los granos de café pergamino (humedad del 12 % en base seca) fueron sometidos a trillado (trilladora marca Bonelly Industrial, serie 1609020564), donde se separó la cascarilla y se obtuvo café verde oro; posteriormente, se tamizó en una malla N.º 15 (6,00 mm de diámetro), con el objetivo de eliminar granos pequeños. Luego, los granos de café pasaron por diferentes grados de tostado (Tostadora semi-industrial T-200 IMSA), obteniendo: tostado claro a 180-210 °C/8 minutos; tostado medio a 180-210 °C/10 minutos y tostado oscuro a 180-210 °C/12 minutos. Después del proceso de tostado, se dejaron reposar los granos de café durante 12 horas y, finalmente, fueron molidos (molino marca Thomas) a grado fino (1 mm de diámetro).

Preparación de extractos

Se utilizó el método reportado por Vega et al. (2017): se pesaron 1,5 g de muestra y se disolvieron en 30 ml de agua desionizada en ebullición, se agitó por dos horas (Homogenizador Barnstead, Estados Unidos) manteniendo la temperatura constante (96-98 °C), se filtró (Watman N.º 40) y se centrifugó (Hettich-Alemania) a 10 000 rpm/10 minutos a 4 °C y el sobrenadante se utilizó para realizar los diferentes análisis.

Cuantificación de polifenoles totales

Se realizó mediante el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu, reportado por Sultana et al. (2009), con algunas modificaciones. Se mezclaron 20 µl de muestra con 1580 µl de agua desionizada, se adicionaron 100 µl de solución fenol Folin-Ciocalteu (Merck), donde después de 1 minuto se mezcló con 300 µl de Na₂CO₃ (Sigma-Aldrich) al 20 % y se almacenó en oscuridad y a temperatura ambiente por dos horas. La absorbancia se registró en 700 nm (espectrofotómetro UV/VIS Genesys 10, Estados Unidos) y el contenido de polifenoles se reportó en gramos de ácido gálico/100 g de muestra. Para la cuantificación de polifenoles se elaboró una curva estándar con ácido gálico, con concentraciones de 1-15 µg/ml.

Radical 1,1-difenil-2-picrilhidrazil (DPPH)

Se utilizó la técnica reportada por Sandoval et al. (2002): 25 µl de extractos de las muestras de cafés (0,03-0,4 mg/ml) que se hicieron reaccionar con 975 µl de DPPH (Sigma) a 100 µM en etanol al 96 % durante 6 minutos en ambiente oscuro y la absorbancia se registró en 515 nm (espectrofotómetro UV/VIS Genesys10, Estados Unidos). El porcentaje de inhibición del radical DPPH fue calculado con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Inhibición DPPH} = [(Ac - Am)/Ac] \times 100$$

Donde:

Ac: absorbancia del control (DPPH 100 µM).

Am: absorbancia de la muestra en función del tiempo (luego de 6 minutos de reacción con DPPH).

La actividad antioxidante fue expresada en IC₅₀, que indica la concentración de muestra necesaria para inhibir al 50 % del radical libre DPPH. El IC₅₀ se obtuvo de la ecuación lineal según la gráfica de las concentraciones de extractos de cafés (0,03-0,4 mg/ml) que reaccionaron con el radical libre DPPH, versus el porcentaje de inhibición de la muestra luego de 6 minutos de reacción.

Radical libre 2,2-azinobis (3-etilbenzotiazoline-6-ácido sulfónico) (ABTS⁺)

Se realizó el método reportado por Re et al. (1999), con algunas modificaciones: se hicieron reaccionar 9,8 ml de ABTS (Sigma) a 7,4 milimolar (mM) con 0,2 ml de persulfato de potasio (Merck) a 122,5 mM y se incubó en oscuridad por 16 horas. Posteriormente, se diluyó 1 ml de solución de ABTS⁺ con 49 ml de metanol (Merck) hasta obtener una absorbancia entre 0,7 (± 0,02) y 734 nm (espectrofotómetro UV/VIS Genesys 10, Estados Unidos). Luego, 10 µl de los extractos (0,01-0,125 mg/ml) se hicieron reaccionar con 990 µl de radical ABTS⁺ por 6 minutos en un ambiente oscuro. El porcentaje de inhibición del radical fue calculado con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Inhibición ABTS} = \left[\frac{Ac - Am}{Ac} \right] \times 100$$

Donde:

Ac: absorbancia del control (absorbancia de ABTS en 0,7 ($\pm 0,02$)).

Am: absorbancia de la muestra en función del tiempo (luego de 6 minutos de reacción con ABTS).

El IC₅₀ se obtuvo de la ecuación lineal según el ploteo de las concentraciones de la muestra versus el porcentaje de inhibición.

La determinación del coeficiente de correlación de Pearson (r) se realizó considerando la capacidad antioxidante ($1/IC_{50}$) y el contenido de polifenoles totales (Abirami & Kowsalya, 2017).

Análisis sensorial

Para la evaluación sensorial, se consideró el protocolo de la prueba de taza del Coffee Quality Institute (2022) y se utilizó el formato de catación de cafés especiales de América, donde la evaluación se realizó mediante el juicio de tres expertos. Se consideraron diez atributos para cada bebida, donde la calificación fue según la escala: de 6,00 a 6,75 puntos “bueno”; de 7,00 a 7,75 puntos “muy bueno”; de 8,00 a 8,75 puntos “excelente”; y de 9,00 a 9,75 puntos “extraordinario”. En la muestra de cafés tostado y molido se evaluaron la fragancia (o los aromas) y el color de tueste. Para la bebida se prepararon infusiones con una concentración de 9 g/ml, donde la temperatura del agua para la infusión estuvo a punto de ebullición, luego se adicionó a la taza y se esperaron aproximadamente tres minutos y se procedió a “romper taza”, esto consistió en remover la capa llamada “costra”, donde las partículas que no se hundieron fueron retiradas con la misma cuchara y a esto se le denominó “limpiar taza”. Los atributos que se evaluaron en este proceso fueron: fragancia/aroma, taza limpia, dulzura, acidez, cuerpo, sabor, posgusto, balance y apariencia general.

Análisis estadístico

El contenido de polifenoles totales y la capacidad antioxidante se sometieron a un diseño estadístico factorial de 2³, donde los resultados se analizaron mediante Anova con la prueba de Tukey con $p < 0,05$ (cada experimento se realizó con tres repeticiones) (Selvamuthu & Das, 2018). Los resultados de la evaluación sensorial permitieron el desarrollo del análisis descriptivo cuantitativo (QDA), el análisis multivariado (AM) y los componentes principales (ACP), y el dendrograma de distancia se realizó tomando como referencias las investigaciones de Rodrigues et al. (2015) y Vu et al. (2018). El cálculo se realizó con el *software* InfoStat, versión 2018 (Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina).

Resultados y discusiones

Cuantificación de polifenoles totales

El contenido de polifenoles totales en café verde oro de las variedades Typica y Bourbon, entre los diferentes tipos de tostado, presentó diferencias significativas ($p < 0,05$), sin embargo, en cuanto al grado de tostado claro no hubo diferencia entre las dos variedades de café, obteniéndose la mayor cantidad de polifenoles totales con $4,13 \pm 0,01$ y $4,13 \pm 0,03$ g EAG/100 g, respectivamente (figura 1). Los resultados obtenidos fueron superiores a lo reportado por de Oliveira (2006), quien obtuvo 30,79 mg EAG/g de café de la variedad Mundo Novo; por otra parte, Lemos de Morais et al. (2008) obtuvo 32,0 mg EAG/g de café, sin embargo, los resultados obtenidos se encuentran dentro de lo reportado por Hečimović et al. (2011), con 40 mg AGE/g en la variedad Minas (*Coffea arabica*). Referente al tostado medio, entre Typica y Bourbon, el contenido de polifenoles totales fue de $3,97 \pm 0,07$ AGE/100 g y de $3,76 \pm 0,03$ g AGE/100 g, respectivamente, ($p < 0,05$), donde los resultados fueron superiores a 26,70 mg, lo cual también fue reportado por Lemos de Morais et al. (2008).

Al comparar el tostado claro con el tostado medio para los cafés Typica y Bourbon, el contenido de polifenoles disminuyó en 6,53 % y 9 %, respectivamente, y este comportamiento estaría relacionado con las altas temperaturas, las cuales inducen la lactonización y polimerización del ácido clorogénico, dando lugar a la formación de nuevas estructuras como melanoidinas (del Pino García, 2011).

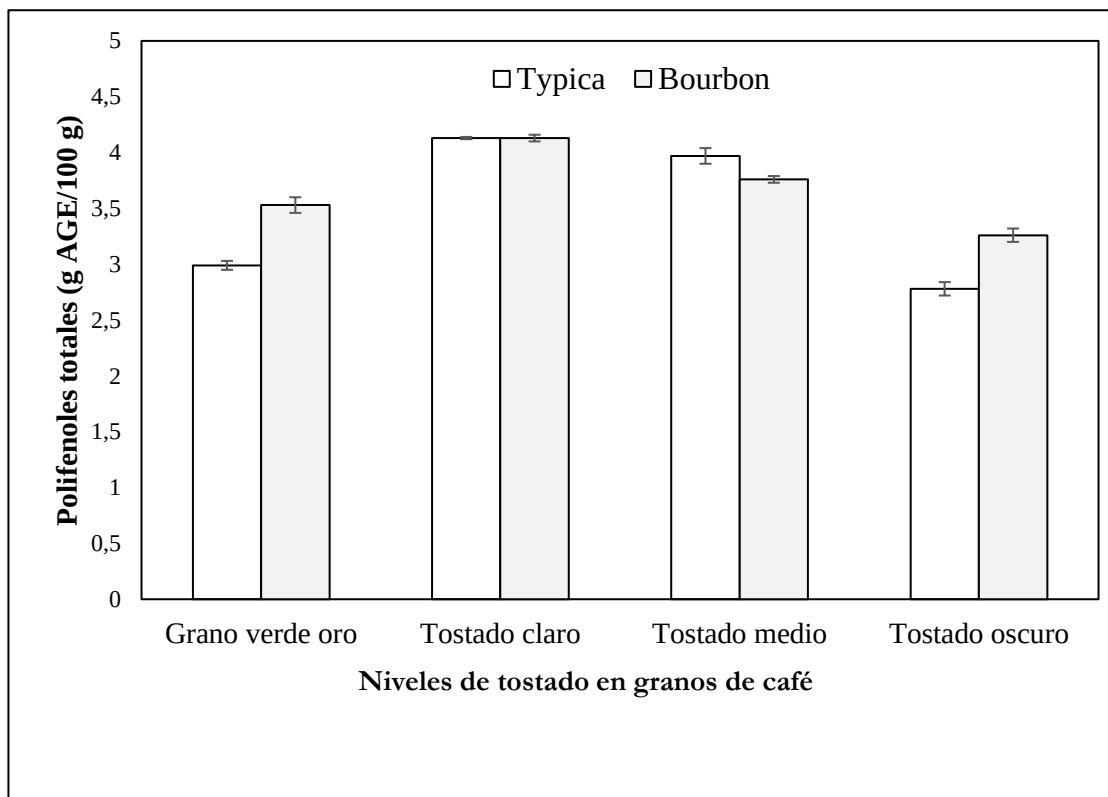
El contenido de polifenoles en la variedad Bourbon con tostado oscuro ($3,26 \pm 0,06$ g AGE/100 g) fue superior a lo publicado por Morais et al. (2008) y Ahmed et al. (2013), quienes reportaron entre 24,54 mg AGE/g y hasta 27,0 mg AGE/g de muestra y $25,15 \pm 2,18$ mg AGE/g, respectivamente.

El tostado en el café provoca la disminución de polifenoles totales, lo cual podría influenciar en la actividad antioxidante (Hečimović et al., 2011). Además, el contenido de polifenoles totales en granos verde oro fue mayor en la variedad Bourbon, respecto a la variedad Typica. Respecto a ello, Ahmed et al. (2013) reportaron en café verde un contenido de polifenoles de $43,59 \pm 3,12$ mg AGE/g y, así mismo, en los cafés Typica con tostado claro y medio se incrementó el contenido de polifenoles en $38,05 \pm 3,52$ %, $29,23 \pm 5,81$ % y Bourbon de $16,93 \pm 3,43$ %, $6,43 \pm 3,79$ %, disminuyendo con el tostado oscuro para Typica hasta $6,97 \pm 5,43$ % y para Bourbon hasta $7,46 \pm 5,09$ %; además, diversas publicaciones reportaron comportamientos de incremento de polifenoles en cafés según el grado de tostado.

Sobre este punto, Priftis et al. (2015) sometieron 13 variedades de cafés a tostado, de los cuales 5 variedades mostraron un incremento en el contenido de polifenoles, sin embargo, Dybkowska et al. (2017) reportaron una disminución en el contenido de polifenoles de acuerdo con el grado de tostado, siendo el de grado ligero el de mayor contenido, disminuyendo con el tostado medio y oscuro; por su parte, Hečimović et al. (2011) evaluaron un café con tostado ligero, medio y oscuro a 200 °C, encontrando pérdidas en su masa con 14 %, 15 % y 19 %, respectivamente. De acuerdo con lo mencionado por diversos autores, con respecto al incremento en el contenido de

polifenoles en las muestras investigadas de cafés Typica y Bourbon, esto estaría relacionado con la pérdida de humedad, lo cual aparentemente mostraría una concentración en el contenido de polifenoles, sin embargo, la degradación seguiría ocurriendo, tal como se observa con el tratamiento de tostado oscuro.

Así, el tostado afecta notablemente el contenido de polifenoles del café a través de la reacción de Maillard (Pérez-Hernández et al., 2012) y la formación de melanoidinas (Moreira et al., 2012; Nunes et al., 2012; Tamilmani & Pandey, 2015); a la vez, el tostado le confiere al café agradable sabor y aroma (Pérez-Hernández et al., 2012).



Tostado claro: 180 ± 210 °C/8 minutos; tostado medio: 180 ± 210 °C/10 minutos

Figura 1. Contenido de polifenoles totales en muestras de café de las variedades Typica y Bourbon, sometidas a diferentes grados de tostado

Notas aclaratorias: los resultados de cada muestra representan el promedio de tres repeticiones $\pm$ desviación estándar

Fuente: Elaboración propia

Capacidad antioxidante

Se sabe que bajos valores numéricos de IC_{50} representan una alta capacidad antioxidante (Abraham et al., 2021), por lo que de los resultados se puede apreciar que la mayor capacidad antioxidante frente al radical libre DPPH lo presentaron los cafés tostados, esto puede deberse

a que durante el proceso de tostado se da la formación de compuestos nuevos, productos de la reacción que tienen las propiedades antioxidantes como ácido 5-O-cafeoilquínico, ácidos 3- y 4-O-cafeoilquínicos (Budryn et al., 2009; Daglia et al., 2000). Por otro lado, cabe resaltar que la variedad Typica en los tres grados de tostado presentó una alta capacidad antioxidante comparada con Bourbon; además, las diferencias de actividad antioxidante del café dependieron de la variedad, el grado de tostado, el tipo de fermentación, la molienda y las diferentes condiciones geográficas y climatológicas en donde crecen las plantas (Naranjo et al., 2011; Pérez-Hernández et al., 2012). La menor capacidad antioxidante se encontró en el grano verde oro de las variedades Typica y Bourbon, y en el tostado oscuro de Bourbon.

Por otra parte, se sabe que la capacidad antioxidante del grano de café verde depende del contenido de polifenoles, alcaloides, especie de café (*arabica* o *canephora*) y origen (Hečimović et al., 2011). En este caso, la menor capacidad antioxidante la tuvo el café Bourbon con tostado oscuro, resultado que concuerda con lo encontrado por Morais et al. (2008) en *Coffea arabica* tostado oscuro con IC_{50} de 2,78 mg de muestra/mg de DPPH. Al saber que las muestras de tostado medio presentaron un mayor poder antioxidante, esto puede deberse a que durante el tostado del café las altas temperaturas conllevaron a la pérdida de los antioxidantes presentes originalmente en el café, como los ácidos hidroxycinámicos (Sacchetti et al., 2009).

Los resultados de la reacción frente al radical $ABTS^+$ con las muestras de café presentaron diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$) (tabla 1), donde la mayor eficiencia de secuestro hacia el catión $ABTS^+$ lo presentó la variedad de café Bourbon con tostado claro. Durante el tostado, los antioxidantes naturales fueron parcialmente descompuestos o tenían la capacidad de unirse a otras estructuras; lo cual generó, incluso, productos de la reacción de Maillard, que también presentaron actividad antioxidante (Naranjo et al., 2011; Vignoli et al., 2011), entre ellos 4-hidroxibenzaldehído y ferulaldehídos, tales como los fenilindanos (Wu et al., 2022).

La menor eficiencia frente al radical $ABTS^+$ lo presentaron las muestras de café Typica y Bourbon de grano verde oro, pero fueron estadísticamente diferentes ($P \leq 0,05$), cada variedad de café mantuvo sus características específicas; la variedad Bourbon es una mutación del Typica y produce los cafés más finos por su calidad; mientras que la variedad Typica es la base de otras variedades de café que han sido desarrolladas y brinda una taza de excelente calidad (Society Coffee Association, 2019). Cuando una planta es atacada por un patógeno, hay una activación de la defensa, con la expresión de diversos genes, lo que resulta en la síntesis y acumulación de metabolitos secundarios, tales como compuestos fenólicos (Bacelar Leite et al., 2013).

Determinación del coeficiente de correlación de Pearson (r)

El coeficiente de correlación de Pearson es una medida lineal entre dos variables, que sirve para explicar la correlación entre la variable X y la variable Y, y viceversa (Prion & Haerling, 2014; Puth et al., 2014). En la tabla 2 se muestran los coeficientes de correlación entre el contenido de polifenoles y la capacidad antioxidante (IC_{50}) para las dos variedades de café. La correlación del contenido de polifenoles frente al radical DPPH en las variedades de café Typica y Bourbon mostraron valores de 0,81 y 0,97, respectivamente, sin embargo, frente al catión $ABTS^+$ fueron iguales ($r = 0,70$).

Tabla 1. Evaluación de la capacidad antioxidante en las variedades de café Typica y Bourbon, en granos verde oro, sometidos a diferentes tipos de tostado

Muestras de café	Actividad antioxidante IC ₅₀ (µg/ml)	
	DPPH	ABTS ⁺
Typica grano verde oro	255,09 ± 5,99 ^a	76,40 ± 0,69 ^a
Typica tostado claro	155,66 ± 3,4 ^c	53,19 ± 0,16 ^d
Typica tostado medio	180,69 ± 6,06 ^{bc}	57,86 ± 0,60 ^c
Typica tostado oscuro	201,59 ± 4,17 ^{bc}	60,09 ± 0,49 ^{bc}
Bourbon grano verde oro	218,18 ± 4,59 ^{ab}	63,14 ± 0,99 ^b
Bourbon tostado claro	170,41 ± 1,06 ^c	43,97 ± 0,57 ^e
Bourbon tostado medio	194,13 ± 14,93 ^{bc}	52,30 ± 0,95 ^d
Bourbon tostado oscuro	223,09 ± 20,30 ^{ab}	52,62 ± 0,91 ^d

Tostado claro: 180 ± 210 °C/8 minutos; tostado medio: 180 ± 210 °C/10 minutos; tostado oscuro: 180 ± 210 °C/12 minutos. Los resultados de cada muestra representan el promedio de tres repeticiones ± desviación estándar. Las letras de los superíndices en los resultados (desde la a hasta e) indican una diferencia significativa, siendo el superíndice a de mayor predominancia y se leen en cada columna en vertical ($p \leq 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

Londoño et al. (2013) realizaron diferentes grados de tostado y reportaron una correlación frente al DPPH de 0,75, el cual es menor a los resultados obtenidos en la presente investigación, sin embargo, la correlación reportada fue inferior a lo publicado por Valadão Vicente et al. (2014), quienes obtuvieron una correlación de secuestro de radical DPPH en café tostado con un $r = 0,99$, por lo que la variación en la correlación podría atribuirse a las condiciones geográficas de cultivo, que influyeron en la ruta metabólica de la planta para la producción de polifenoles (Ashihara, 2006; Martins et al., 2014), también a las condiciones de tostado (Jiménez Monreal et al., 2012) e incluso a las variedades de café (Mestanza et al., 2023). Muchos compuestos fenólicos muestran una actividad antioxidante basada en la habilidad de donación de hidrógeno (Lee et al., 2004), además, otra característica de los polifenoles presentes en las dos variedades de café sería la estructura química y la polaridad, porque frente al radical DPPH mostraron diferente correlación, mientras que los polifenoles que se inhibieron frente al catión ABTS⁺ fueron iguales (Palombini et al., 2013; Rebaya et al., 2016).

Tabla 2. Correlación de Pearson (r) entre el contenido de polifenoles totales frente a radical DPPH y catión ABTS⁺ en las muestras de café de Typica y Bourbon

Muestras de café	r	
	DPPH	ABTS ⁺
Typica	0,81	0,70
Bourbon	0,97	0,70

Fuente: Elaboración propia

Evaluación sensorial

El análisis descriptivo cuantitativo (QDA) permite demostrar gráficamente el perfil sensorial de cada muestra de café (figura 2). Según ello, las muestras que tuvieron un mayor puntaje en fragancia fueron Typica de tostado claro y Bourbon de tostado medio con “fragancia y aroma muy fuerte”. En estos conceptos, la fragancia es el olor del café cuando está seco y el aroma es después de agregarle el agua caliente, lo que permite catalogar la calidad del café (Nebesny & Budryn, 2006), ello está relacionado con los compuestos volátiles y las condiciones de tostado (Caporaso et al., 2018), incluso los aromas se pueden modificar con la adición de fructuosa (Liu et al., 2019). El atributo de sabor permite definir si la taza es agradable o desagradable; el mayor puntaje fue para Typica de tostado claro y Bourbon de tostado medio con “sabor muy bueno”. El resto de los tratamientos tuvieron un calificativo de “sabor bueno”, esto podría asociarse con los tostados fuertes que provocarían cambios en la composición de los granos (Vignoli et al., 2011).

El mayor puntaje de la permanencia del sabor en el paladar posgusto lo presentó el café Typica con tostado claro y el Bourbon con tostado medio “posgusto excelente”; mientras que el menor fue para Typica con tostado medio y oscuro “posgusto bueno”. En cuanto a la acidez, que es una característica deseable y apreciada en el café, las muestras con el mayor puntaje fueron para Bourbon tostado (claro, medio y oscuro) y Typica con tostado claro, de “acidez muy buena”.

La intensidad y el impacto del sabor es el cuerpo, según los resultados, el café Typica de tostado claro, medio y oscuro, y el Bourbon de tostado oscuro y medio fueron calificados como “muy bueno”. Del atributo “uniformidad”, todos los tratamientos tuvieron un calificativo “excelente”. Con respecto al “balance”, el café Typica de tostado claro fue calificado como “excelente”. Según los puntajes del rango, los que tienen 8,00-9,00 son considerados como cafés excelentes. Todos los tratamientos fueron calificados como “taza limpia extraordinaria”, este atributo permite calificar la bebida de café libre de defectos como fermentos, contaminación por mohos y otros olores y sabores.

La dulzura se asocia a la sensación íntegra y placentera de sabor, que está relacionada con la uniformidad de la madurez al momento de la cosecha (Gamboa et al., 2013), donde las muestras evaluadas fueron calificadas como “extraordinario”.

La apreciación general permite calificar la calidad del café por sus aromas, sabor y cuerpo, donde la variedad Typica de tostado claro y el Bourbon de tostado medio fueron calificados como “muy bueno”; el Bourbon de tostado claro y el Typica de tostado oscuro tuvieron un calificativo de “bueno”; mientras que los tostados prolongados frecuentemente están asociados a un café de baja calidad o para enmascarar algún defecto con pérdidas en sus principios activos (Bauer et al., 2018; Choi et al., 2018; Malaquias et al., 2018), asimismo, los métodos de manejo poscosecha y de tostado influyen directamente en la calidad del café (Rodríguez et al., 2020), así como la altura donde se realiza el cultivo (Buenaventura & Castaño, 2002).

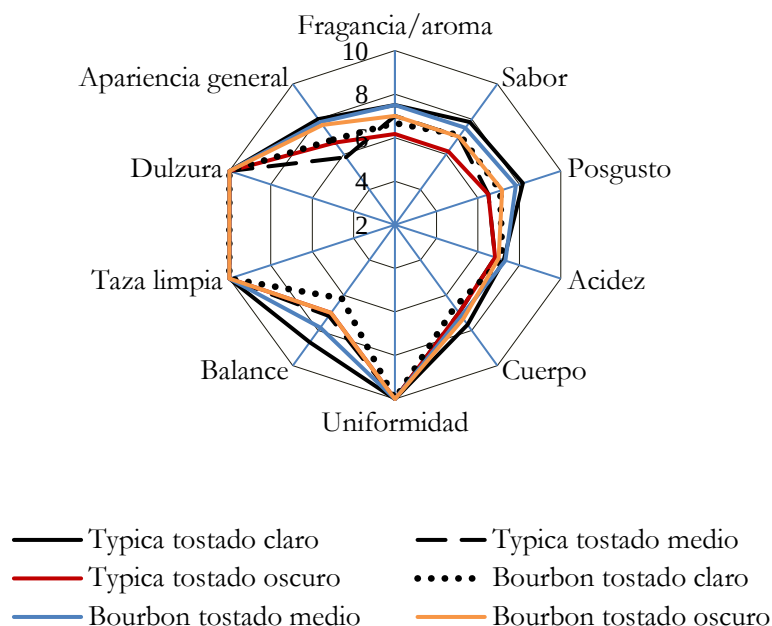


Figura 2. Perfil sensorial de dos variedades de café con diferentes tipos de tostado

Fuente: Elaboración propia

El perfil de atributos de las muestras de café Typica y Bourbon fueron analizados mediante componentes principales, donde según los resultados estadísticos se puede concluir que, en el Biplot de variables del primer componente (CP1), se separa el atributo posgusto de las demás variables, el cual representa el 74,9 % de la variabilidad total del perfil sensorial de los atributos (figura 3). Asimismo, las muestras de cafés Typica de tostado oscuro (TTO), Typica de tostado medio (TTM), Bourbon de tostado claro (BTC) y Bourbon de tostado oscuro (BTO) representan el 13,9 % de la variabilidad del segundo componente (CP2) y, en general, ambos componentes representan el 88,8 % de la variabilidad total. La variedad Bourbon con tostado medio resaltó más el atributo posgusto, debido a la permanencia del sabor residual en la boca, que debe ser agradable, dulce y refrescante.

Según el análisis estadístico de conglomerados, podemos diferenciar dos grupos (figura 4); el primer grupo representa el 33,3 % y estuvo conformado por Bourbon de tostado medio y Typica de tostado claro, estos cafés tuvieron las mejores calificaciones en los atributos de sabor, apreciación general, acidez, posgusto, balance, uniformidad, dulzura, taza limpia y fragancia/aroma.

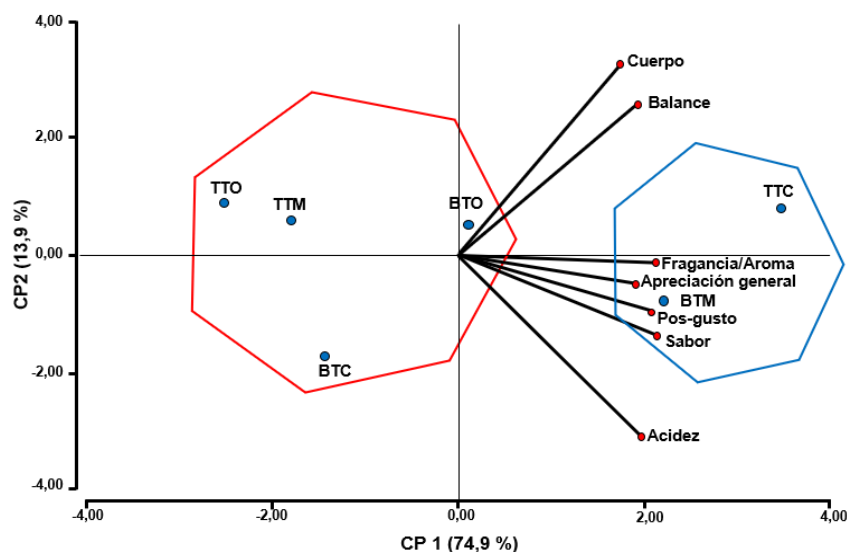


Figura 3. Análisis de componentes principales de la evaluación sensorial en variedades de cafés Typica y Bourbon, con diferentes grados de tostado
 Notas aclaratorias: T: Typica, B: Bourbon, T: tostado, C: claro, M: medio, O: oscuro.
 Fuente: Elaboración propia

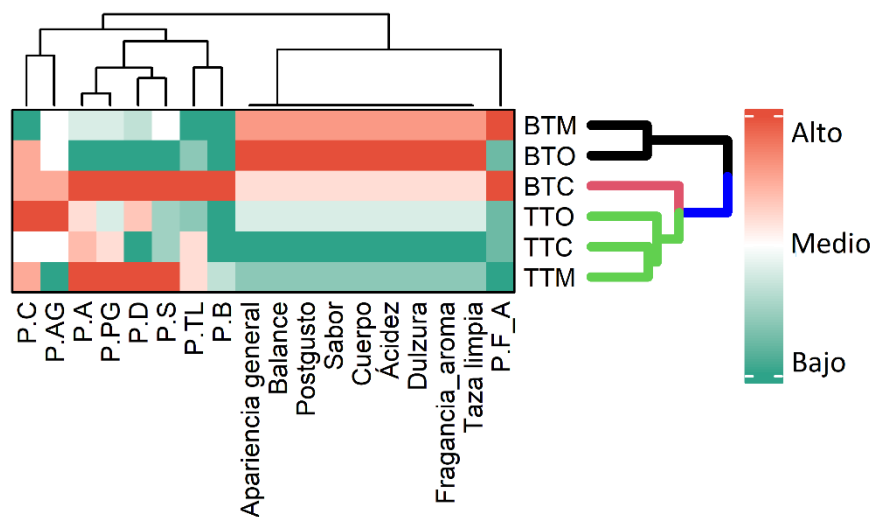


Figura 4. Dendrograma tipo *bootstrap* en cafés Typica y Bourbon con diferentes tipos de tostado
Notas aclaratorias: En el eje X se representan las características sensoriales y en el eje Y los niveles de tostado.

T: Typica; B: Bourbon; P.C: posgusto, cuerpo; P.AG: posgusto, apariencia general; P.A: posgusto, apariencia; P.PG: posgusto, P.D: posgusto, dulzura; P.S: posgusto, sabor; P.TL: posgusto, taza limpia; P.B: posgusto balance; BTM: Bourbon tostado medio; BTO: Bourbon tostado oscuro; BTC: Bourbon tostado claro; TTO: Typica tostado oscuro; TTC: Typica tostado claro; TTM: Typica tostado medio.

Fuente: Elaboración propia

El segundo grupo representa el 66,7 %, que estuvo conformado por Bourbon de tostado claro y oscuro, y Typica de tostado medio y oscuro, donde los calificativos para las bebidas fueron menores que los del primer grupo; la calificación de una bebida está influenciada por diversos factores, el sabor y el aroma se desarrollaron durante el tostado y dependen, principalmente, de la especie de café, el tiempo y la temperatura (Puerta, 1998).

Por otra parte, en el tostado se desarrollan diversas reacciones entre los componentes del grano de café almendra y se generan cientos de compuestos volátiles y sustancias de sabor, que imparten las cualidades sensoriales que se aprecian en la bebida (Puerta, 1998). Algunos de los compuestos que están relacionados con la calidad de claridad y el aroma en las bebidas de café son pyrrole, 1-methyl pyrrole, 2,4-hexanedione, dihydro-2-methyl-3(2H)-furanone, furfural, 2-ethyl-5-methylpyrazine, 2-ethenyl-N-methylpyrazine, 5-methyl-2-propionylfuran, 3-methylbutanal, 2,3-pentanedione y 4-vinylguaiacol, mientras que 1-methyl pyrrole se encuentra en granos defectuosos (Ribeiro et al., 2012).

La investigación desarrollada presenta limitantes, en parte debido a que las diferentes variedades de café poseen distinta constitución fisicoquímica, debido a la diferencia geográfica de las zonas de cultivo, por lo que existen varias perspectivas para realizar diferentes niveles de tostado en cafés obtenidos de diferentes zonas productoras.

Conclusiones

Los grados de tostado del café de las variedades Typica y Bourbon influyeron en el contenido de polifenoles y actividad antioxidante. El grado de tostado claro ofreció un mayor contenido de polifenoles totales y actividad antioxidante, el cual estaría relacionado con la pérdida de humedad de los granos de café, provocando que se concentren los polifenoles totales. Sensorialmente, el tostado claro ofreció las mejores características para el café Typica, mientras que para el café Bourbon fue el tostado claro y el medio, las cuales estarían asociadas al tipo de tostado, así como a las zonas de cultivo y su contenido de metabolitos secundarios.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por el apoyo de uso de los laboratorios para el desarrollo del trabajo de investigación y a la Universidad Nacional Hermilio Valdizán, por la proporción a la información científica para la redacción del artículo científico.

Contribución de los autores

Celinda Huaccha-Herrera: desarrollo de los experimentos en laboratorio y obtención de los resultados; Elizabeth S. Ordoñez: asesoría y orientación durante el desarrollo de las

investigaciones, análisis de resultados, interpretación y revisión del manuscrito; Juan Edson Villanueva-Tiburcio: interpretación de los resultados y elaboración del manuscrito.

Implicaciones éticas

Todos los autores declaran que el trabajo se encuentra en un estado de desarrollo en el que no presenta implicaciones éticas, ni se han violado principios éticos.

Conflicto de interés

Los autores manifiestan que no existen conflictos de interés en este estudio.

Financiación

El trabajo de investigación no recibió subvenciones económicas de agencias de financiación públicas, comerciales o sin fines de lucro.

Referencias

- Abirami, R. G., & Kowsalya, S. (2017). Quantification and correlation study on derived phenols and antioxidant activity of seaweeds from gulf of mannar. *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*, 23(1), 9-17. <https://doi.org/10.1080/10496475.2016.1240132>
- Abraham, A. M., Alnemari, R. M., Brüßler, J., & Keck, C. M. (2021). Improved antioxidant capacity of black tea waste utilizing plantcrystals. *Molecules*, 26(3), 592. <https://doi.org/10.3390/molecules26030592>
- Adhikari, J., Chambers IV, E., & Koppel, K. (2019). Impact of consumption temperature on sensory properties of hot brewed coffee. *Food Research International*, 115, 95-104. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.014>
- Ahmed, G. M., El-Ghamery, H. E., & Samy, M. F. (2013). Effect of green and degree of roasted arabic coffee on hyperlipidemia and antioxidant status in diabetic rats. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 5(5). <http://maxwellsci.com/jp/mspabstract.php?jid=AJFST&doi=ajfst.5.3137>
- Ashihara, H. (2006). Metabolism of alkaloids in coffee plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18(1), 1-8. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100001>
- Bacelar Leite, P., Fonseca Maciel, L. F., França Opretzka, L. C., Soares, S. E., & da Silva Bispo, E. (2013). Phenolic compounds, methylxanthines and antioxidant activity in cocoa mass and chocolates produced from «witch broom disease» resistant and non resistant cocoa cultivars. *Ciência e Agrotecnologia*, 37(3), 244-250. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542013000300007>

- Badmos, S., Fu, M., Granato, D., & Kuhnert, N. (2020). Classification of Brazilian roasted coffees from different geographical origins and farming practices based on chlorogenic acid profiles. *Food Research International*, 134, 109218. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109218>
- Bauer, D., Abreu, J., Jordão, N., Santos da Rosa, J., Freitas-Silva, O., & Teodoro, A. (2018). Effect of roasting levels and drying process of *Coffea canephora* on the quality of bioactive compounds and cytotoxicity. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(11), 3407. <https://doi.org/10.3390/ijms19113407>
- Bertrand, B., Boulanger, R., Dussert, S., Ribeyre, F., Berthiot, L., Descroix, F., & Joët, T. (2012). Climatic factors directly impact the volatile organic compound fingerprint in green Arabica coffee bean as well as coffee beverage quality. *Food Chemistry*, 135(4), 2575-2583. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.06.060>
- Borrelli, R. C., Visconti, A., Mennella, C., Anese, M., & Fogliano, V. (2002). Chemical characterization and antioxidant properties of coffee melanoidins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(22), 6527-6533. <https://doi.org/10.1021/jf025686o>
- Bortholazzi Almeida, M., & de Toledo Benassi, M. (2011). Actividad antioxidante y estimación del contenido de melanoidina en cafés tostados comerciales. *Semina: Ciências Agrárias*, 32(4, supl. 1), 1893-1900. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2011v32n4Sup1p1893>
- Budryn, G., Nebesny, E., Podsedek, A., Żyżelewicz, D., Materska, M., Jankowski, S., & Janda, B. (2009). Effect of different extraction methods on the recovery of chlorogenic acids, caffeine and Maillard reaction products in coffee beans. *European Food Research and Technology*, 228(6), 913-922. <https://doi.org/10.1007/s00217-008-1004-x>
- Buenaventura-Serrano, C. E., & Castaño-Castrillón, J. J. (2002). Influencia de la altitud en la calidad de la bebida de muestras de café procedente del ecotopo 206b en Colombia. *Cenicafé*, 53(2), 119-131.
- Caporaso, N., Whitworth, M. B., Cui, C., & Fisk, I. D. (2018). Variability of single bean coffee volatile compounds of Arabica and robusta roasted coffees analysed by SPME-GC-MS. *Food Research International*, 108, 628-640. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.03.077>
- Cheng, B., Furtado, A., Smyth, H. E., & Henry, R. J. (2016). Influence of genotype and environment on coffee quality. *Trends in Food Science & Technology*, 57, 20-30. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.003>
- Choi, S., Jung, S., & Ko, K. S. (2018). Effects of coffee extracts with different roasting degrees on antioxidant and anti-inflammatory systems in mice. *Nutrients*, 10(3), 363. <https://doi.org/10.3390/nu10030363>
- Chu, Y. F., Brown, P. H., Lyle, B. J., Chen, Y., Black, R. M., Williams, C. E., Lin, Y. C., Hsu, C. W., & Cheng, I. H. (2009). Roasted coffees high in lipophilic antioxidants and chlorogenic acid lactones are more neuroprotective than green coffees. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(20), 9801-9808. <https://doi.org/10.1021/jf902095z>
- Coffee Quality Institute. (2022). *Coffee Quality Institute (CQI) is a non-profit organization working internationally to improve the quality of coffee and the lives of people who produce it.* <https://www.coffeeinstitute.org/>
- Daglia, M., Papetti, A., Gregotti, C., Bertè, F., & Gazzani, G. (2000). *In vitro* antioxidant and *ex vivo* protective activities of green and roasted coffee. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(5), 1449-1454. <https://doi.org/10.1021/jf990510g>

- de Oliveira, G. S. (2006). *Comparação química dos grãos de café (Coffea arabica), sadio e seus grãos PVA (pretos, verdes, ardidos) oriundos do Sul de Minas e do Cerrado Mineiro, submetidos a diferentes graus de torrefação* [tesis de maestría, Universidade Federal de Uberlândia]. SBICafé, Biblioteca do Café. <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/161>
- del Pino García, R. (2011). *Influencia del grado de tostado sobre la capacidad antioxidante y el efecto genoprotector del café soluble: contribución de la fracción de melanoidinas* [tesis de máster en seguridad y biotecnología alimentarias, Universidad de Burgos]. Universidad de Burgos, repositorio institucional. <http://riubu.ubu.es/handle/10259.1/128>
- Dong, W., Hu, R., Chu, Z., Zhao, J., & Tan, L. (2017). Effect of different drying techniques on bioactive components, fatty acid composition, and volatile profile of robusta coffee beans. *Food Chemistry*, 234, 121-130. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.156>
- Duarte, G. S., Pereira, A. A., & Farah, A. (2010). Chlorogenic acids and other relevant compounds in Brazilian coffees processed by semi-dry and wet post-harvesting methods. *Food Chemistry*, 118(3), 851-855. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.05.042>
- Dybowska, E., Sadowska, A., Rakowska, R., Dębowska, M., Świdorski, F., & Świąder, K. (2017). Assessing polyphenols content and antioxidant activity in coffee beans according to origin and the degree of roasting. *Roczniki Panstwowego Zakladu Higieny*, 68(4), 347-353.
- Farah, A., & Donangelo, C. M. (2006). Phenolic compounds in coffee. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18(1), 23-36. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100003>
- Ferrazzano, G. F., Amato, I., Ingenito, A., De Natale, A., & Pollio, A. (2009). Anti-cariogenic effects of polyphenols from plant stimulant beverages (cocoa, coffee, tea). *Fitoterapia*, 80(5), 255-262. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2009.04.006>
- Fonseca-García, L., Calderón-Jaimes, L. S., & Rivera, M. E. (2014). Capacidad antioxidante y contenido de fenoles totales en café y subproductos del café producido y comercializado en norte de Santander (Colombia). *Vitae*, 21(3), 228-236.
- Gamboa, R., Paola, Y., Mosquera, S., Silvio, A., Paz, N., & Iván, E. (2013). Caracterización de taza de café especial en el municipio de Chachagüí, departamento de Nariño, Colombia. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(2), 85-92.
- Gimase, J. M., Thagana, W. M., Kirubi, D. T., Gichuru, E. K., & Kathurima, C. W. (2014). Beverage quality and biochemical attributes of arabusta coffee (*C. arabica* L. x *C. canephora* Pierre) and their parental genotypes. *African Journal of Food Science*, 8(9), 456-464. <https://doi.org/10.5897/AJFS2014.1132>
- Hećimović, I., Belščak-Cvitanović, A., Horžić, D., & Komes, D. (2011). Comparative study of polyphenols and caffeine in different coffee varieties affected by the degree of roasting. *Food Chemistry*, 129(3), 991-1000. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.05.059>
- Jang, H., Ahn, H. R., Jo, H., Kim, K. A., Lee, E. H., Lee, K. W., Jung, S. H., & Lee, C. Y. (2014). Chlorogenic acid and coffee prevent hypoxia-induced retinal degeneration. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(1), 182-191. <https://doi.org/10.1021/jf404285v>
- Jiménez Monreal, A. M., Sánchez Manzanera, M., & Martínez Tomé, M. (2012). Optimización del método captación del radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) para evaluar actividad antioxidante en bebida de café. *Anales de Veterinaria de Murcia*, 28, 67-78. <https://doi.org/10.6018/j/188731>
- Lee, J., Koo, N., & Min, D. B. (2004). Reactive oxygen species, aging, and antioxidative nutraceuticals. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 3(1), 21-33. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2004.tb00058.x>

- Lemos de Morais, S. A., Torres de Aquino, F. J., do Nascimento, E. A., Silva de Oliveira, G., Chang, R., dos Santos, N. C., & Marques Rosa, G. (2008). Análise de compostos bioativos, grupos ácidos e da atividade antioxidante do café arábica (*Coffea arabica*) do cerrado e de seus grãos defeituosos (PVA) submetidos a diferentes torras. *Food Science and Technology*, 28, 198-207. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000500031>
- Lima Filho, T., Lucia, S. M., Henriques Saraiva, S., & Leite, S. (2013). Qualidade sensorial e físico-química dos cafés arábica e conilon. *Enciclopedia Biosfera*, 9(16), 1887-1901.
- Liu, C., Yang, N., Yang, Q., Ayed, C., Linforth, R., & Fisk, I. D. (2019). Enhancing Robusta coffee aroma by modifying flavour precursors in the green coffee bean. *Food Chemistry*, 281, 8-17. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.080>
- Londoño, J., Naranjo, M., & Quintero, M. M. (2013). Estudio de los cambios de la actividad antioxidante en bebidas de café durante su periodo de vida útil usando métodos *in-vitro* y *ex-vivo*. *Vitae*, 20(2). <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=169829161002>
- Malaquias, J. V., Costa Celestino, S. M., & Manaira Ferreira, F. X. (2018). Optimization of the roasting conditions of arabica coffee cultivated in the cerrado area of Brazil. *Brazilian Journal of Food Technology*, 21, e201616. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.16216>
- Martins, S. C. V., Araújo, W. L., Tohge, T., Fernie, A. R., & DaMatta, F. M. (2014). In high-light-acclimated coffee plants the metabolic machinery is adjusted to avoid oxidative stress rather than to benefit from extra light enhancement in photosynthetic yield. *Plos One*, 9(4), e94862. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094862>
- Mestanza, M., Mori-Culqui, P. L., & Chavez, S. G. (2023). Changes of polyphenols and antioxidants of arabica coffee varieties during roasting. *Frontiers in Nutrition*, 10. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1078701>
- Moreira, A. S. P., Nunes, F. M., Domingues, M. R., & Coimbra, M. A. (2012). Coffee melanoidins: structures, mechanisms of formation and potential health impacts. *Food & Function*, 3(9), 903-915. <https://doi.org/10.1039/C2FO30048F>
- Naranjo, M., Vélez, L. T., & Rojano, B. A. (2011). Antioxidant activity of different grades of Colombian coffee. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 16(2), 164-173. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumenL.cgi?IDARTICULO=36127>
- Nebesny, E., & Budryn, G. (2003). Antioxidative activity of green and roasted coffee beans as influenced by convection and microwave roasting methods and content of certain compounds. *European Food Research and Technology*, 217(2), 157-163. <https://doi.org/10.1007/s00217-003-0705-4>
- Nebesny, E., & Budryn, G. (2006). Evaluation of sensory attributes of coffee brews from robusta coffee roasted under different conditions. *European Food Research and Technology*, 224(2), 159-165. <https://doi.org/10.1007/s00217-006-0308-y>
- Nunes, F. M., Cruz, A. C. S., & Coimbra, M. A. (2012). Insight into the mechanism of coffee melanoidin formation using modified “in bean” models. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(35), 8710-8719. <https://doi.org/10.1021/jf301527e>
- Palombini, S. V., Maruyama, S. A., Claus, T., Carbonera, F., de Souza, N. E., Visentainer, J. V., Marques Gomes, S. T., & Matsushita, M. (2013). Evaluation of antioxidant potential of Brazilian rice cultivars. *Food Science and Technology*, 33(4), 699-704. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612013000400015>

- Parras, P., Martínez-Tomé, M., Jiménez, A. M., & Murcia, M. A. (2007). Antioxidant capacity of coffees of several origins brewed following three different procedures. *Food Chemistry*, 102(3), 582-592. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.05.037>
- Pérez-Hernández, L. M., Chávez-Quiroz, K., Medina-Juárez, L. A., & Gámez Meza, N. (2012). Phenolic Characterization, Melanoidins, and Antioxidant Activity of Some Commercial Coffees from *Coffea arabica* and *Coffea canephora*. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 56(4), 430-435.
- Perrone, D., Farah, A., & Donangelo, C. M. (2012). Influence of coffee roasting on the incorporation of phenolic compounds into melanoidins and their relationship with antioxidant activity of the brew. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(17), 4265-4275. <https://doi.org/10.1021/jf205388x>
- Priftis, A., Stagos, D., Konstantinopoulos, K., Tsitsimpikou, C., Spandidos, D. A., Tsatsakis, A. M., Tzatzarakis, M. N., & Kouretas, D. (2015). Comparison of antioxidant activity between green and roasted coffee beans using molecular methods. *Molecular Medicine Reports*, 12(5), 7293-7302. <https://doi.org/10.3892/mmr.2015.4377>
- Prion, S., & Haerling, K. A. (2014). Making sense of methods and measurement: pearson product-moment correlation coefficient. *Clinical Simulation in Nursing*, 10(11), 587-588. <https://doi.org/10.1016/j.ecns.2014.07.010>
- Puerta Quintero, G. I. (1998). Calidad de las variedades de *Coffea arabica* L. cultivadas en Colombia. *Cenicafé*, 49(4), 265-278.
- Puth, M. T., Neuhauser, M., & Ruxton, G. D. (2014). Effective use of Pearson's product-moment correlation coefficient. *Animal Behaviour*, 93, 183-189. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2014.05.003>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, 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), 1231-1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Rebaya, A., Belghith, S. I., Cherif, J. K., & Trabelsi-Ayadi, M. (2016). Total phenolic compounds and antioxidant potential of rokrose (*Cistus salvifolius*) Leaves and Flowers Grown in Tunisia. *International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research*, 8(2), 327-331.
- Ribeiro, J. S., Augusto, F., Salva, T. J. G., & Ferreira, M. M. C. (2012). Prediction models for Arabica coffee beverage quality based on aroma analyses and chemometrics. *Talanta*, 101, 253-260. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2012.09.022>
- Rodrigues, N. P., García Salva, T. J., & Bragagnolo, N. (2015). Influence of coffee genotype on bioactive compounds and the in vitro capacity to scavenge reactive oxygen and nitrogen species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(19), 4815-4826. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b00530>
- Rodrigues de Oliveira, A. P. L., Corrêa, P. C., Reis, E. L., & de Oliveira, G. H. H. (2015). Comparative study of the physical and chemical characteristics of coffee and sensorial analysis by principal components. *Food Analytical Methods*, 8(5), 1303-1314. <https://doi.org/10.1007/s12161-014-0007-4>
- Rodriguez, Y. F. B., Guzman, N. G., & Hernandez, J. G. (2020). Effect of the postharvest processing method on the biochemical composition and sensory analysis of Arabica coffee. *Engenharia Agrícola*, 40(2), 177-183. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v40n2p177-183/2020>

- Sacchetti, G., Di Mattia, C., Pittia, P., & Mastrocola, D. (2009). Effect of roasting degree, equivalent thermal effect and coffee type on the radical scavenging activity of coffee brews and their phenolic fraction. *Journal of Food Engineering*, 90(1), 74-80. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.06.005>
- Sandoval, M., Okuhama, N. N., Angeles, F. M., Melchor, V. V., Condezo, L. A., Lao, J., & Miller, M. J. S. (2002). Antioxidant activity of the cruciferous vegetable Maca (*Lepidium meyenii*). *Food Chemistry*, 79(2), 207-213. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00133-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00133-4)
- Selvamuthu, D., & Das, D. (2018). *Introduction to Statistical Methods, Design of Experiments and Statistical Quality Control*. Springer Singapore. <https://www.springer.com/gp/book/9789811317354>
- Society Coffee Association. (2019). *Coffee Plants of the World*. <https://sca.coffee/research/coffee-plants-of-the-world>
- Sultana, B., Anwar, F., & Ashraf, M. (2009). Effect of extraction solvent/technique on the antioxidant activity of selected medicinal plant extracts. *Molecules*, 14(6), 2167-2180. <https://doi.org/10.3390/molecules14062167>
- Tamilmani, P., & Pandey, M. C. (2015). Optimization and evaluation of phenolic compounds and their antioxidant activity from coffee beans. *International Journal of Advanced Research*, 3(4), 296-306.
- Valadão Vicente, S. J., Queiroz, Y. S., Davidson Gotlieb, S. L., & Ferraz da Silva Torres, E. A. (2014). Stability of phenolic compounds and antioxidant capacity of regular and decaffeinated coffees. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 57(1), 110-118. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132014000100016>
- Valdiviezo Chamorro, R. (2023, febrero 8). Reporte de Exportaciones Diciembre 2022. *Centro de Investigación de Economía y Negocios Globales*. <https://www.cien.adexperu.org.pe/reporte-de-exportaciones-diciembre-2022/>
- Vega, A., De León, J. A., & Reyes, S. M. (2017). Determinación del contenido de polifenoles totales, flavonoides y actividad antioxidante de 34 cafés comerciales de Panamá. *Información Tecnológica*, 28(4), 29-38. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000400005>
- Vignoli, J. A., Bassoli, D. G., & Benassi, M. T. (2011). Antioxidant activity, polyphenols, caffeine and melanoidins in soluble coffee: the influence of processing conditions and raw material. *Food Chemistry*, 124(3), 863-868. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.07.008>
- Vu, D. C., Vo, P. H., Coggeshall, M. V., & Lin, C. H. (2018). Identification and characterization of phenolic compounds in black walnut kernels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(17), 4503-4511. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b01181>
- Wu, H., Lu, P., Liu, Z., Sharifi-Rad, J., & Suleria, H. A. R. (2022). Impact of roasting on the phenolic and volatile compounds in coffee beans. *Food Science & Nutrition*, 10(7), 2408-2425. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2849>
- Yashin, A., Yashin, Y., Wang, J. Y., & Nemzer, B. (2013). Antioxidant and Antiradical Activity of Coffee. *Antioxidants*, 2(4), 230-245. <https://doi.org/10.3390/antiox2040230>