


CAFEÍNA, COMPUESTOS FENÓLICOS Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN GRANOS DE CAFÉ ORGÁNICO (*Coffea arabica*, var. Caturra) SOMETIDOS A TRES TIEMPOS DE TOSTADO, NIRGUA, ESTADO YARACUY, VENEZUELA

CAFFEINE, PHENOLIC COMPOUNDS AND ANTIOXIDANT ACTIVITY IN ORGANIC COFFEE BEANS (*Coffea arabica*, var. Caturra) SUBJECTED TO THREE ROASTING TIMES, NIRGUA, YARACUY STATE, VENEZUELA

FRANKLIN PACHECO-COELLO^{1,2,*}, TONY RABOTTINI-VILLAMIZAR³

Universidad de Carabobo, Facultad de Ciencias de la Salud, Sede Aragua, ¹Escuela de Bioanálisis, Departamento de Ciencias Básicas, Laboratorio de Metales Pesados y Solventes Orgánicos, ²Instituto de Investigaciones Biomédicas "Dr. Francisco J. Triana Alonso" (BIOMED), Maracay, Venezuela, ³Finca "El Fuerte", Venezuela

*Correspondencia: Franklin Pacheco-Coello , E-mail: pachecofranklin74@gmail.com / fpacheco2@uc.edu.ve

RESUMEN

Del grano de café tostado (*Coffea arabica*), se obtiene una de las bebidas más consumidas en el mundo, constituyendo un producto funcional gracias a su diversidad de biomoléculas. La investigación tuvo como objetivo determinar el efecto de tres tiempos de tostados en la concentración de cafeína, compuestos fenólicos y actividad antioxidantes en granos de café verde artesanal. Los granos fueron tostados a 250°C, a tiempos de 10, 12 y 14 min, caracterizados como tostado claro, medio y oscuro. Los analitos de interés se determinaron por espectrofotometría de absorción molecular UV/Visible y para la actividad antioxidante se empleó el método del radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH) y ensayo del poder reductor férrico (FRAP). Los análisis arrojaron que la concentración de cafeína no tuvo variación significativa en los tres tipos de tostados. Se observó diferencia estadística en cuanto al contenido de compuestos fenólicos y flavonoides ($p < 0,05$). Con relación a la actividad antioxidante el extracto acuoso de granos con tostado medio presentó el mayor poder antioxidante (DPPH = 85,34%, FRAP = $113,32 \pm 0,90 \mu\text{mol Fe}^{+2}/\text{g CM}$). Si bien la temperatura y tiempo de tostado es variable de acuerdo con cada empresa y caficultor independiente, se concluye que el proceso de tostado representa un paso fundamental en la expresión de los compuestos con actividad antioxidante.

PALABRAS CLAVE: Grano verde, fenoles, flavonoides, DPPH, FRAP.

ABSTRACT

From the roasted coffee bean (*Coffea arabica*), one of the most consumed beverages in the world is obtained, constituting a functional product thanks to its diversity of biomolecules. The objective of the research was to determine the effect of three roasting times on the concentration of caffeine, phenolic compounds and antioxidant activity in artisan green coffee beans. The beans were roasted at 250°C, at times of 10, 12 and 14 min, characterized as light, medium and dark roast. The analytes of interest were determined by UV/Visible molecular absorption spectrophotometry and the 2,2-diphenyl-1-picrilhydrazil free radical method (DPPH) and the iron reducing power test (FRAP) were used for antioxidant activity. The analyses showed that the caffeine concentration did not vary significantly in the three types of roasts. Statistical difference was observed regarding the content of phenolic and flavonoids compounds ($p < 0.05$). In relation to the antioxidant activity, the water extract of grains with medium roast presented the highest antioxidant power (DPPH = 85.34%, FRAP = $113.32 \pm 0.90 \mu\text{mol Fe}^{+2}/\text{g CM}$). Although the roasting temperature and time vary according to each company and independent coffee grower, it is concluded that the roasting process represents a fundamental step in the expression of compounds with antioxidant activity.

KEY WORDS: Green grain, phenols, flavonoids, DPPH, FRAP.

INTRODUCCIÓN

El grano de café (*Coffea arabica*) es uno de los productos de mayor impacto en la economía mundial y en Venezuela ha construido una cultura cafetera (Del Castillo 2002, Lazcano-Sánchez *et al.* 2015, Pacheco-Coello *et al.* 2020). Esta planta es un arbusto de la familia de las rubiáceas, originario de

África específicamente de Etiopía, que en estado silvestre puede llegar a alcanzar los 10 metros de altura, con hojas encontradas, ovales u oblongas de color verde oscuro (Miranda *et al.* 2007, Chávez *et al.* 2012).

Por otra parte, la cafeína presenta una alta estabilidad durante el tostado del grano de café,

siendo este un proceso clave donde se originan o expresan alrededor de 900 compuestos presentes, muchos de ellos agentes aromáticos volátiles, que le otorgan la mayoría de sus propiedades biológicas (Ribeiro *et al.* 2010, Naranjo *et al.* 2011, De Luca *et al.* 2016, García *et al.* 2016, Poole *et al.* 2017). Numerosos estudios relacionados con el consumo habitual de café en la población general han arrojado resultados positivos a la salud (baja incidencia de diabetes mellitus tipo 2, disminución de cálculos renales, enfermedad de Parkinson, gota, fibrosis hepática, cáncer de hígado), siendo considerada una bebida realmente funcional (Gunter *et al.* 2017, Carlström y Larsson 2018, Cornelis 2020).

Esta breve introducción permite establecer la relación que existe entre el tostado y la actividad biológica de unas de las bebidas más consumidas a nivel mundial. Ante la poca información o estudios publicados en Venezuela se estableció como objetivo evaluar el efecto en la concentración de

cafeína, compuesto fenólicos totales, flavonoides y actividad antioxidante en granos de café verde sometidos a tres tipos de tostado (claro, medio y oscuro).

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

En el estudio se emplearon granos de café verde *Coffea arabica*, variedad Caturra, proporcionados por la finca “El Fuerte” (Fig. 1). El proceso de tostado se realizó por medio de una tostadora industrial de 10 kg de capacidad, la cual debía estar al máximo de su capacidad para poder operar. En este sentido 40 kg correspondiente a un mismo lote de cultivo se dividieron en cuatro partes iguales: 10 kg granos sin tostar, 10 kg de granos para tostado a 10 minutos (min) (tostado claro), 10 kg a 12 min (tostado medio) y 10 kg a 14 min (tostado oscuro). La temperatura de tostado fue de 250°C.



Figura 1. A) Fruto maduro de café o cereza listo para recolección. B) Fruto verde de café no aptos para recolección [Cortesía de Finca “El Fuerte” (*Coffea arabica*, variedad Caturra, cultivo orgánico)].

Extracción de cafeína en granos verdes y tostados

Para la extracción de cafeína se pesaron 30 g de cada material vegetal y transferido a un beaker de 400 mL con 200 mL de agua destilada, en ebullición durante 15 min. Seguidamente, se filtraron las soluciones con papel Whatman n°4 (20-25 µm) y se le añadieron 5 g de Na₂CO₃ hasta su total disolución (Shibamoto y Bjeldanes 2009).

Preparación de los extractos acuosos

Para la obtención del extracto acuoso, se utilizó la metodología propuesta por Jeszka-Skowron *et al.* (2015). Se mezclaron 5 g de la muestra de café con 100 mL de agua destilada y se colocaron en una plancha de calentamiento a una temperatura de 90°C por 5 min. Luego se procedió a filtrar con papel Whatman n°1 y se aforó a 100 mL con agua destilada.

Determinación de la concentración de cafeína

Posterior a la extracción de la cafeína de cada material vegetal se tomaron 2 mL de extracto para la determinación de la absorbancia a una longitud de onda de 273 nm. Así mismo se prepararon las soluciones patrón para la curva de calibrado a concentraciones de 4, 8, 16, 24 y 32 ppm (Sigma Aldrich Co®), para luego ser expresada en miligramos de cafeína por gramos de café molido (mg C/g CM) (Shibamoto y Bjeldanes 2009).

Determinación del contenido de compuestos fenólicos totales

Para la determinación de compuestos fenólicos totales, se utilizó la metodología propuesta por Ayala-Zavala *et al.* (2012). El extracto de café (50 µL), fue mezclado con 3 mL de agua y 250 µL del reactivo Folin Ciocalteu 1N. Se dejó reposar por 8 min para luego adicionar 750 µL de Na₂CO₃ al 20% y 950 µL de agua. Se dejó incubar por 30 min a temperatura ambiente y se procedió a leer las absorbancias en un espectrofotómetro UV/VIS Génesis 20 (Thermo Scientific).

Se preparó una curva de calibración de ácido gálico (ácido 3,4,5-trihidroxibenzoico de Sigma-Aldrich, Co.), con concentraciones de 50, 100, 200, 300, 400, 500 y 1000 ppm, disueltos en agua. Los resultados fueron expresados en miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo de café molido (mg EAG/g CM).

Determinación de flavonoides

La determinación de flavonoides se realizó siguiendo un método colorimétrico, 100 µL de muestra fueron mezclados con 30 µL de NaNO₂ al 5% (p/v), 30 µL de AlCl₃ 10 % (m/v), 200 µL de NaOH a 1M y ajustados con agua destilada hasta un volumen final de 1 mL, se realizó la lectura espectrofotométrica a 510 nm empleando el equipo de absorción molecular Génesis 20 (Thermo Scientific) y se comparó con la curva patrón usando como estándar (+)-catequina (20, 40, 80, 100 y 120 ppm). Los resultados fueron expresados como miligramos de catequina por gramos de café molido (mg C/g CM) (Marinova *et al.* 2005).

Actividad antioxidante

Método del radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH)

Para evaluar la actividad antioxidante se usó el método del radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH) (Sigma Aldrich Co®) con una solución 100 µM de DPPH en metanol al 80%. En una cubeta de cuarzo se colocaron 100 µL de extracto y 2,9 mL de DPPH. La absorbancia se valoró cada 5 min por 30 min a una longitud de onda de 515 nm. La absorbancia de referencia (A₀) fue obtenida al sustituir el volumen de extracto por metanol al 80%. El porcentaje de reducción de DPPH se obtuvo de la expresión: DPPH (%) = (A₀-A_n) 100/A₀, donde A₀ y A_n fueron las absorbancias de referencia y de la muestra, respectivamente (Soler-Rivas *et al.* 2000).

Determinación de la capacidad antioxidante por el ensayo del poder reductor férrico (FRAP)

Este ensayo permite determinar la capacidad reductora de los extractos (Benzie y Strain 1996). Para esto 100 µL de cada extracto se mezcló con 3 mL de reactivo FRAP (300 mM de tampón de acetato de sodio y ácido acético, solución de diamonio de 2,4,6-tri (2-piridil)-s-triazina) de 10 mM y solución FeCl₃ 20 mM), en una relación de volumen de 10: 1: 1. Se dejó reposar a temperatura ambiente durante 4 minutos, para luego leer las absorbancias a 593 nm, empleando un espectrofotómetro UV/VIS Génesis 20 (Thermo Scientific). Se empleó FeSO₄ como estándar y los resultados se expresaron en µmol Fe⁺²/g CM.

Análisis estadístico

Todas las determinaciones se realizaron por triplicado y se expresaron los valores como los promedios ± desviación estándar (DE). Para la comparación de la concentración tanto de cafeína, compuestos fenólicos totales, flavonoides y actividad antioxidante hallada en cada tiempo de tostado respecto al control, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA), prueba de Dunnett usando el programa Statistix 9.0 para Windows.

RESULTADOS

Concentración de cafeína en los extractos

En la Tabla 1 se observa la concentración de cafeína hallada en cada extracto acuoso, sin diferencia estadística entre el control (café verde) y los tres tipos de tostados (*p* > 0,05).

Tabla 1. Concentración de cafeína en los extractos acuosos de café verde y tostado.

Extracto	Café verde	Café tostado		
		Claro	Medio	Oscuro
mg C/g CM	18,15 ± 0,92	17,34 ± 0,18	17,12 ± 0,46	17,90 ± 0,42

Nota: Valores expresados como media y desviación estándar

Concentración de compuestos fenólicos y flavonoides totales

Los análisis arrojaron una mayor concentración de compuestos fenólicos en el extracto acuoso obtenido con granos verdes (extracto control),

observándose que el extracto con granos a tostado de 14 min (tostado oscuro) presentó la menor concentración compuestos fenólicos y flavonoides. Así mismo se observó diferencia estadística entre el control y cada nivel de tostado ($p < 0,05$) (Tabla 2).

Tabla 2. Concentración de compuestos fenólicos (mg EAG/g CM) y flavonoides (mg C/g CM) totales en los extractos acuosos de café verde y tostado.

Extracto	Fenólicos Totales	Flavonoides Totales
	Media ± DE	Media ± DE
Café verde	41,35 ± 0,96	28,32 ± 0,17
Café tostado claro	25,35 ± 1,02	15,42 ± 0,44
Café tostado medio	28,43 ± 0,22	17,32 ± 0,67
Café tostado oscuro	19,23 ± 0,76	10,52 ± 0,28

Nota: Valores expresados como media y desviación estándar (DE)

Evaluación de la actividad antioxidante

La Figura 1 muestra la actividad antioxidante de cada uno de los extractos, observándose una mayor reducción del DPPH por el extracto acuoso, obtenido con granos sometidos a tostado medio (12 min). El análisis estadístico arrojó diferencia estadística entre la actividad antioxidante por este método, entre el extracto de granos verde y el extracto con granos sometidos a tostado oscuro (14 min) ($p = 0,036$). Los datos obtenidos del % de reducción del DPPH, permitieron determinar el

parámetro IC_{50} (concentración a la cual se obtiene el 50% de reducción) de cada extracto acuoso. El análisis estadístico arrojó diferencia significativa entre la actividad de los extractos con diferente nivel de tostado y el extracto de granos verde ($p < 0,05$).

En relación al ensayo FRAP la capacidad reductora de los extractos se observa en la Tabla 3. El análisis estadístico arrojó diferencia significativa ($p = 0,029$).

Tabla 3. Capacidad antioxidante por el ensayo del poder reductor férrico (FRAP) de los extractos acuosos de café verde y tostado.

Extracto	Café verde	Café tostado		
		Claro	Medio	Oscuro
FRAP $\mu\text{mol Fe}^{+2}/\text{g CM}$	178,32 ± 0,99	103,02 ± 0,32	113,32 ± 0,90	89,10 ± 1,12

Nota: valores expresados como media ± desviación estándar

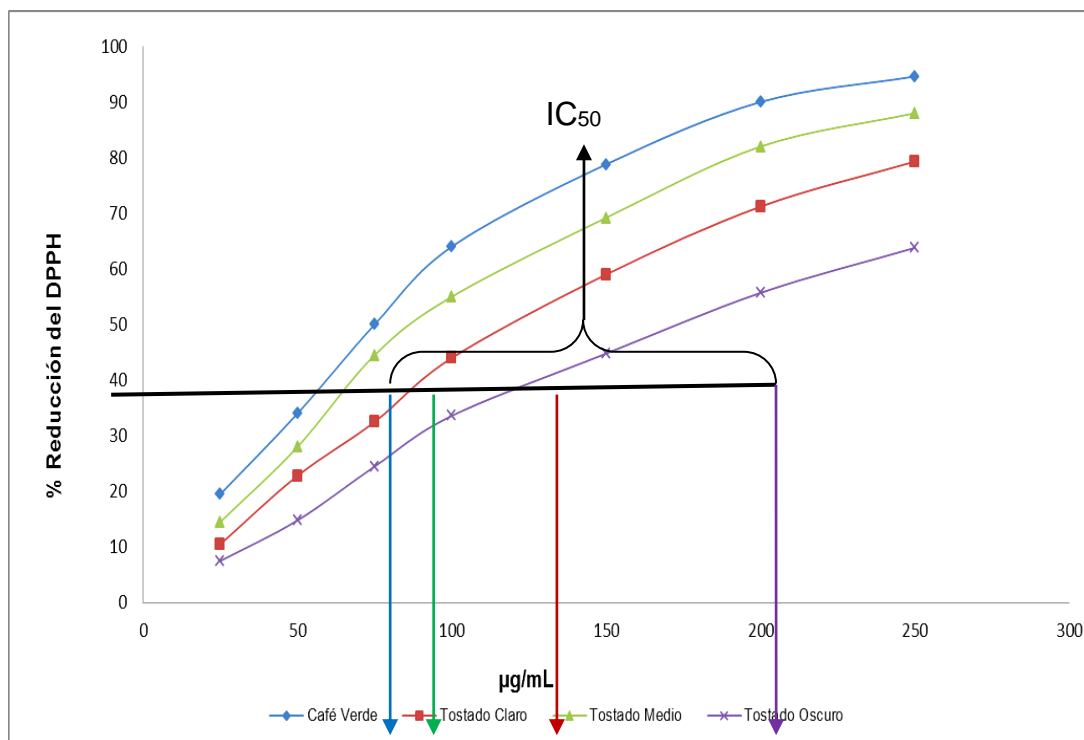


Figura 3. Evaluación de la actividad antioxidante por el método del radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH).

DISCUSIÓN

Diversos estudios han reportado la variación y expresión de las moléculas presentes en el café por el efecto del tostado (Contreras-Calderón *et al.* 2016, Złotek *et al.* 2016, Díaz *et al.* 2018). Este tipo estudio sigue siendo un valioso aporte para la comunidad científica y no científica, ya que si bien, el proceso de tostado es un paso clave para la obtención de un café de calidad existen factores precosecha tales como altitud, suelo, genética de la planta y otros, que juegan un rol fundamental en la calidad de este material vegetal (Abdulmajid 2015, Duicela *et al.* 2017, Atavillos-Domínguez *et al.* 2020). Se pudo evidenciar que la concentración de cafeína no tuvo una variación significativa en los extractos analizados ($p > 0,05$), lo que coincide con lo reportado por Lazcano-Sánchez *et al.* (2015) y Worku *et al.* (2018), en cuyos estudios el contenido de cafeína de los granos sometidos a tostados claro, medio y oscuro disminuyó alrededor del 5% respecto al grano sin tostar.

El café es una fuente importante de antioxidantes naturales en la dieta, como por ejemplo los compuestos fenólicos, los cuales se ven alterados por el proceso de tostado (Rivera *et al.* 2013, Złotek *et al.* 2016). Es apreciable la variación

de los polifenoles en cada tiempo de tostado, los cuales coinciden con la hallado por Odžaković *et al.* (2016) y Król *et al.* (2020), quienes reportaron que entre los tipos de tostado claro, medio y oscuro existen diferencias significativas. Así mismo un aspecto a destacar, es la mayor concentración de compuestos fenólicos totales en el tostado medio y la marcada disminución en el tostado oscuro. Este efecto encuentra su explicación en lo reportado por Kwak *et al.* (2017) y Chávez y Ordoñez (2021), quienes indican que el contenido de compuestos fenólicos totales se incrementa entre el tostado claro y medio, para luego decrecer al aumentar la intensidad del tostado a oscuro. Sin embargo es importante señalar que el café tostado oscuro exhibe un mayor efecto potenciador de la expresión de enzimas antioxidantes o protectoras de las células (Murakami 2014, Karadas *et al.* 2019, Wu *et al.* 2019).

Diversos estudios señalan que para la evaluación de la actividad antioxidante es fundamental la aplicación de dos o más métodos, bien sea químicos o biológicos (Fu *et al.* 2011, Gan *et al.* 2017, Raba *et al.* 2018, Pacheco-Coello *et al.* 2020). En el estudio los tiempos variables de tostado arrojaron que el extracto con tostado medio fue el que presentó mayor actividad antioxidante. Esto nos

permite establecer una asociación entre el contenido de los compuestos fenólicos y otras biomoléculas con capacidad antioxidante que se ven alteradas en su concentración en el proceso de tostado, coincidiendo entonces con lo reportado por Jeszka-Skowron *et al.* (2015), Odžaković *et al.* (2016) y Benigno *et al.* (2018). Un dato adicional obtenido con la determinación del porcentaje de reducción del DPPH fue el IC₅₀ de los extractos, el cual representa la concentración de compuestos fenólicos requerida para reducir 50% del radical libre DPPH (Einbond *et al.* 2004). Esto significa que en el extracto con tostado medio posee una mayor concentración de biomoléculas (Odžaković *et al.* 2016).

CONCLUSIONES

Cada caficultor aplica procedimientos estandarizados que garantizan y definen la calidad de su producto. Considerando los hallazgos del presente estudio se tiene como principal conclusión que independientemente del tipo (oscuro, medio, claro) y tiempo de tostado la concentración de cafeína varía de forma insignificante. A diferencia de la cafeína, otras biomoléculas tipo compuestos fenólicos, sí se ven afectadas en su concentración y por ende la actividad antioxidante del extracto preparado. Este estudio representa un pequeño aporte en aspectos que son desconocidos por muchos caficultores independientes o artesanales y por el propio consumidor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDULMAJID A. 2015. Sensory evaluation of beverage characteristics and biochemical components of coffee genotypes. *Adv. Food. Sci. Technol.* 2(12):281-288.

ATAVILLOS-DOMÍNGUEZ C, REÁTEGUI D, ORDOÑEZ E. 2020. Fenoles totales, capacidad antioxidante y evaluación sensorial en café tostado. *Agroind. Sci.* 10(3):242-248.

AYALA-ZAVALA JF, SILVA-ESPINOZA AB, CRUZ-VALENZUELA RM, VILLEGAS-OCHOA MA, ESQUEDA M, GONZÁLEZ-ÁGUILA GA, CALDERÓN-LÓPEZ Y. 2012. Antioxidant and antifungal potential of metanol extracts of *Phenillus* spp. from Sonora, México. *Rev. Iberoam. Micol.* 29(3):132-138.

BENIGNO ME, FONG LE, BIJU D, MUHARRAM A, DAVIS IM, VELA KO, RIOS D, OSORIO CA, MACENA E, KAUR B, ROJAS S, FORESTER SC.

2018. The impact of the roast levels of coffee extracts on their potential anticancer activities. *J. Food Sci.* 83(4):1125-1130.

BENZIE IFF, STRAIN JJ. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay. *Anal. Biochem.* 239(1):70-76.

CARLSTRÖM M, LARSSON SC. 2018. Coffee consumption and reduced risk of developing type 2 diabetes: A systematic review with meta-analysis. *Nutr. Rev.* 76(6):395-417.

CHÁVEZ A, ORDOÑEZ S. 2021. Influencia de la altitud en la calidad y estabilidad térmica de granos de *Coffea arabica* L. *Agroind. Sci.* 11(1):7-16.

CHÁVEZ K, MEDINA L, GÁMEZ N. 2012. Compuestos fenólicos, melanoidinas y actividad antioxidante de café verde y procesado de las especies *Coffea arabica* y *Coffea canephora*. *Biocencia.* 15(1):51-56.

CONTRERAS-CALDERÓN J, MEJÍA-DÍAZ D, MARTÍNEZ-CASTAÑO M, BEDOYA-RAMÍREZ D, LÓPEZ-ROJAS N, GÓMEZ-NARVÁEZ F, MEDINA-PINEDA Y, VEGA-CASTRO O. 2016. Evaluation of antioxidant capacity in coffees marketed in Colombia: Relationship with the extent of non-enzymatic browning. *Food Chem.* 209(35):162-170.

CORNELIS MC. 2020. Coffee and type 2 diabetes: Time to consider alternative mechanisms? *Am. J. Clin. Nutr.* 111(10):248-249.

DE LUCA S, DE FILIPPIS M, BUCCI R, MAGRÌ A, MAGRÌ A, MARINI F. 2016. Characterization of the effects of different roasting conditions on coffee samples of different geographical origins by HPLC-DAD, NIR and chemometrics. *Microchem. J.* 129(17):348-361.

DEL CASTILLO MA. 2002. Effect of roasting on the antioxidant activity of coffee brews. *J. Agric. Food Chem.* 50(22):3698-3708.

DÍAZ F, ORMAZA A, ROJANO B. 2018. Efecto de la tostión del café (*Coffea arabica* L. var. Castillo) sobre el perfil de taza, contenido de compuestos y la actividad antioxidante. *Inf. Tecnol.* 29(4):31-42.

DUICELA L, VELÁSQUEZ S, FARFAN D. 2017.

- Calidad organoléptica de cafés arábigos en relación a las variedades y altitudes de las zonas de cultivo, Ecuador. Rev. Tecnología Postcosecha. 18(1):67-77.
- EINBOND SL, REYNERTSON AK, XIAO-DONG L, BASILE JM, KENNELLY JE. 2004. Anthocyanin antioxidants from edible fruits. Food Chem. 84(12):23-28.
- FU L, XU BT, XU XR, GAN RY, ZHANG Y, XIA EQ, LI HB. 2011. Antioxidant capacities and total phenolic contents of 62 fruits. Food Chem. 129(1):345-350.
- GAN RY, LI HB, GUNARATNE A, SUI ZQ, CORKE H. 2017. Effects of fermented edible seeds and their products on human health: Bioactive components and bioactivities. Food Sci. 16(29):489-531.
- GARCÍA E, FERNÁNDEZ I, FUENTES A. 2016. Determinación de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu. Rev. Colomb. Cienc. Quim. Farm. 45(1):109-126.
- GUNTER MJ, MURPHY N, CROSS AJ, DOSSUS L, DARTOIS L, FAGHERAZZI G, KAAKS R, KUHN T, BOEING H, ALEKSANDROVA K. 2017. Coffee drinking and mortality in 10 European countries: A multinational cohort study. Ann. Intern. Med. 167(45):236-247.
- JESZKA-SKOWRON M, ZGOLA-GRZESKOWIAK A, GRZESKOWIAK T. 2015. Analytical methods applied for the characterization and the determination of bioactive compounds in coffee. Eur. Food Res. Technol. 24(1):19-31.
- KARADAS O, MESE G, OZCIVICI E. 2019. Cytotoxic tolerance of healthy and cancerous bone cells to anti-microbial phenolic compounds depend on culture conditions. Appl. Biochem. Biotechnol. 188(23):514-526.
- KRÓL K, GANTNER M, TATARAK M, HALLMANN E. 2020. The content of polyphenols in coffee beans as roasting, origin and storage effect. Eur. Food Res. Technol. 24(6):33-39.
- KWAK H, JI S, EONG Y. 2017. The effect of air flow in coffee roasting for antioxidant activity and total polyphenol content. Food Control. 71(19):210-216.
- LAZCANO-SÁNCHEZ E, TREJO-MÁRQUEZ M, VARGAS-MARTÍNEZ M, PASCUAL-BUSTAMANTE S. 2015. Contenido de fenoles, cafeína y capacidad antioxidante de granos de café verdes y tostados de diferentes estados de México. Rev. Iber. Tecnología Postcosecha. 16(2):293-298.
- MARINOVA D, RIBAROVA F, ATANASSOVA M. 2005. Total phenolics and total flavonoids in Bulgarian fruits and vegetables. J. Univ. Chem. Technol. Metal. 40(3):255-260.
- MIRANDA G, VENTURA J, SUAREZ S, FUERTES C. 2007. Actividad citotóxica y antioxidante de los productos de la reacción de Maillard de los sistemas modelo de glucosa, glicina y de glucosa L-lisina. Rev. Soc. Quím. 73(4):215-225.
- MURAKAMI A. 2014. Dose-dependent functionality and toxicity of green tea polyphenols in experimental rodents. Arch. Biochem. Biophys. 557(36):3-10.
- NARANJO M, VÉLEZ LT, ROJANO BA. 2011. Actividad antioxidante de café colombiano de diferentes calidades. Rev. Cubana Plant. Med. 16(2):164-173.
- ODŽAKOVIĆ B, DZINIC N, KUKRIĆ Z, GRUJIĆ S. 2016. Effect of roasting degree on the antioxidant activity of different Arabica coffee quality classes. Acta Sci. Pol. Technol. Aliment. 15(4):409-417.
- PACHECO-COELLO F, TORRES R, ARVELO T, VELÁSQUEZ I. 2020. Variación de la actividad antioxidante por efecto del tostado en granos de café (*Coffea arabica*), estado Miranda, Venezuela. Ciencia, Ambiente y Clima. 3(2):49-56.
- POOLE R, KENNEDY OJ, RODERICK P, FALLOWFIELD JA, HAYES PC, PARKES J. 2017. Coffee consumption and health: Umbrella review of meta-analyses of multiple health outcomes. BMJ. 359(16):1-26.
- RABA DN, CHAMBRE DR, COPOLOVICI DM, MOLDOVAN C, COPOLOVICI LO. 2018. The influence of high-temperature heating on composition and thermo-oxidative stability of the oil extracted from Arabica coffee beans. PLoS ONE. 13(17):1-9.
- RIBEIRO A, ALVARENGA R, ANDRADE S, SILVEIRA S, BORGES F. 2010. Compostos bioativos do café: atividade antioxidante *in vitro* do café

- verde e torrado antes e após a descafeinação. Quim. Nova. 33(1):20-24.
- RIVERA W, VELASCO X, RINCÓN C. 2013. Evaluación por TGA y FTIR de los cambios de composición producidos por la tostión en granos de café. Rev. Colom. Fis. 45(3):205-208.
- SHIBAMOTO T, BJELDANES L. 2009. Principles of toxicology. In: TAYLOR S. (Ed.). Introduction to food toxicology. Elsevier, Nebraska, Lincoln, NE, USA, pp.190-196.
- SOLER-RIVAS C, ESPÍN J, WICHERS H. 2000. An easy and fast test to compare total free radical scavenger capacity of foodstuffs. Phytochem. Anal. 11(1):330-338.
- WORKU M, DE MEULENAER B, DUCHATEAU L, BOECKX P. 2018. Effect of altitude on biochemical composition and quality of green arabica coffee beans can be affected by shade and postharvest processing method. Food Res. Int. 105(63):278-285.
- WU H, CHEN L, ZHU F, HAN X, SUN L, CHEN K. 2019. The cytotoxicity effect of resveratrol: Cell cycle arrest and induced apoptosis of breast cancer 4T1 Cells. Toxins. 11(25):731-744.
- ZŁOTEK U, KARAŚ M, GAWLIK-DZIKI U, SZYMANOWSKA U, BARANIAK B, JAKUBCZYK A. 2016. Antioxidant activity of the aqueous and methanolic extracts of coffee beans (*Coffea arabica* L.). Acta Sci. Pol. Technol. Aliment. 15(3):281-288.