

# CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN LIPÍDICA DEL CAFÉ VERDE EN VARIEDADES MEJORADAS DE *Coffea arabica* L.

Luz Fanny Echeverri Giraldo \*, Aristóteles Ortiz \*\*, Claudia Patricia Gallego Agudelo \*, Luis Carlos Imbachi Quinchua \*\*\*

Echeverri-Giraldo, L. F., Ortiz, A., Gallego, C. P., & Imbachi, L. C., (2020). Caracterización de la fracción lipídica del café verde en variedades mejoradas de *Coffea arabica* L. *Revista Cenicafé*, 71(2), 39-52. <https://doi.org/10.38141/10778/71203>



La fracción lipídica del grano de café, así como los compuestos que la componen, cumplen una función importante en la calidad sensorial del café. Esta investigación tuvo como objetivo caracterizar químicamente, la fracción lipídica del café verde en las variedades Tabi, Cenicafé 1 y Castillo® Naranjal, Castillo® El Tambo y Castillo® Pueblo Bello, procedentes de lotes cultivados en diferentes localidades de Colombia durante dos años de cosecha. Se determinaron los contenidos de lípidos totales, la composición de ácidos grasos (palmitico, esteárico, oleico, linoleico, araquídico) y los isómeros  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -, y  $\delta$ - Tocoferol. Las muestras se evaluaron sensorialmente, de acuerdo con el método empleado por Almacafé, según la norma NTC 4883. El contenido promedio de lípidos totales varió entre 10,7-12,3% en base seca (b.s), presentando diferencias significativas para la variedad Tabi con respecto a las demás variedades. Los contenidos promedios de tocoferoles (vitamina E) estuvieron en el rango entre 40,6-60,2 mg de vitamina E/100 g aceite de café, se destaca el isómero  $\alpha$ -Tocoferol por contenidos superiores a los reportados. En cuanto a la composición de ácidos grasos, se identificaron como ácidos mayoritarios al ácido palmítico con un contenido entre 38,7-40,5%, seguido por el ácido linoleico con un contenido promedio entre 34,1%-37,9%. Respecto a la evaluación sensorial, el atributo impresión global clasificó en promedio la calidad en taza de las variedades como muestras estándar, con valores de rangos de calificación inferiores a 4,5 debido posiblemente a un proceso de poscosecha deficiente, el cual tiene incidencia en la calidad de la bebida.

**Palabras clave:** Variedades de café, ácidos grasos, tocoferoles, lípidos, calidad sensorial.

## CHARACTERIZATION OF THE LIPID FRACTION OF GREEN COFFEE IN IMPROVED VARIETIES OF *Coffea arabica* L.

The lipid fraction of the coffee bean, as well as the compounds that compose it, play an important role in the sensory quality of the beverage. This research was carried out with the purpose of chemically characterize the lipidic fraction of green coffee in the varieties Tabi, Cenicafé 1 and the regional ones Castillo® Naranjal, Castillo® El Tambo and Castillo® Pueblo Bello, coming from plots grown in different locations in Colombia, during two years of harvesting. The total lipid contents, the fatty acid composition (palmitic, stearic, oleic, linoleic, arachidic) and the isomers  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -, and  $\delta$ - Tocopherol were determined. The samples were sensory valuated according to the method used by Almacafé, following the NTC 4883 standard. The average content of total lipids varied between 10.7 - 12.3% in dry base (b.d), presenting significant differences for the Tabi variety with respect to the other varieties. The average contents of tocopherols (vitamin E) were in the range between 40.6 - 60.2 mg of vitamin E/100 g of coffee oil, the  $\alpha$ -Tocopherol isomer stands out for its contents higher than those reported by other authors. Regarding the composition of fatty acids, palmitic acid with a content between 38.7 - 40.5% was identified as the main acid, followed by linoleic acid with an average content between 34.1 - 37.9%. Regarding the sensory evaluation, the global impression attribute classified the average cup quality of the varieties as standard samples, with values of qualification ranges lower than 4.5, possibly due to a poor postharvest process, which has an impact on the quality of the coffee drink.

**Keywords:** Coffee varieties, fatty acids, tocopherols, lipids, sensory quality.

\* Asistente de Investigación. Disciplina Calidad, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-9866-6147> y <https://orcid.org/0000-0002-1532-8055>

\*\* Investigador Científico I. Disciplina de Fisiología Vegetal, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-3242-1948>

\*\*\* Asistente de Investigación. Disciplina de Biometría, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-4356-694X>



La fracción lipídica del grano verde de café, así como los compuestos que la componen, cumplen una función importante en la calidad sensorial de la bebida, los atributos que son expresados durante la evaluación sensorial, se forman a partir de los compuestos químicos (precursores) presentes en los granos de café verde (Selmar et al., 2014). Esta composición depende no sólo de la especie y la variedad (Alvarado et al., 2009; Cheng et al., 2016; Santos et al., 2013; Villarreal et al., 2012) sino de diversos factores agronómicos y ambientales (Barbosa et al., 2012; Bunn et al., 2015; Pereira et al., 2015; Tolessa et al., 2017; Tsegay et al., 2020); de procesos de cosecha, poscosecha y almacenamiento (Bytof et al., 2005; Joët et al., 2010; Ribeiro et al., 2016) y se afecta en los procesos de tostación y preparación de la bebida (Amorim et al., 2009; Farah et al., 2006; Romani et al., 2012).

En la composición química del grano de café verde, la fracción lipídica constituye una parte importante: los lípidos y ácidos grasos que la componen, contribuyen al transporte de los aromas y sabores (Pereira et al., 2015), así como al cuerpo de la bebida y al transporte de vitaminas liposolubles entre las que se encuentra la vitamina E (Oestreich-Janzen, 2010).

Los lípidos del café están presentes principalmente en el endospermo del café y está constituido principalmente por triglicéridos (70%-80%), ésteres de alcoholes diterpénicos y ácidos grasos (15,0% -18,5%) y otros compuestos de baja concentración que aportan entre 0,1%-3,2% de los lípidos totales. La parte externa del grano también contiene una pequeña fracción lipídica denominada cera del café y constituye entre 0,1%-0,3% del peso total de grano (Wilson et al., 1997). La mayor parte de los lípidos contenidos en los grano de café no se degradan durante la tostación, aunque

algunos ácidos grasos liberan subproductos de oxidación, principalmente aldehídos (Puerta, 2011; Puerta Q. & Echeverri G., 2019), los cuales son inducidos por la temperatura, reaccionando con los compuestos intermedios de la reacción de Maillard, proporcionando al café sabor y aroma adicional (Flament, 2001; Illy & Viani, 2005; Puerta Q. & Echeverri G., 2019).

Folstar et al. (1975) y Speer et al. (1993) investigaron los ácidos grasos del café encontrando que la fracción lipídica del café está constituida principalmente por los ácidos grasos: palmítico (C16:0) y linoleico (C18:2) y en menor proporción ácido esteárico (C18:0), oleico (C18:1), araquídico (C20:0) y ácido behénico (C22:0), y algunas trazas de mirístico (C14:0), linolénico (C18:3) y ácido lignocérico (C24:0). Los perfiles de ácidos grasos de los granos de café verde dependen principalmente de la genética, prácticas agronómicas, procesos de cosecha y poscosecha, y factores ambientales (Joët et al., 2010; Martín et al., 2001; Mehari et al., 2019). Dado que estos factores pueden diferir de una región a otra, las concentraciones de ácidos grasos pueden ser útiles para la determinación del origen geográfico del café (Mehari et al., 2019).

Villarreal et al. (2012), estudiaron la composición lipídica en muestras de café verde de diferentes genotipos de *C. arabica*, cosechadas en cinco localidades de la región cafetera colombiana con el fin de determinar el efecto del genotipo y de algunas variables climáticas sobre el contenido en lípidos y en ácidos grasos totales. Los resultados mostraron diferencias significativas ( $p < 0,0001$ ) entre genotipos y entre localidades, con respecto al contenido lipídico total y a los ácidos grasos mayoritarios presentes (linoleico, palmítico, oleico, esteárico, araquídico, linolénico y behénico), encontraron que, al correlacionar los factores climáticos y las variables lipídicas,

había un efecto significativo positivo de la temperatura sobre la composición de los ácidos grasos mayoritarios.

Pereira et al. (2015), investigaron sobre la relación entre la composición de ácidos grasos y las características sensoriales de cuatro genotipos de *C. arabica* cultivados bajo diferentes condiciones edafoclimáticas en Brasil, logrando obtener información sobre qué compuestos afectan positiva o negativamente la calidad de la bebida de café. Los ácidos grasos saturados, incluyendo araquídico, ácido esteárico y ácido palmítico, son posibles discriminadores de la calidad de los cafés especiales, asociados con una mejor calidad sensorial; por el contrario, los ácidos grasos insaturados, incluyendo eláidico, oleico, linoleico y ácido linoléico fueron relacionados con cafés de acidez, fragancia, cuerpo y sabor menos intensos.

Entre las vitaminas liposolubles, se encuentra la vitamina E, e incluye un grupo de ocho moléculas liposolubles: cuatro isoformas del tocoferol y cuatro isoformas del tocotrienol. Químicamente, contienen un anillo de cromanol, con un patrón de sustitución distinto de los grupos metilo ( $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -, y  $\delta$ -), y una cadena lateral de 16 carbonos, saturados o insaturados en tocoferoles y tocotrienoles, respectivamente (Schneider, 2005). Entre las diferentes isoformas de la vitamina E, el alfa-tocoferol es el antioxidante liposoluble predominante *in vivo*. Químicamente, su hidroxilo del anillo de cromanol, puede donar un átomo de hidrógeno a los radicales de peróxido, generando hidroperóxidos lipídicos relativamente estables, protegiendo así de la oxidación a los ácidos grasos poliinsaturados de las membranas y las lipoproteínas (Hochkogler et al., 2019; Niki & Traber, 2012), mientras que en los sistemas celulares activa el factor de transcripción Nrf2 al unirse al elemento de respuesta antioxidante (Masoudi et al.,

2014). Es por esta razón que los tocoferoles son antioxidantes naturales que aumentan la estabilidad de los aceites y cumplen una importante actividad biológica en humanos, es decir, tiene una doble función: por un lado, ejercen una protección antioxidante *in vivo*, protegiendo a los lípidos celulares de la oxidación (actividad de vitamina E), y por otro lado, ejercen una acción *in vitro*, protegiendo al aceite y los alimentos de la degradación oxidativa (Buchanan et al., 2010; Ozturk & Cakmakci, 2006).

Dada la importancia que tiene la fracción lipídica del grano de café, el propósito de esta investigación fue cuantificar los contenidos de lípidos totales del grano de café verde, determinar la composición en ácidos grasos presentes en esa fracción lipídica, medir los contenidos de tocoferoles en las variedades de *C. arabica* cultivadas en Colombia y evaluar su relación con la calidad sensorial del café.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Origen de las muestras.** Se caracterizaron las variedades Tabi, Cenicafé 1 y las regionales Castillo® Naranjal, Castillo® El Tambo y Castillo® Pueblo Bello, procedentes cada una de ellas, de lotes cultivados en cada sitio de origen (Tabla 1). Las muestras fueron recolectadas durante dos años de producción en las cosechas entre el 2017 al 2019, dependiendo de la distribución de la cosecha en cada una de las localidades. De cada cosecha se recolectaron muestras de tres pases: antes, durante y después del pico de cosecha, a partir de frutos 100% maduros, provenientes de mezclas homogéneas según el número de progenies que conforman cada variedad. El proceso poscosecha se realizó en cada una de las Estaciones Experimentales empleando beneficio húmedo estándar con secado mecánico.

**Preparación de las muestras.** Los granos de café verde se obtuvieron mediante proceso de trilla para eliminar el pergamino, se retiraron los defectos físicos e impurezas del grano, y luego se determinó la granulometría empleando diferentes tamices, se seleccionaron solo los granos de café sanos con tamaño superior a 14/64 de pulgada. Para los análisis químicos, el grano de café verde se molió criogénicamente y se almacenó en un congelador a -80°C hasta el momento de los análisis químicos.

Los análisis químicos se realizaron en los laboratorios de la Disciplina de Calidad de Cenicafé (Manizales, Caldas), que se localizan a 5° 0' latitud Norte, 75° 36' longitud Oeste y 1.310 m de altitud, con temperatura media de 21,2°C, temperatura máxima de 27,9°C, temperatura mínima de 17°C y humedad relativa del 82,3%, (Cenicafé, 2018). El análisis sensorial para cada una de las muestras fue realizado en el laboratorio de calidades de Almacafé en Bogotá.

**Variabes de interés.** En el café verde se midieron las concentraciones de lípidos, proporción de ácidos grasos palmítico, linoleico, oleico, esteárico y araquídico en relación con el total de lípidos y el contenido de cada uno de los isómeros alfa, beta y gamma tocoferol. Se empleó el método de referencia AOAC 945.16 (Horwitz et al., 2010) en la determinación de contenidos de lípidos totales, el método AOAC 969.33 (Horwitz et al., 2010) en la determinación de la composición de ácidos grasos y el método propuesto por Echeverri (2012) en la determinación de cada uno de los isómeros de tocoferol. Los datos fueron expresados en base seca.

El análisis sensorial fue realizado según la norma NTC 4883 (ICONTEC, 2000) con el método empleado por Almacafé (Tabla 2) y se evaluaron los atributos de fragancia y aroma, acidez, sabor, sabor residual, cuerpo, balance, taza limpia, balance, dulzor e impresión global.

**Tabla 1.** Origen de las muestras y condiciones climáticas (Cenicafé, 2018).

<b>Varietades</b>	<b>E.E.</b>	<b>Departamento</b>	<b>Municipio</b>	<b>Altitud (m)</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>
Cenicafé 1						
Tabi Castillo® Naranjal	Naranjal	Caldas	Chinchiná	1.381	4° 58' N	75° 39' W
Castillo® Pueblo Bello	Pueblo Bello	Cesar	Pueblo Bello	1.134	10° 25' N	73° 34' W
Castillo® El Tambo	El Tambo	Cauca	El Tambo	1.735	2° 24' N	76° 44' W
<b>Varietades</b>	<b>E.E.</b>	<b>Temp. media anual (°C)</b>	<b>Humedad relativa (%)</b>	<b>Lluvia total (mm)</b>	<b>Días de lluvia</b>	<b>Brillo solar (h)</b>
Cenicafé 1						
Tabi Castillo® Naranjal	Naranjal	21,1	78,8	2834,7	261	1.488,4
Castillo® Pueblo Bello	Pueblo Bello	20,9	80,3	1725,2	143	2.346,0
Castillo® El Tambo	El Tambo	19,0	83,4	2051,0	209	1.567,2

**Tabla 2.** Intervalos de valoración según escala Almacafé.

Clasificación	Intervalos valoración
Muy defectuoso	1,0–1,5
Defectuoso	2,0–2,5
Muy deficiente	3,0–3,5
Deficiente	4,0–4,5
Estándar	5,0–5,5
Bueno	6,0–6,5
Muy bueno	7,0–7,5
Excelente	8,0–8,5
Excepcional	9,0–9,5

**Análisis estadístico.** Para cada una de las variables de interés se estimaron los mínimos, máximos, promedio, desviación estándar, error estándar, intervalo de confianza al 95%, empleando la herramienta estadística Statgraphics v.4.

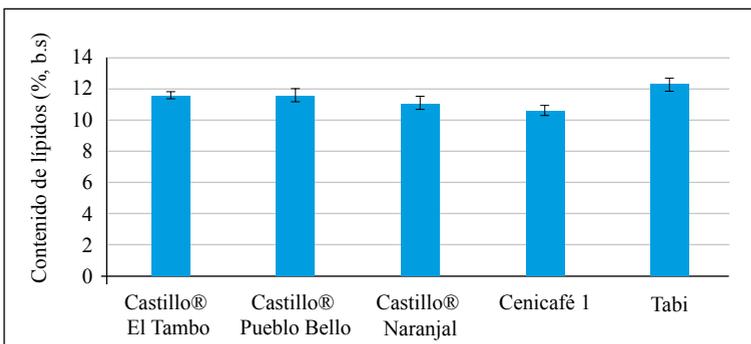
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Lípidos totales.** En la Figura 1 se muestran los promedios de los contenidos en lípidos totales para cada una de las variedades, puede inferirse con un nivel de significancia del 5%, que la variedad Tabi presenta diferencias significativas en sus contenidos promedios en relación con las variedades Castillo® Naranjal y Cenicafé 1 procedentes de un mismo sitio de

origen (Estación Naranjal), pero no presentó diferencias con las variedades procedentes de otras localidades (Castillo® Pueblo Bello y Castillo® El Tambo).

La variedad Tabi proviene de la selección de progenies de los cruzamientos entre el Híbrido de Timor y las variedades Típica y Borbón, por su parte las Variedades Castillo® regionales y Cenicafé 1 se obtuvieron a partir de progenies derivadas del Caturra x Híbrido de Timor (Cortina et al., 2013); en relación a lo anterior, puede explicarse que para un mismo sitio de origen, el contenido de lípidos totales para la variedad Tabi es diferente y como lo han explicado diversos autores (Pereira et al., 2015; Joët et al., 2010; Tsegay et al., 2020; Villarreal et al., 2012), la composición química del grano depende tanto de la variedad como de las condiciones agronómicas y ambientales en las que se establece el cultivo.

En el estudio realizado por Villarreal et al. (2012), se determinaron contenidos de lípidos totales en 11 líneas avanzadas (F5) de *C. arabica*, derivadas del Programa de Mejoramiento Genético de Cenicafé, obtenidas a partir del cruce entre la variedad Caturra y el híbrido de Timor CIFC-1343, estos genotipos fueron recolectados en cinco localidades de Colombia; los autores reportaron contenidos de lípidos totales en el rango entre 11,1% – 16,9%, datos que coinciden con los contenidos



**Figura 1.** Contenido promedio de lípidos totales reportados en porcentaje en base seca, las barras corresponden al intervalo de confianza a un nivel del 95%.

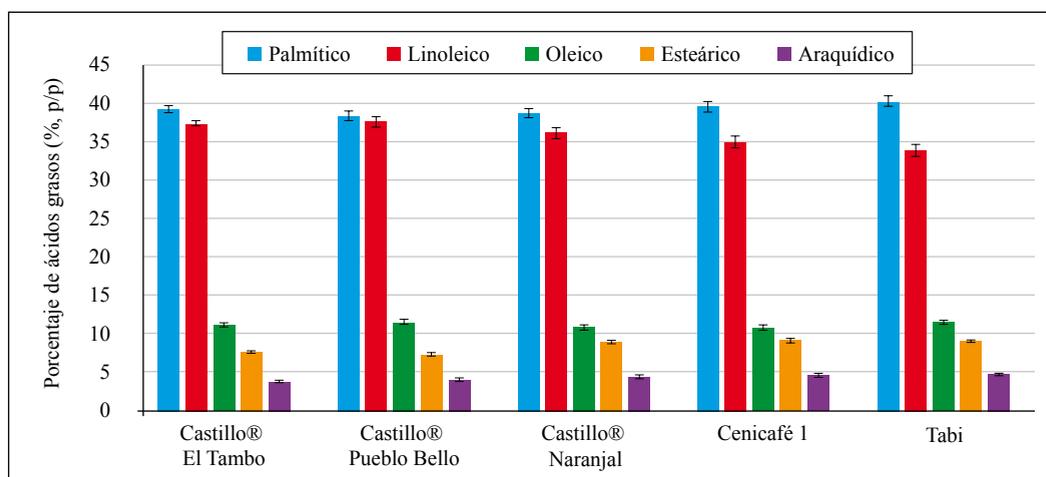
encontrados en este estudio que estuvieron en el rango entre 10,7% – 12,2% (p/p b.s.).

Puerta (2011), en un estudio realizado en diferentes variedades cultivadas en Colombia, encontró para la variedad Colombia fruto amarillo contenidos de lípidos totales de 13,07% y para la variedad Colombia fruto rojo de 14,27%, otros autores como Macrae (1985), reportaron contenidos promedios de lípidos totales para *C. arabica* entre 12% – 18% (p/p b.s.).

**Composición de ácidos grasos.** La composición de ácidos grasos en las muestras de granos de café verde de las cinco variedades estudiadas (Figura 2), concuerdan con los valores reportados en la literatura (Joët et al., 2010; Villarreal et al., 2012; Puerta Q. & Echeverri G., 2019). El ácido palmítico fue el ácido graso más abundante presente en la fracción lipídica del café verde, y representó entre el 38,7%–40,5% de su contenido, seguido por el ácido linoleico con valores entre 34,1%–37,9%, representando así, el 72,8% – 78,4%

del total de ácidos grasos determinados en el grano de café verde. Entre otros ácidos grasos identificados en la fracción lipídica del grano de café, se encontraron el ácido oleico con el 11,0%–11,7%, el ácido esteárico con el 7,5%–9,2%, y el ácido araquídico con el 3,9%–4,9%.

Los valores reportados en esta investigación coinciden con los rangos de valores reportados por Villarreal et al. (2012), quienes realizaron un estudio en diferentes progenies procedentes de la Colección Colombiana de Café, en el que se reportaron contenidos de ácido palmítico entre 31%–43% y entre 31%– 46% para ácido linoleico, los datos también coinciden con los obtenidos en otro estudio realizado por Puerta & Echeverri (2019), en granos de café verde de la variedad Castillo® General cultivada en la Estación Naranjal, en el que se reportó contenidos de ácido palmítico entre el 38,8% – 40,1%, ácido linoleico con valores entre 30,6% – 32,5%, ácido oleico entre 10,4% – 11,9%, ácido esteárico entre 8,5% – 9,2% y ácido araquídico entre 4,2% – 9,3%.



**Figura 2.** Composición de ácidos grasos en la fracción lipídica del café. Los datos corresponden al promedio en porcentaje de ácidos grasos y las barras al intervalo de confianza a un nivel del 95%.

En la investigación realizada por Pereira et al. (2015), los autores indican que los ácidos grasos saturados, como el ácido araquídico, esteárico y palmítico son discriminadores potenciales de la calidad del café relacionados con una mejor calidad sensorial, ya que una de las características deseables de la presencia de ácidos grasos saturados de cadena larga, es que aportan sabor y textura a los alimentos que lo contienen y son más estables a los procesos de oxidación. En esta investigación, para todas las variedades estudiadas, el porcentaje promedio de ácidos grasos saturados (52,2%) fue estadísticamente superior al contenido de ácidos grasos insaturados (47,8%).

Se observa además para el ácido esteárico, que los contenidos fueron estadísticamente iguales a los encontrados para las variedades procedentes de la Estación Naranjal (Castillo® Naranjal, Cenicafé 1 y Tabi), pero estadísticamente diferentes en las variedades procedentes de otras localidades (Castillo® Pueblo Bello y Castillo® El Tambo), comportamiento que coincide con los datos publicados por Villarreal et al. (2012), donde para un mismo genotipo, el contenido de este mismo ácido graso fue superior en el genotipo sembrado en la localidad Naranjal. Lo anterior sugiere una influencia del ambiente en el contenido del ácido esteárico más que de la variedad, factores que están relacionados con la constitución genética, las condiciones ambientales a las que se somete el genotipo y la interacción entre ellos (Pereira et al., 2010).

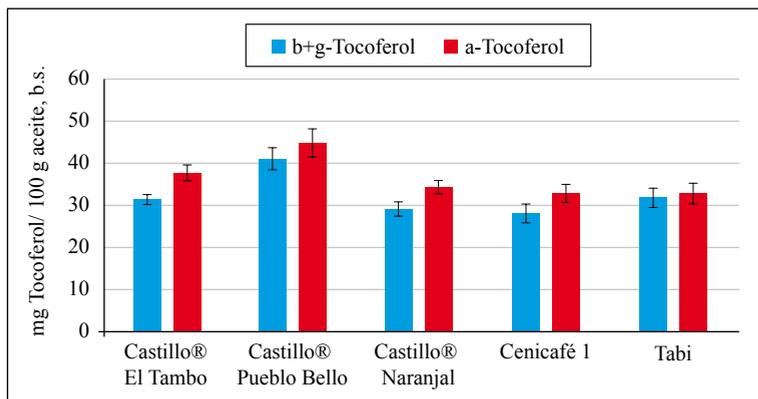
La variedad Tabi presenta diferencias significativas en el contenido de ácido linoleico siendo estadísticamente menor en comparación con las variedades Castillo® Regionales caracterizadas en este estudio (Figura 2), pero su contenido es estadísticamente igual al encontrado para la variedad Cenicafé 1. Los ácidos grasos insaturados, como el ácido linoleico, son más susceptibles a los procesos

de oxidación, lo que afecta las propiedades organolépticas y el almacenamiento del café. Aunque el ácido linoleico constituye el 36,5%, de los ácidos grasos presentes en la fracción lipídica del café, su presencia también representa propiedades benéficas para la salud, ya que en la industria cosmética es empleado por ser un excelente emoliente, ayudando a mantener la humedad natural de la piel, ha sido reportado por sus propiedades terapéuticas en el tratamiento y la cura de la dermatitis y esencial en la nutrición humana, ya que interviene en la síntesis de prostaglandinas y otros procesos biológicos relacionados con la regeneración celular (Beveridge et al., 1999); su ausencia se ha asociado a trastornos dermatológicos (Hurtado-Benavides et al., 2016; Tsegay et al., 2020).

**Contenido de tocoferoles.** Los contenidos para beta-tocoferol ( $\beta$ -T) y gamma – tocoferol ( $\gamma$ -T), se reportan como una mezcla de los dos isómeros (Figura 3), debido al idéntico número de grupos metilo presentes en las formas  $\beta$ -T y  $\gamma$ -T, que difieren sólo en las posiciones en el anillo cromado, lo que no permite diferenciar entre esos tocoferoles al momento de la separación cromatográfica.

La variedad Castillo® Pueblo Bello (Figura 3), presentó el mayor contenido promedio en miligramos de isómeros de tocoferol/100 g de aceite de café, con respecto a las demás variedades; sin embargo, no se presentaron diferencias significativas entre las diferentes isoformas de tocoferol y las variedades estudiadas.

La presencia de tocoferoles en el aceite del grano de café fue reportada por primera vez por Folstar et al. (1977), desde entonces, han sido pocos los estudios realizados sobre estos compuestos en variedades de *C. arabica* y *C. canephora* (Alves, Casal, Alves, et al., 2009; Alves, Casal, & Oliveira, 2009; González



**Figura 3.** Contenidos promedios de isómeros de tocoferol (vitamina E) reportados en base seca, las barras corresponden al intervalo de confianza a un nivel del 95.

et al., 2001; Ogawa et al., 1989; Speer & Kölling-Speer, 2006). En esta investigación los contenidos promedio de isómeros de tocoferol en todas las variedades estuvieron en los rangos entre 32,6–44,8 mg  $\alpha$ - tocoferol/100 g de aceite de café y entre 27,8–40,9 mg de  $\beta$ + $\gamma$ - tocoferol/100 g de aceite de café, superando los valores reportados por Folstar et al. (1977) para el isómero  $\alpha$ - tocoferol, quienes reportaron contenidos de 14 mg  $\alpha$ - tocoferol/100 g de aceite, b.s. y de 46,5 mg  $\beta$ + $\gamma$ - tocoferol/100 g de aceite (b.s) en muestras de café de origen colombiano.

Ogawa et al. (1989) determinaron los contenidos de tocoferoles en 14 muestras de café verde de diferentes proveedores comerciales. El contenido máximo de tocoferoles totales encontrado en el grano de café verde fue de 15,7 mg/100 g y el promedio de 11,9 mg/100 g. Se determinaron contenidos de  $\alpha$ - tocoferol entre 2,3-4,5 mg/100 g y  $\beta$ - tocoferol entre 3,2-11,4 mg/100 g. Las isoformas de  $\gamma$ -y  $\delta$ - tocoferol no se detectaron.

Expresando los resultados de este estudio como microgramos  $\mu$ g de tocoferol/g de café en base seca, los contenidos se encuentran entre (30,37–45,73  $\mu$ g de tocoferol/g) para  $\alpha$ - tocoferol y entre (26,19–41,83  $\mu$ g de tocoferol/g) para  $\beta$ + $\gamma$ - tocoferol, datos que difieren con los

reportados por González et al. (2001) para variedades de *C. arabica* de diferentes orígenes, quienes reportaron concentraciones entre 2,02 – 16,76  $\mu$ g de  $\alpha$ - tocoferol/g de café b.s. y entre 39,74 – 90,61  $\mu$ g de  $\beta$ + $\gamma$ - tocoferol/g de café, b.s., destacándose de nuevo el isómero de  $\alpha$ - tocoferol con contenidos superiores a los reportados por este autor.

Los tocoferoles son antioxidantes naturales que aumentan la estabilidad de los aceites y cumplen una importante actividad biológica en humanos, tienen una doble función: por un lado, ejercen una protección antioxidante *in vivo*, protegiendo a los lípidos celulares de la oxidación (actividad de vitamina E) y, por otro lado, ejercen una acción *in vitro*, protegiendo al aceite y los alimentos de la degradación oxidativa (Buchanan et al., 2010; Ozturk & Cakmakci, 2006).

Gutiérrez & Fernández (2002), señalan que el  $\alpha$ - tocoferol es uno de los antioxidantes naturales que se destruye más fácilmente durante el proceso oxidativo, lograron demostrar que cuando el aceite de oliva es almacenado en condiciones no apropiadas de luz y temperatura, el  $\alpha$ - tocoferol disminuye en su contenido hasta un 97%, datos que fueron confirmados en otro estudio por Echeverri (2012). Lo anterior se explica con base en que los tocoferoles

reaccionan más rápidamente que los ácidos grasos poliinsaturados con los radicales de peróxido y, por lo tanto, rompen la reacción en cadena de la peroxidación de los lípidos estabilizando los radicales libres y retardando los procesos oxidativos y posterior rancidez del producto (Singh et al., 2005), conservando su calidad que se verá reflejada en el análisis sensorial.

En los seres humanos la vitamina E, se ha correlacionado con la prevención de enfermedades como cáncer, cataratas relacionadas con la edad, enfermedad de Parkinson, arterosclerosis, oxidación de lipoproteínas de baja densidad, cardiopatía coronaria y algunas enfermedades inmunológicas (Bramley et al., 2000; Gama et al., 2000; Nelis et al., 2000), dado que actúa como parte integral del sistema de defensa intracelular, por su capacidad para reaccionar con radicales libres ya que posee un grupo hidroxilo fenólico responsable de su actividad estabilizadora de radicales libres. Svilaas et al. (2004) realizaron un estudio sobre la contribución de varios grupos de alimentos a la ingesta total de antioxidantes en la que el café contribuyó con el 64%.

**Caracterización sensorial.** De acuerdo con el análisis sensorial realizado a las muestras procedentes de cada una de las variedades, la impresión global (Tabla 3), referida como la calificación general de la bebida de café y por medio de la cual se acepta o rechaza la calidad del grano, el valor de la mediana se encontró entre 5,0– 5,5, excepto para la variedad Castillo® Pueblo Bello, clasificando las variedades con una calidad sensorial estándar, según la escala de calificación empleada por Almacafé (Tabla 2).

Según el atributo impresión global y de acuerdo con los rangos de calificación obtenidos, se encontró que, en al menos en una de las muestras de cada variedad, se obtuvo una calificación inferior a 4,5 (Figura 4). Muestras con calificaciones bajas sugieren un proceso

de poscosecha deficiente, ya que todas las muestras fueron procesadas a partir de frutos 100% maduros.

De acuerdo con la variedad y para aquellas muestras que registraron en el atributo impresión global calificaciones superiores a 6,0; las muestras presentaron el siguiente perfil en taza:

*Variedad Cenicafé 1:* En el atributo de fragancia/aroma se identificaron descriptores a chocolate dulce y frutales, el atributo sabor residual se caracterizó por su suavidad, la variedad obtuvo un puntaje de acidez de 5,5 y un cuerpo de 6,0.

*Variedad Tabi:* En el atributo fragancia/aroma se identificaron descriptores a chocolate dulce y miel, en el atributo sabor se identificaron descriptores a cítrico y floral, el sabor residual se caracterizó por suavidad y se destaca el atributo cuerpo con un puntaje de 7,0.

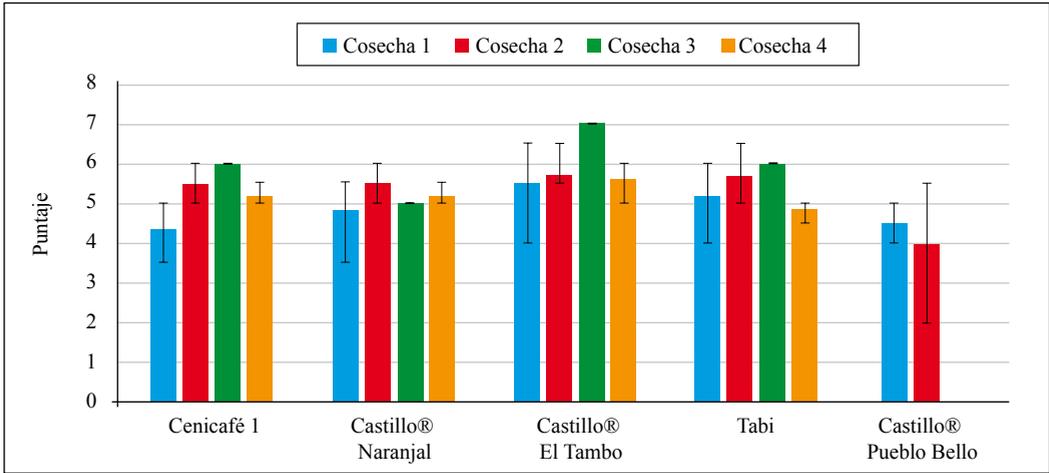
*Variedad Castillo® Naranjal:* En el atributo fragancia/aroma se identificaron descriptores a chocolate amargo, en el atributo sabor se identificaron descriptores a cítrico y aromático, los atributos de acidez y cuerpo obtuvieron una calificación de 6,0 y 6,5 respectivamente.

*Variedad Castillo® Naranjal:* En el atributo fragancia/aroma se identificaron descriptores a chocolate amargo, en el atributo sabor se identificaron descriptores a cítrico y aromático y los atributos de acidez y cuerpo obtuvieron una calificación de 6,0 y 6,5 respectivamente.

*Variedad Castillo® El Tambo:* En el atributo fragancia/aroma se identificaron descriptores a chocolate dulce y miel, en el atributo sabor se identificaron descriptores a menta y miel, el sabor residual se destacó por suavidad y los atributos de acidez y cuerpo obtuvieron una calificación de 6,0 y 7,0 respectivamente.

**Tabla 3.** Atributos sensoriales de las variedades según norma NTC 4883.

Variedad de café	Rango de calificación		Promedio	Mediana
	Min	Max		
<b>Fragancia/Aroma</b>				
Cenicafé 1	3,5	6,0	5,2	5,5
Tabi	4,0	6,0	5,4	5,5
Castillo® Naranjal	4,0	6,0	5,1	5,0
Castillo® El Tambo	5,0	6,0	5,3	5,0
Castillo® Pueblo Bello	4,0	6,0	5,1	5,0
<b>Sabor</b>				
Cenicafé 1	4,5	5,5	5,1	5,0
Tabi	4,5	7,0	5,6	5,5
Castillo® Naranjal	3,5	5,5	5,1	5,3
Castillo® El Tambo	5,0	6,0	5,6	5,5
Castillo® Pueblo Bello	2,0	5,0	4,3	4,5
<b>Sabor Residual</b>				
Cenicafé 1	4,0	6,0	5,2	5,3
Tabi	4,5	7,0	5,5	5,3
Castillo® Naranjal	3,5	6,0	5,2	5,5
Castillo® El Tambo	4,0	6,5	5,5	5,5
Castillo® Pueblo Bello	2,0	5,0	4,2	4,3
<b>Acidez</b>				
Cenicafé 1	4,5	5,5	5,2	5,3
Tabi	4,5	6,0	5,3	5,0
Castillo® Naranjal	4,5	6,0	5,4	5,5
Castillo® El Tambo	5,0	6,0	5,6	5,5
Castillo® Pueblo Bello	3,0	5,0	4,5	4,5
<b>Cuerpo</b>				
Cenicafé 1	3,5	6,0	5,0	5,0
Tabi	4,5	7,0	5,3	5,0
Castillo® Naranjal	3,5	5,5	4,9	5,0
Castillo® El Tambo	4,0	7,0	5,5	5,5
Castillo® Pueblo Bello	2,0	5,0	4,0	4,3
<b>Impresión global</b>				
Cenicafé 1	3,5	6,0	5,1	5,0
Tabi	4,0	6,5	5,3	5,3
Castillo® Naranjal	3,5	6,0	5,2	5,3
Castillo® El Tambo	4,0	7,0	5,8	5,5
Castillo® Pueblo Bello	2,0	5,5	4,3	4,3



**Figura 4.** Los datos corresponden al promedio de tres pases de cada cosecha para el atributo impresión global y las barras a los rangos de calificación obtenidos.

Para concluir y a partir de los resultados encontrados en esta investigación y confirmados por otros autores, que el contenido de lípidos totales depende de la variedad cultivada, es así como, para la variedad Tabi, se presentaron diferencias significativas en sus contenidos promedios de lípidos totales en las variedades Castillo® Naranjal y Cenicafé 1, sembradas en el mismo sitio.

En relación con los ácidos grasos se identificó, específicamente para el ácido esteárico, que para las variedades procedentes de la Estación Naranjal (Castillo® Naranjal, Cenicafé 1 y Tabi), sus contenidos fueron estadísticamente iguales, pero estadísticamente diferentes en las variedades procedentes de otras localidades (Castillo® Pueblo Bello y Castillo® El Tambo), lo que sugiere, específicamente para este ácido graso, una influencia del ambiente más que de la variedad.

En cuanto al contenido de isómeros de vitamina E, se destaca el alfa tocoferol que presentó contenidos superiores a los encontrados por otros autores. La presencia de tocoferoles

es muy importante porque además de ejercer protección antioxidante *in vivo*, protege la fracción lipídica del café de la degradación oxidativa.

Respecto a la evaluación sensorial, el atributo impresión global clasificó en promedio la calidad en taza de las variedades como muestras estándar, se encontraron rangos de calificación muy amplios con valores inferiores a 4,5, lo que sugiere un proceso de poscosecha deficiente, el cual tiene incidencia en la calidad de la bebida, por esta razón es fundamental garantizar la aplicación de las siete prácticas de beneficio recomendadas por FNC (FNC, 2020).

## AGRADECIMIENTOS

Al personal de las Estaciones Naranjal, Pueblo Bello y El Tambo y del laboratorio de Calidad de Cenicafé. Estos resultados son parte de las investigaciones del proyecto CAL104003 “Caracterización de lípidos, ácidos y cafeína en las variedades de café Castillo®, Tabi y Cenicafé 1, sembradas en Colombia” que fue financiado con recursos de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.

## LITERATURA CITADA

- Alvarado, G., Moreno, G.E., Montoya, E.C. & Alarcón, R. (2009). Calidad física y en taza de los componentes de la variedad Castillo® & sus derivadas regionales. *Revista Cenicafé*, 60(3), 210–228. <http://hdl.handle.net/10778/127>
- Alves, R. C., Casal, S., Alves, M. R., & Oliveira, M. B. (2009). Discrimination between arabica and robusta coffee species on the basis of their tocopherol profiles. *Food Chemistry*, 114(1), 295–299. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.08.093>
- Alves, R. C., Casal, S., & Oliveira, M. B. P. P. (2009). Determination of Vitamin E in Coffee Beans by HPLC Using a Micro-extraction Method. *Food Science and Technology International*, 15(1), 57–63. <https://doi.org/10.1177/1082013208102695>
- Amorim, A. C. L., Hovell, A. M. C., Pinto, A. C., Eberlin, M. N., Arruda, N. P., Pereira, E. J., Bizzo, H. R., Catharino, R. R., Morais Filho, Z. B., & Rezende, C. M. (2009). Green and roasted arabica coffees differentiated by ripeness, process and cup quality via electrospray ionization mass spectrometry fingerprinting. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 20(2), 313–321. <https://doi.org/10.1590/S0103-50532009000200017>
- Barbosa, J. N., Borem, F. M., Cirillo, M. A., Malta, M. R., Alvarenga, A. A., & Alves, H. M. R. (2012). Coffee Quality and Its Interactions with Environmental Factors in Minas Gerais, Brazil. *Journal of Agricultural Science*, 4(5), 181–190. <https://doi.org/10.5539/jas.v4n5p181>
- Beveridge, T., Li, T. S. C., Oomah, B. D., & Smith, A. (1999). Sea Buckthorn Products: Manufacture and Composition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(9), 3480–3488. <https://doi.org/10.1021/jf981331m>
- Bramley, P. M., Elmadfa, I., Kafatos, A., Kelly, F. J., Manios, Y., Roxborough, H. E., Schuch, W., Sheehy, P. J. A., & Wagner, K.-H. (2000). Vitamin E. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(7), 913–938. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(20000515\)80:7<913::AID-JSFA600>3.0.CO;2-3](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(20000515)80:7<913::AID-JSFA600>3.0.CO;2-3)
- Buchanan, K., Fletcher, H. M., & Reid, M. (2010). Prevention of striae gravidarum with cocoa butter cream. *International Journal of Gynecology & Obstetrics*, 108(1), 65–68. <https://doi.org/10.1016/j.ijgo.2009.08.008>
- Bunn, C., Läderach, P., Ovalle Rivera, O., & Kirschke, D. (2015). A bitter cup: Climate change profile of global production of Arabica and Robusta coffee. *Climatic Change*, 129(1–2), 89–101. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1306-x>
- Bytof, G., Knopp, S.-E., Schieberle, P., Teutsch, I., & Selmar, D. (2005). Influence of processing on the generation of  $\gamma$ -aminobutyric acid in green coffee beans. *European Food Research and Technology*, 220(3–4), 245–250. <https://doi.org/10.1007/s00217-004-1033-z>
- Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2019). *Anuario meteorológico cafetero 2018*. Cenicafé. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/660/16/Anu2018.pdf>
- 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>
- Echeverri, L. F. (2012). *Análisis de la composición de ácidos grasos y de isómeros de tocoferol (vitamina E) y evaluación de la actividad antioxidante de la manteca de Theobroma cacao L.* Universidad Tecnológica de Pereria.
- Farah, A., Monteiro, M. C., Calado, V., Franca, A. S., & Trugo, L. C. (2006). Correlation between cup quality and chemical attributes of Brazilian coffee. *Food Chemistry*, 98(2), 373–380. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.032>
- Cortina G., H.A, Acuña Z., J. R., Moncada B., Mdel P., Herrera P., J. C., Molina V., D, M (2013). Variedades de café Desarrollo de variedades: 169-202. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (Ed.), *Manual del cafetero colombiano: investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura* (Vol. 1, pp. 169–202). Cenicafé.
- Federación Nacional de Cafeteros. (2020, julio 23). *Guía de buenas prácticas de poscosecha para café lavado colombiano*. Actualidad Cafetera. <https://federaciondefcateros.org/wp/blog/guia-de-buenas-practicas-de-poscosecha-para-cafe-lavado-colombiano-microprocesadores/>
- Flament, I. (2001). *Coffee flavor chemistry*. John Wiley & Sons.
- Folstar, P., Pilnik, W., De Heus, J., & Van Der Plas, H. C. (1975, June 9-14). The composition of the fatty acids in coffee oil and coffee wax. Proceedings of 7th International Scientific Colloquium on Coffee. Hamburg, Germany.

- Folstar, P., Van der Plas, H. C., Pilnik, W., & De Heus, J. G. (1977). Tocopherols in the unsaponifiable matter of coffee bean oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 25(2), 283–285. <https://doi.org/10.1021/jf60210a041>
- Gama, P., Casal, S., Oliveira, B., & Ferreira, M. A. (2000). Development of an hplc/diode-array/fluorimetric detector method for monitoring tocopherols and tocotrienols in edible oils. *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies*, 23(19), 3011–3022. <https://doi.org/10.1081/JLC-100101839>
- González, A. G., Pablos, F., Martín, M. J., León-Camacho, M., & Valdenebro, M. S. (2001). HPLC analysis of tocopherols and triglycerides in coffee and their use as authentication parameters. *Food Chemistry*, 73(1), 93–101. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00282-X](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00282-X)
- Gutiérrez, F., & Fernández, J. L. (2002). Determinant Parameters and Components in the Storage of Virgin Olive Oil. Prediction of Storage Time beyond Which the Oil Is No Longer of “Extra” Quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(3), 571–577. <https://doi.org/10.1021/jf0102158>
- Hochkogler, C. M., Schweiger, K., Rust, P., Pignitter, M., Rathmayr, J., Bayer, S., Chmelirsch, C., Hüller, L., Marko, D., Lang, R., Hofmann, T., Kurz, A. C., Bytof, G., Lantz, I., Schipp, D., & Somoza, V. (2019). Daily consumption of a dark-roast coffee for eight weeks improved plasma oxidized LDL and alpha-tocopherol status: A randomized, controlled human intervention study. *Journal of Functional Foods*, 56, 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.02.009>
- Horwitz, W., Latimer, G. W., & Association of Official Analytical Chemists. (2010). *Official methods of analysis of AOAC international* (18th ed.). AOAC International.
- Hurtado-Benavides, A., Dorado, D., & Sánchez-Camargo, A. del P. (2016). Study of the fatty acid profile and the aroma composition of oil obtained from roasted Colombian coffee beans by supercritical fluid extraction. *The Journal of Supercritical Fluids*, 113, 44–52. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2016.03.008>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2000). *NTC 4883:2000 Análisis sensorial. Café. Metodología para análisis sensorial cuantitativo descriptivo del café*. <https://tienda.icontec.org/gp-analisis-sensorial-cafe-metodologia-para-analisis-sensorial-cuantitativo-descriptivo-del-cafe-ntc4883-2000.html>
- Illy, A., & Viani, R. (2005). *Espresso coffee: The science of quality*. Academic Press. <https://www.elsevier.com/books/espresso-coffee/illy/978-0-12-370371-2>
- Joët, T., Laffargue, A., Descroix, F., Doubeau, S., Bertrand, B., Kochko, A. de, & Dussert, S. (2010). Influence of environmental factors, wet processing and their interactions on the biochemical composition of green Arabica coffee beans. *Food Chemistry*, 118(3), 693–701. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.05.048>
- Macrae, R. (1985). Nitrogenous components. En R. J. Clarke & R. Macrae (Eds.), *Coffee: Volume 1: Chemistry* (pp. 115–152). Springer Netherlands.
- Martín, M. J., Pablos, F., González, A. G., Valdenebro, M. S., & León-Camacho, M. (2001). Fatty acid profiles as discriminant parameters for coffee varieties differentiation. *Talanta*, 54(2), 291–297. [https://doi.org/10.1016/S0039-9140\(00\)00647-0](https://doi.org/10.1016/S0039-9140(00)00647-0)
- Masoudi, S., Ploen, D., Kunz, K., & Hildt, E. (2014). The adjuvant component  $\alpha$ -tocopherol triggers via modulation of Nrf2 the expression and turnover of hypocretin in vitro and its implication to the development of narcolepsy. *Vaccine*, 32(25), 2980–2988. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2014.03.085>
- Mehari, B., Redi-Abshiro, M., Chandravanshi, B. S., Combrinck, S., McCrindle, R., & Atlabachew, M. (2019). GC-MS profiling of fatty acids in green coffee (*Coffea Arabica* L.) beans and chemometric modeling for tracing geographical origins from Ethiopia. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(8), 3811–3823. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9603>
- Nelis, H. J., D’Haese, E., & Vermis, K. (2000). Vitamin E. En De Leenheer A.P., Lambert W.E. & Bocxlaer J.F.V. (Eds.), *Modern Chromatographic Analysis Of Vitamins: Revised And Expanded* (Vol. 84, p. 140). Taylor & Francis.
- Niki, E., & Traber, M. G. (2012). A History of Vitamin E. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 61(3), 207–212. <https://doi.org/10.1159/000343106>
- Oestreich-Janzen, S. (2010). Chemistry of Coffee. En *Comprehensive Natural Products II* (pp. 1085-1117). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-008045382-8.00708-5>
- Ogawa, M., Kamiya, C., & Iida, Y. (1989). Contents of tocopherols in coffee beans, coffee infusions and instant coffee. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, 36(6), 490–494. [https://doi.org/10.3136/nshkk1962.36.6\\_490](https://doi.org/10.3136/nshkk1962.36.6_490)

- Ozturk, S., & Cakmakci, S. (2006). The effect of antioxidants on butter in relation to storage temperature and duration. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 108(11), 951–959. <https://doi.org/10.1002/ejlt.200600089>
- Pereira, M. C., Chalfoun, S. M., Carvalho, G. R. de, & Savian, T. V. (2010). Multivariate analysis of sensory characteristics of coffee grains (*Coffea Arabica* L.) in the region of upper Paranaíba. *Acta Scientiarum Agronomy*, 32(4), 635–641. <https://doi.org/10.4025/actasciagr.v32i4.4283>
- Pereira, L., Meira, F., Carmanini, F., Silva, G., Silva Taveira, J. H., & Ribeiro, M. (2015). Fatty acid profiles and parameters of quality of specialty coffees produced in different Brazilian regions. *African Journal of Agricultural Research*, 10(35), 3484–3493. <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.9697>
- Puerta, G. I. (2011). Composición química de una taza de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 414, 1–12. <http://hdl.handle.net/10778/340>
- Puerta, G. I., & Echeverri, L. F. (2019). Relaciones entre las concentraciones de compuestos químicos del café y las temperaturas de torrefacción. *Revista Cenicafé*, 70, 67–80. <http://hdl.handle.net/10778/4217>
- Ribeiro, D. E., Borem, F. M., Cirillo, M. A., Bernardes, M. V., Ferraz, V. P., Ramos, H. M., & Silva Taveira, J. H. (2016). Interaction of genotype, environment and processing in the chemical composition expression and sensorial quality of Arabica coffee. *African Journal of Agricultural Research*, 11(27), 2412–2422. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.10832>
- Romani, S., Cevoli, C., Fabbri, A., Alessandrini, L., & Dalla Rosa, M. (2012). Evaluation of Coffee Roasting Degree by Using Electronic Nose and Artificial Neural Network for Off-line Quality Control. *Journal of Food Science*, 77(9), C960–C965. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02851.x>
- Schneider, C. (2005). Chemistry and biology of vitamin E. *Molecular Nutrition & Food Research*, 49(1), 7–30. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200400049>
- Santos, M. B., Garcia, V. R., Nogueira, J. V., Good, C. S. (2013). Sensory attributes and physico-chemical characteristics of the coffee beverage from the IAPAR cultivars. *Coffee Science*, 8(1), 6–16. <https://doi.org/10.25186/cs.v8i1.297>
- Selmar, D., Kleinwächter, M., & Bytof, G. (2014). Metabolic responses of coffee beans during processing and their impact on coffee flavor. In R. F. Schwan & G. H. Fleet (Eds.), *Cocoa and coffee fermentations* (pp.73–81). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b17536-17>
- Singh, U., Devaraj, S., & Jialal, I. (2005). Vitamin E, oxidative stress, and inflammation. *Annual Review of Nutrition*, 25(1), 151–174. <https://doi.org/10.1146/annurev.nutr.24.012003.132446>
- Speer, K., Sehat, N., & Montag, A. (1993, June 6-11). Fatty acids in coffee. Proceedings of 15th International Scientific Colloquium on Coffee. Montpellier, France.
- Speer, Karl., & Kölling-Speer, I. (2006). The lipid fraction of the coffee bean. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18(1), 201–216. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100014>
- Svilaas, A., Sakhi, A. K., Andersen, L. F., Svilaas, T., Ström, E. C., Jacobs, D. R., Ose, L., & Blomhoff, R. (2004). Intakes of Antioxidants in Coffee, Wine, and Vegetables Are Correlated with Plasma Carotenoids in Humans. *The Journal of Nutrition*, 134(3), 562–567. <https://doi.org/10.1093/jn/134.3.562>
- Tolessa, K., D’heer, J., Duchateau, L., & Boeckx, P. (2017). Influence of growing altitude, shade and harvest period on quality and biochemical composition of Ethiopian specialty coffee: Quality and biochemical composition of Ethiopian specialty coffee. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(9), 2849–2857. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8114>
- Tsegay, G., Redi-Abshiro, M., Chandravanshi, B. S., Ele, E., Mohammed, A. M., & Mamo, H. (2020). Effect of altitude of coffee plants on the composition of fatty acids of green coffee beans. *BMC Chemistry*, 14(1), 36. <https://doi.org/10.1186/s13065-020-00688-0>
- Villarreal, D., Baena, L. M., & Posada, H. E. (2012). Análisis de lípidos y ácidos grasos en café verde de líneas avanzadas de Coffea arábica cultivadas en Colombia. *Revista Cenicafé*, 63(1), 19–40. <http://hdl.handle.net/10778/520>
- Wilson, A. J., Petracco, M., & Illy, E. (1997, July 20-25). Some preliminary investigations of oil biosynthesis in the coffee fruit and its subsequent re-distribution within green and roasted beans. Proceedings 17th International scientific Colloquium on Coffee. Nairobi, Kenya