



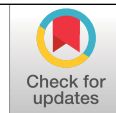


# EFFECTO DE LAS TEMPERATURAS Y TIEMPOS DE TUESTE EN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CAFÉ

Valentina Osorio Pérez \*, Jenny Paola Pabón Usaquén \*\*, Claudia Patricia Gallego Agudelo \*\*,  
Luz Fanny Echeverri-Giraldo \*\*

Osorio, V., Pabón, J., Gallego, C. P., & Echeverri, L. F. (2021). Efecto de las temperaturas y tiempos de tueste en la composición química del café. *Revista Cenicafé*, 72(1), e72103. <https://doi.org/10.38141/10778/72103>



En el proceso de tostación, el café es sometido a diferentes temperaturas y tiempos donde se producen diversos cambios químicos fundamentales en la constitución de los componentes responsables del aroma y el sabor característico del café. En esta investigación se evaluó el efecto de la interacción temperatura y tiempo de tueste en la calidad de seis variedades de *Coffea arabica* mejoradas. Se generaron cinco curvas de tueste, la curva base tuvo una temperatura inicial de 200°C, dos curvas con incrementos de temperatura a 215 y 230°C, y dos curvas con disminución de la temperatura a 185 y 170°C. Los tiempos finales de tueste se encontraron entre 8 y 12 minutos, definidos por el color del grano tostado 55-65 en la escala AGTRON/SCA. Empleando técnicas analíticas como la espectrofotometría de ultravioleta visible UV-VIS, cromatografía líquida de alta resolución – HPLC y cromatografía de gases CG, se determinó la composición química del café: lípidos, ácidos grasos, ácidos carboxílicos alifáticos, alcaloides, ácidos clorogénicos totales y azúcares. La interacción del tiempo de tueste y la variedad tuvo efecto en los lípidos, los ácidos acético, quínico, málico y cítrico, para los ácidos grasos oleico, palmítico y para la cafeína y trigonelina. Los ácidos clorogénicos totales no mostraron efecto de los tratamientos y se obtuvieron valores promedio entre 1,54% a 1,69%.

**Palabras clave:** Tostación, calidad, temperatura, HPLC, UV-VIS, cromatografía de gases.

## EFFECT OF ROASTING TEMPERATURES AND TIME ON THE CHEMICAL COMPOSITION OF COFFEE

During the roasting process, coffee is subjected to different temperatures and times, which produces diverse fundamental chemical changes in the structure of the compounds responsible for the aroma and characteristic flavor of coffee. In this research, the effect of the interaction between roasting temperature and time on the quality of six varieties of improved *Coffea arabica* was evaluated. Five roasting curves were generated, the base curve had an initial temperature of 200°C, two curves had temperature increases at 215°C and 230°C, and two curves had temperature decreases at 185°C and 170°C. The final roasting times were found between 8 and 12 minutes and were defined by the roasted bean color 55-65 on the AGTRON/SCA scale. Analytical techniques such as UV-VIS spectrophotometry, high performance liquid chromatography - HPLC and GC gas chromatography were used to determine the chemical composition of coffee: lipids, fatty acids, aliphatic carboxylic acids, alkaloids, total chlorogenic acids and sugars. The interaction of roasting time and variety had an effect on lipids, acetic, quinic, malic and citric acids, oleic and palmitic fatty acids, caffeine and trigonelline. Total chlorogenic acids showed no effect of the treatments and average values between 1.54% and 1.69% were obtained.

**Keywords:** roasting, quality, temperature, HPLC, UV-VIS, gas chromatography.

\* Investigador Científico I. Disciplina de Calidad, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-1166-0165>

\*\* Asistente de Investigación. Disciplina de Calidad, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0003-1576-2297>; <https://orcid.org/0000-0002-1532-8055> y <https://orcid.org/0000-0002-9866-6147>, respectivamente.



La calidad de la bebida de café está relacionada con la composición química de los granos tostados, que a su vez está influenciada por los componentes del café almendra (Vitorino et al., 2001), la cual depende de la variedad, el origen, el clima y los procesos poscosecha. El café almendra no posee el olor característico del café y para generarlo debe someterse a temperaturas que varían entre 100 y 200°C. Durante este proceso, denominado tostación, los granos aumentan en volumen (50%-80%), se produce una pérdida de peso del 11% al 20%, su estructura se vuelve frágil y se desarrolla el color marrón (Belitz & Grosch, 2009).

Durante el tostado se distinguen cuatro fases principales: secado, desarrollo, descomposición y tostado completo. Los cambios iniciales se producen cercanos a 50°C cuando las proteínas se desnaturalizan y el agua se evapora. El tostado se produce por encima de 100°C debido a la pirólisis de los compuestos orgánicos; alrededor de los 150°C se produce una liberación de productos volátiles que generan un aumento del volumen. La fase de descomposición, comienza en 180-200°C, se reconoce por el estallido del grano o crepitación y la liberación del aroma del café. Por último, con una caramelización óptima, se logra la fase de tostado completo, durante la cual el contenido de humedad de los granos desciende entre 1,5% al 3,5% (Belitz & Grosch, 2009).

La tostación es una operación que genera cambios físicos, químicos y sensoriales (Nakilcioğlu-Taş & Ötleş, 2019). Las variables más comunes para su control son: el tiempo, la pérdida de peso y las diversas mediciones de color como la luminosidad y la escala Agrtron (Dias & Benassi, 2015). El grado de tueste es un importante parámetro para evaluar la calidad del producto final, aunque aún no hay consenso sobre la relación entre los parámetros para controlar el proceso y los indicadores

de color, lo que hace difícil la comparación de datos (Dias & Benassi, 2015).

El tueste implica un cambio completo del contenido químico del café (De Luca et al., 2016), se desarrollan diversas reacciones entre los componentes del grano, los polisacáridos disminuyen, la sacarosa se degrada, las proteínas disminuyen, los lípidos y la cafeína permanecen cercanos a su proporción inicial, la trigonelina y los ácidos clorogénicos disminuyen, los ácidos y las cenizas aumentan y las melanoidinas se crean (Puerta, 2011). Las diferencias en las concentraciones de precursores de aromas como las proteínas, carbohidratos y ácidos clorogénicos en el café verde de la misma variedad, corresponde a diferentes calidades después del tostado (Franca et al., 2005).

La expresión de la calidad sensorial depende considerablemente del proceso de tostación, según las diferentes combinaciones de temperaturas y tiempos que se puedan dar, con una misma materia prima, la bebida de café resultante será diferente desde el punto de vista fisicoquímico y sensorial. Estos cambios normalmente están asociados al grado de tueste, que es una importante medida para evaluar la calidad del producto final, pero aún hoy no existe consenso sobre los parámetros para controlar durante el proceso: tiempo, temperatura, pérdida de peso y los parámetros de color, lo que hace difícil la generación de procedimientos estándar. Los estudios que muestran diferencias tanto en las características físicas como químicas de las muestras de café, están influenciados por el nivel de tueste.

La acidez del café ha sido reconocida como uno de los principales atributos de calidad y se genera en cierta medida por los ácidos carboxílicos alifáticos. El café verde de la especie arábica contiene el 0,5% de ácido cítrico, el 0,5% de ácido málico, el 0,2% de

ácido oxálico y el 0,4% de ácido tartárico (Clarke & Macrae, 1985). La formación de los ácidos alifáticos, pequeños en cantidad, del orden del 1,5%-2,5%, dependen del nivel de tueste (Clarke & Vitzthum, 2001). Gloess et al. (2014) reportan que el contenido total de los ácidos orgánicos permanece más o menos constante en los grados de tueste ligero a medio y cambia de un grado de tueste medio a un grado de tueste oscuro. El contenido de ácido quínico y láctico aumenta con un grado de tueste más oscuro, así como la disminución del ácido cítrico, málico y fórmico.

Con respecto a los ácidos clorogénicos (CGA), este proceso provoca una degradación asociada con la formación de nuevos antioxidantes como los productos de la reacción de Maillard (Budryn et al., 2015). El principal representante de los CGA es el ácido 5-cafeoilquínico (5-CQA), contribuye a la calidad, pero existe una amplia variación en el contenido para los cafés con un grado de tuestado similar (Zanin et al., 2016). El contenido total de CGA puede variar según la especie, el grado de maduración, las prácticas agrícolas, el clima y el suelo (Bauer et al., 2018). Según lo reportado por Budryn et al., 2015, la elevación de la temperatura de tueste por encima de 203°C da lugar a una mayor degradación de los CQA (37%-54%) incluso cuando se utilizan tiempos más cortos. La alta correlación entre la degradación del 5-O-CQA y la disminución de la coordenada de color L\*, sugiere que los productos de la degradación de este compuesto están fuertemente involucrados en la formación de pigmentos oscuros.

La cafeína es estable al tostarse, pero una pequeña parte se pierde por sublimación (Bauer et al., 2018). La trigonelina está presente en el café verde hasta un 0,6% y se descompone en un 50% durante la torrefacción (Belitz & Grosch, 2009), de acuerdo con Clarke y Macrae (1985) debe esperarse una degradación del 50%

al 80%, dependiendo tanto del tiempo como de la temperatura de tuestado. El contenido restante es de alrededor del 50% en un tuestado claro, con trazas en un tuestado muy oscuro (Illy & Viani, 2005).

Durante el tueste, una proporción de los polisacáridos se degrada en fragmentos que son solubles. La sacarosa presente en el café almendra se descompone hasta concentraciones de 0,4%-2,8% (Belitz & Grosch, 2009). De los monosacáridos y disacáridos, tras el tuestado sólo quedan trazas de azúcares libres. La sacarosa es parcialmente hidrolizada, el resto es caramelizado. A partir de los azúcares reductores se forman volátiles y no volátiles (melanoidinas) por la reacción de Maillard y, en menor medida, por caramelización (De Maria et al., 1996; Illy & Viani, 2005).

Las melanoidinas responsables del color oscuro en el café, que se originan de las reacciones de Maillard o de la caramelización de los carbohidratos, dependen no solo de la composición del café verde, sino también de la dinámica de la generación de nuevos compuestos en el proceso, razón por la cual los mecanismos de su formación aún no han sido dilucidados completamente. En este proceso se genera la destrucción de carbohidratos, ácidos clorogénicos, trigonelina y aminoácidos, y esos cambios son cada vez más evidentes al aumentar el punto final de tueste asociado a colores más oscuros del grano.

Dependiendo de las diferentes combinaciones de temperatura y tiempo del proceso e iniciando de una misma materia prima, la bebida de café resultante será diferente desde el punto de vista físico, químico y sensorial. Por lo anteriormente descrito se evaluó el efecto de la interacción temperatura y tiempo de tueste en la composición química final de diferentes variedades mejoradas de café determinando su comportamiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El efecto de las temperaturas y los tiempos de tueste se evaluaron en seis variedades de *C. arabica* mejoradas: Cenicafé 1, Castillo® General, Castillo® Naranjal, Castillo® Pueblo Bello, Castillo® El Tambo y Tabi. Para cada variedad, de manera individual y durante la cosecha principal, se hizo una recolección selectiva asegurando un porcentaje de frutos verdes inferior al 2,5%, despulpado en un tiempo inferior a 6 horas después de la recolección, fermentación espontánea con estimación del tiempo de lavado asociado al uso del Fermaestro™, con secado mecánico hasta alcanzar un porcentaje de humedad entre el 10% y el 11,5%. Se realizó la trilla de café y una selección de la almendra sana, eliminando los defectos físicos. El café utilizado para los tratamientos fue el retenido por encima de la malla número 16/64.

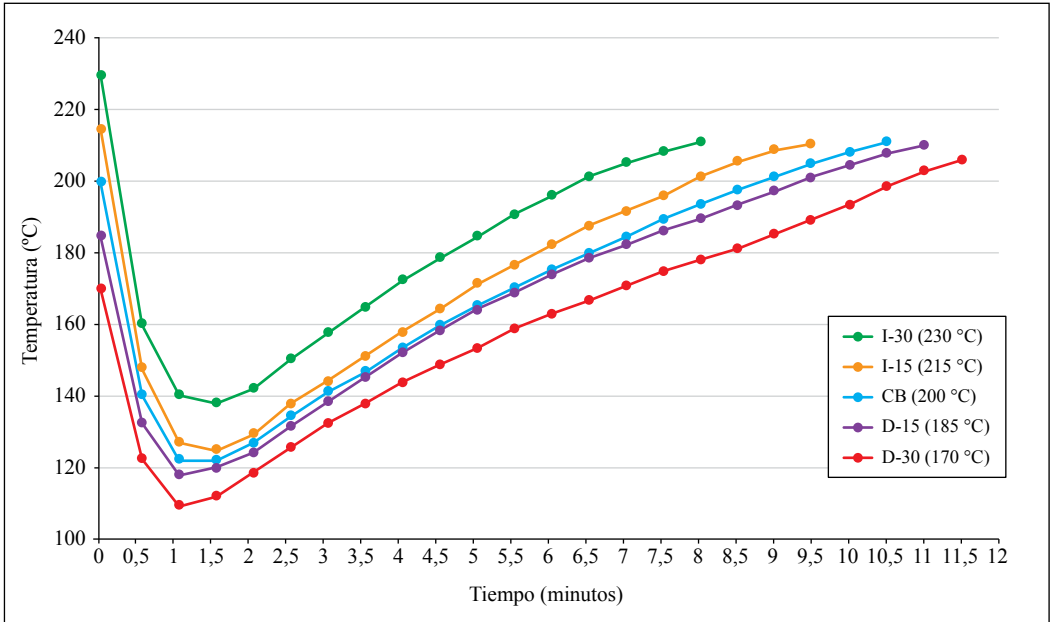
Se estableció un diseño completamente aleatorio en arreglo factorial. De cada variedad se tomaron cinco unidades experimentales de 25 kg, cada una dividida en cinco unidades de trabajo de 5 kg, a cada unidad se le aplicaron los tratamientos, variando la temperatura inicial de tueste.

Se generaron cinco curvas de tueste por variedad, la curva base tuvo como temperatura inicial 200°C (CB), dos curvas con incrementos de temperatura a 215°C (I-15) y 230°C (I-30), y dos curvas con disminución de la temperatura de la curva base de tostación a 185°C (D-15) y 170°C (D-30). El café fue procesado en una tostadora Probatone 5 (Probat, Alemania). Los tiempos de tueste se encontraron entre 8 y 12 minutos, y el tiempo final de tueste fue definido por el color del grano 55-65 en la escala AGTRON/SCA para tostado. En la Figura 1 se muestran las curvas tipo utilizadas para cada variedad.

Para el análisis sensorial de la calidad del café se utilizó el protocolo de la *Specialty Coffee Association* (SCA, 2000), con cinco catadores certificados Q-Grader por el CQI (*Coffee Quality Institute*), pertenecientes al panel sensorial del Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé) y a diferentes empresas del gremio, obteniendo un solo resultado promedio por cada muestra analizada.

Al café tostado se le determinaron las concentraciones de lípidos, ácidos grasos como son: araquídico, esteárico, linoleico, oleico y palmítico; la composición de ácidos alifáticos carboxílicos como los ácidos acético, cítrico, fórmico, láctico, málico, oxálico, quínico, succínico y/o glicólico; ácidos clorogénicos totales, cafeína, trigonelina, teobromina, fructosa y sacarosa. Se utilizaron metodologías estandarizadas de química analítica para cada uno de los componentes.

Los ácidos clorogénicos totales se determinaron cuantitativamente por medio de espectrofotometría de UV-VIS, mediante la absorción ultravioleta a longitudes de onda cercanas a 265, 328 y 380 nm (Beckman DU-650). Para la cuantificación de la fracción lipídica se utilizó la extracción por soxhlet según el método de análisis AOAC 945.16. Para los azúcares, alcaloides como la cafeína, trigonelina y teobromina, y los ácidos carboxílicos se utilizó cromatografía líquida de alta resolución-HPLC (Waters 600E); en el caso de los alcaloides y los ácidos alifáticos se utilizó un detector de arreglo de diodos (PDA 996, por sus siglas en inglés), para los azúcares se utilizó un cromatógrafo líquido de alta resolución - HPLC (Alliance 2690) acoplado a un detector de índice de refracción (IR-2410). Para los ácidos grasos, la fracción lipídica fue esterificada y analizada por cromatografía de gases con detector de masas (HP-6890 - MSD 5893) siguiendo el método de análisis AOAC 969.33.



**Figura 1.** Curvas de tueste.

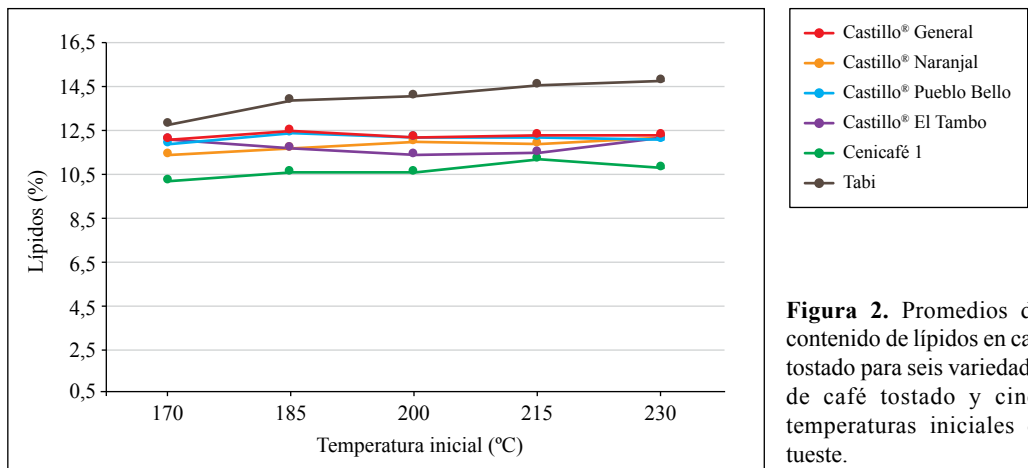
Se estimaron los promedios y la desviación estándar de los compuestos químicos, se realizó el análisis de varianza para evaluar el efecto de las cinco curvas de tueste y la variedad en cada una de las variables de la composición química y se evaluó la correlación de estas con la calidad sensorial del café expresada como puntaje total SCA (*Specialty Coffee Association*).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta investigación se evaluó el efecto de diferentes curvas de tueste (combinación tiempo y temperatura) en la composición química y en la calidad sensorial del café. Aunque se generaron diferentes curvas, el grado de tueste final para todas las variedades y en todos los tratamientos fue uno solo y fue definido por el color del grano 55-65 en la escala AGTRON/SCA asegurando el desarrollo completo del grano.

**Lípidos.** El análisis de varianza del diseño completamente aleatorio en arreglo factorial presentó efecto significativo en la interacción variedad y temperatura inicial de tueste para el contenido de lípidos en el café tostado. El contenido de los lípidos en el café tiene un impacto importante en la calidad final del producto, por la formación de productos de oxidación a lo largo del tiempo (Ortolá et al., 1998). En la Figura 2 se presentan los valores promedios por variedad y temperatura. La variedad Tabi obtuvo mayores valores, presentando su máxima concentración en la temperatura de 230°C, lo anterior difiere de lo encontrado por Puerta y Echeverri (2019), donde al aumentar la temperatura inicial disminuyó la cantidad de lípidos con un valor de 11,4% en el tratamiento con temperatura de tueste inicial y final de 210-185°C.

Los valores mínimos para el contenido de lípidos para todas las variedades, a excepción



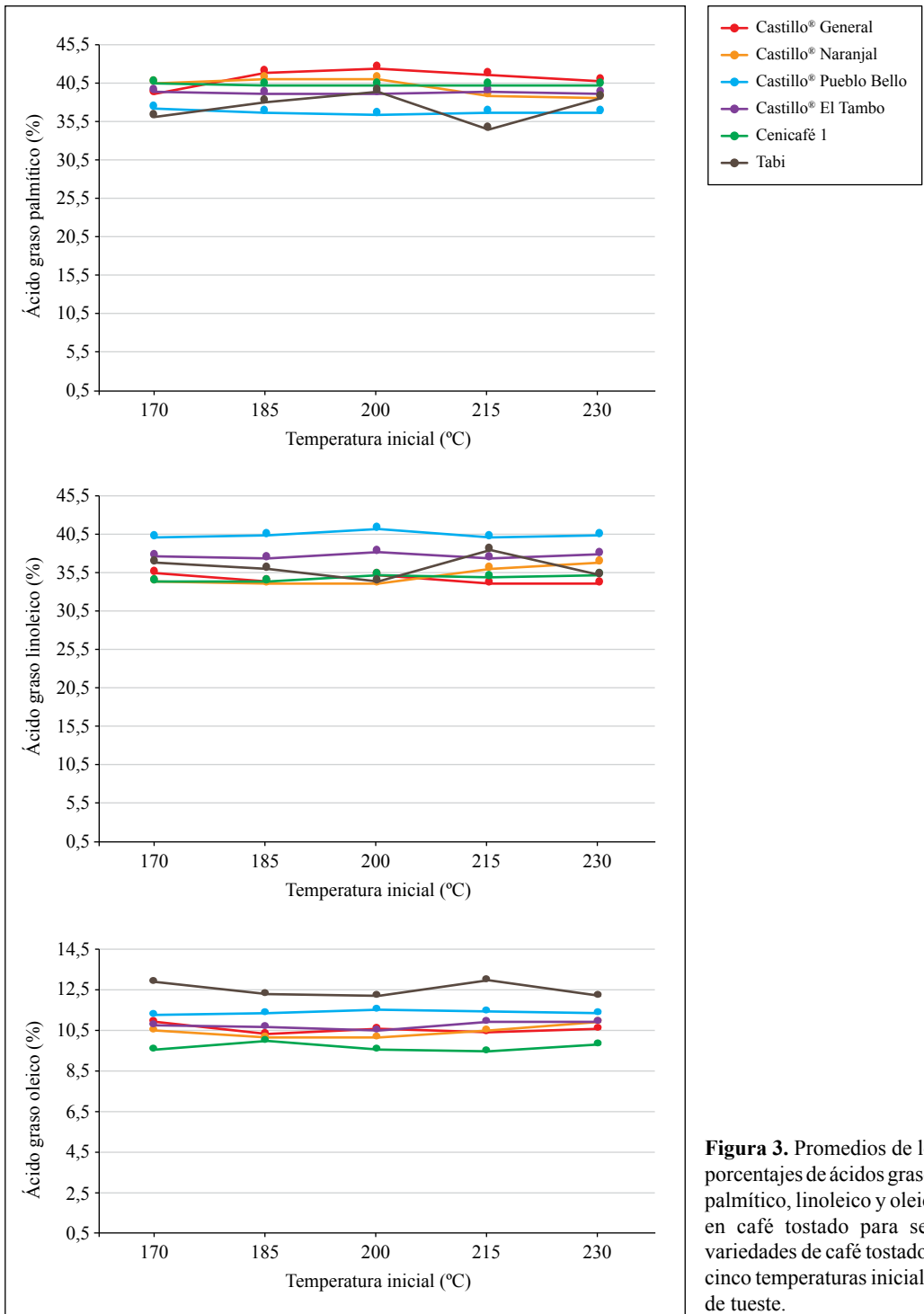
**Figura 2.** Promedios del contenido de lípidos en café tostado para seis variedades de café tostado y cinco temperaturas iniciales de tueste.

de Castillo® El Tambo, se encontraron en el tratamiento D-30, mientras que para esta variedad se encontró en la CB. Los valores máximos de lípidos de las variedades Castillo® Pueblo Bello y Castillo® General se observaron en el tratamiento D-15, para Cenicafé 1 en el tratamiento I-15 y en el tratamiento I-30 se encontraron los valores máximos de las variedades Castillo® Naranjal, Castillo® El Tambo y Tabi.

**Ácidos grasos.** Entre los ácidos grasos presentes en el café, el ácido linoleico es el ácido graso predominante, seguido por el ácido palmítico. Las ceras del café almendra, junto con los ésteres de hidroxitriptamida de diversos ácidos grasos (araquídico, behénico y lignocérico) se originan en el epicarpio del fruto y representan entre el 0,06% y el 0,10% del café normalmente tostado (Belitz & Grosch, 2009). Para los valores promedios de ácidos grasos por tratamiento, se encontró que el ácido palmítico fue el predominante seguido por los ácidos linoleico, oleico, esteárico y araquídico. El análisis de varianza presentó efecto significativo en la interacción variedad y temperatura inicial de tueste para la fracción de ácidos grasos palmítico, linoleico y oleico en el café tostado (Figura 3). La variedad Castillo® General presentó el mayor porcentaje de ácido

palmítico en el tratamiento denominado curva base (CB), con 42,61%. La mayor proporción de ácido graso linoleico se presentó en la variedad Castillo® Pueblo Bello en todos los tratamientos y el máximo de 41,13% se observó en la curva base CB. Para el ácido graso oleico los máximos se presentaron en la variedad Tabi en todos los tratamientos y el máximo de 12,94% se observó en el tratamiento I-15.

En muestras de café verde de 12 genotipos, recolectadas en cinco localidades de Colombia, en la cosecha principal del año 2006, Villarreal et al. (2012) encontraron la siguiente composición de ácidos grasos: linoleico 39,0%, palmítico 37,0%, oleico 8,7%, esteárico 8,1% y araquídico 3,2%. Por su parte, Puerta y Echeverri (2019) encontraron la siguiente composición en café tostado proveniente de fermentaciones sumergidas: palmítico 38,35%, linoleico 33,71%, oleico 10,66%, esteárico 8,86% y araquídico 4,40%. Clarke & Macrae (1985) reportan que no existen diferencias significativas en la composición total de ácidos grasos generados por el proceso de tostado. En este estudio, los ácidos grasos no mostraron efecto por los cambios en la temperatura inicial de tueste, pero sí por la variedad y por su



**Figura 3.** Promedios de los porcentajes de ácidos grasos palmítico, linoleico y oleico en café tostado para seis variedades de café tostado y cinco temperaturas iniciales de tueste.

interacción con la temperatura. El ácido graso esteárico presentó efecto por la variedad, según prueba de Tukey al 5%. La variedad Cenicafé 1 presentó la máxima proporción de ácidos grasos con un valor de 9,69%.

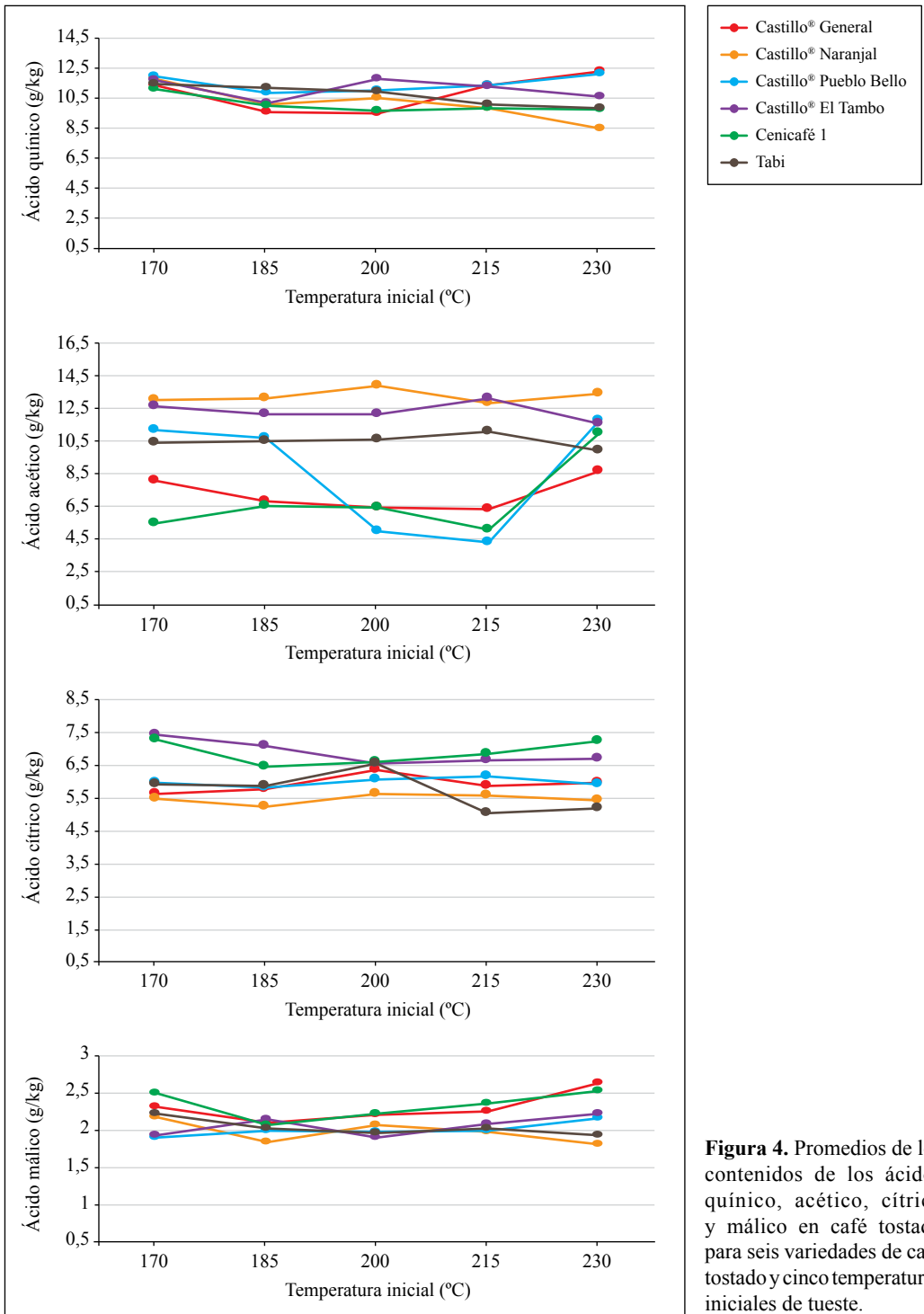
**Ácidos carboxílicos alifáticos.** La acidez percibida de la bebida de café en el análisis sensorial es característica y buscada en los cafés suaves lavados, pues contribuye a la vivacidad del café, al dulzor y al carácter de la bebida. Los tipos de ácidos que se encuentran en el café son ácidos carboxílicos alifáticos junto con los ácidos clorogénicos. La mayoría de los ácidos carboxílicos alifáticos presentes en el café verde se comportan como los ácidos clorogénicos, se descomponen parcialmente durante el tueste, un ejemplo es el ácido cítrico que forma ácidos como el succínico (Scholz-Bottcher et al., 1991). Un gran número de ácidos se generan por la reacción de Maillard, los más destacados son los ácidos fórmico y acético, y su contenido alcanza un máximo en el tostado medio; en el tostado más oscuro la volatilización prevalece sobre la formación (Illy & Viani, 2005). El contenido de ácidos acético, fórmico, málico, cítrico y láctico en la bebida, junto con los ácidos quínico y clorogénicos son menores cuando se utiliza café tostado oscuro, en el que han desaparecido en gran medida (Clifford & Willson, 1985).

El análisis de varianza presentó efecto significativo en la interacción variedad y temperatura inicial de tueste para los ácidos quínico, acético, cítrico y málico en el café tostado (Figura 4). La variedad Castillo® General en el tratamiento I-30 tuvo la máxima concentración de ácido quínico con 12,31 g kg<sup>-1</sup>, contrario a la variedad Castillo® Naranjal que presentó un valor de 8,5 g kg<sup>-1</sup>, en este mismo tratamiento. La variedad Castillo® Naranjal tuvo el máximo contenido de ácido acético en la CB con 13,88 g kg<sup>-1</sup> y la Castillo® Pueblo Bello, en el tratamiento I-15, con un valor de 4,23 g kg<sup>-1</sup>. La variedad Cenicafé 1 presentó valores similares de ácido cítrico en los tratamientos D-30 e I-30 con contenidos de 7,24 y 7,23 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, la máxima concentración de este ácido se encontró en la variedad Castillo® El Tambo, en el tratamiento D-30, con 7,41 g kg<sup>-1</sup>. Para el ácido málico, la variedad Castillo® Naranjal presentó el contenido mínimo en el tratamiento I-30 y el máximo en el tratamiento D-30 con valores de 1,80 y 2,17 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente; en este ácido la variedad Cenicafé 1 desde el tratamiento D-15 hasta el tratamiento I-30 presenta incrementos de la concentración iniciando en 2,06 g kg<sup>-1</sup> hasta llegar a su máximo de 2,52 g kg<sup>-1</sup>.

**Tabla 2.** Valores promedio y desviación estándar (D.E.) del ácido graso esteárico para cada variedad.

Variedad	Promedio (%)		D.E.
Cenicafé 1	9,6927	A	0,1971
Castillo® Naranjal	9,4023	BA	0,2694
Castillo® General	9,0409	BC	0,9407
Tabi	8,9335	C	0,7702
Castillo® El Tambo	7,8816	D	0,3719
Castillo® Pueblo Bello	7,3441	E	0,2012





**Figura 4.** Promedios de los contenidos de los ácidos quínico, acético, cítrico y málico en café tostado para seis variedades de café tostado y cinco temperaturas iniciales de tueste.

Para los ácidos succínico y oxálico la interacción no es significativa, pero sí presentaron efecto por la variedad según la prueba de Tukey al 5% (Tablas 3 y 4). La variedad Castillo® Pueblo Bello presentó el valor máximo de ácido succínico y la variedad Cenicafé 1 de ácido oxálico.

El ácido oxálico presentó efecto por la temperatura, según una prueba de contraste al 5%; se evidenció una tendencia lineal negativa, alcanzando un valor mínimo de 0,043 g kg<sup>-1</sup> en el tratamiento I-30 (Figura 5).

Los ácidos cítrico, málico, acético, láctico y pirúvico son los más reportados por la mayoría de trabajos, puesto que

están presentes en cantidades significativas (Clarke & Vitzthum, 2001). La formación de los diferentes ácidos alifáticos depende del nivel de tueste y probablemente de la mezcla, y se asocia necesariamente con cambios de la composición. La sacarosa es el principal precursor en los granos verdes de los ácidos acético, fórmico, láctico, glicólico y otros derivados de los carbohidratos.

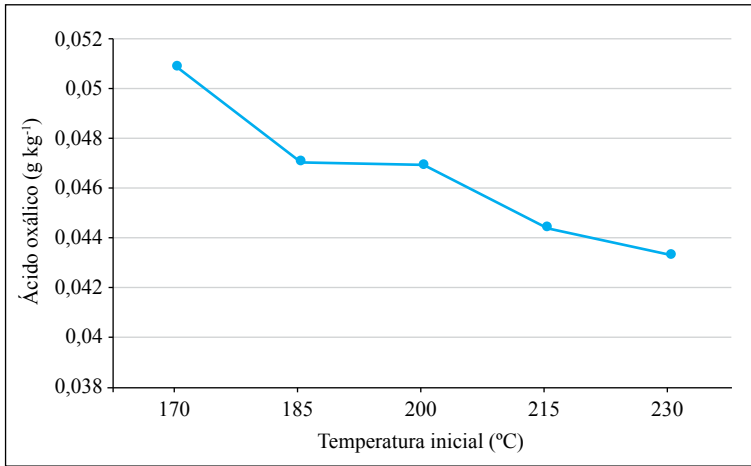
**Alcaloides.** Dentro de los alcaloides se encuentra la cafeína y su contenido en el café verde varía ampliamente, siendo las diferencias de especies el factor más importante. La cafeína es inolora, pero tiene un marcado sabor amargo. Se han realizado varios intentos para correlacionar las características sensoriales del

**Tabla 3.** Valores promedio y desviación estándar (D.E.) del ácido succínico por variedad.

Variedad	Promedio (g kg <sup>-1</sup> )		D.E.
Castillo® Pueblo Bello	14,03	A	1,64
Tabi	11,15	B	1,83
Castillo® El Tambo	9,86	C	1,02
Castillo® General	8,86	DC	1,05
Castillo® Naranjal	8,84	DC	0,52
Cenicafé 1	7,87	D	1,18

**Tabla 4.** Valores promedio y desviación estándar (D.E.) del ácido oxálico por variedad.

Variedad	Promedio (g kg <sup>-1</sup> )		D.E.
Cenicafé 1	0,0542	A	0,0053
Castillo® General	0,0515	BA	0,0062
Castillo® Naranjal	0,0467	BC	0,0068
Castillo® El Tambo	0,0455	C	0,0046
Castillo® Pueblo Bello	0,0440	C	0,0075
Tabi	0,0377	D	0,0059



**Figura 5.** Promedios de contenido del ácido oxálico por temperatura inicial de tueste

amargo del café con su contenido de cafeína, pero con poco éxito (Clarke & Macrae, 1985). De hecho, se ha demostrado que la cafeína contribuye sólo en una proporción relativamente pequeña (10%) del amargor percibido.

El análisis de varianza presentó efecto significativo en la interacción variedad y temperatura inicial de tueste para la cafeína y la trigonelina en el café tostado (Figura 6). La variedad Castillo® Pueblo Bello presentó las máximas concentraciones de cafeína en todos los tratamientos, pero el máximo contenido se observó en el tratamiento D-30, con un valor de 1,557%. Por el contrario, la variedad Cenicafé 1 evidenció los menores contenidos de todas las variedades evaluadas, con incrementos desde el tratamiento D-30 hasta I-30, con valores desde 1,258% hasta 1,318%, respectivamente.

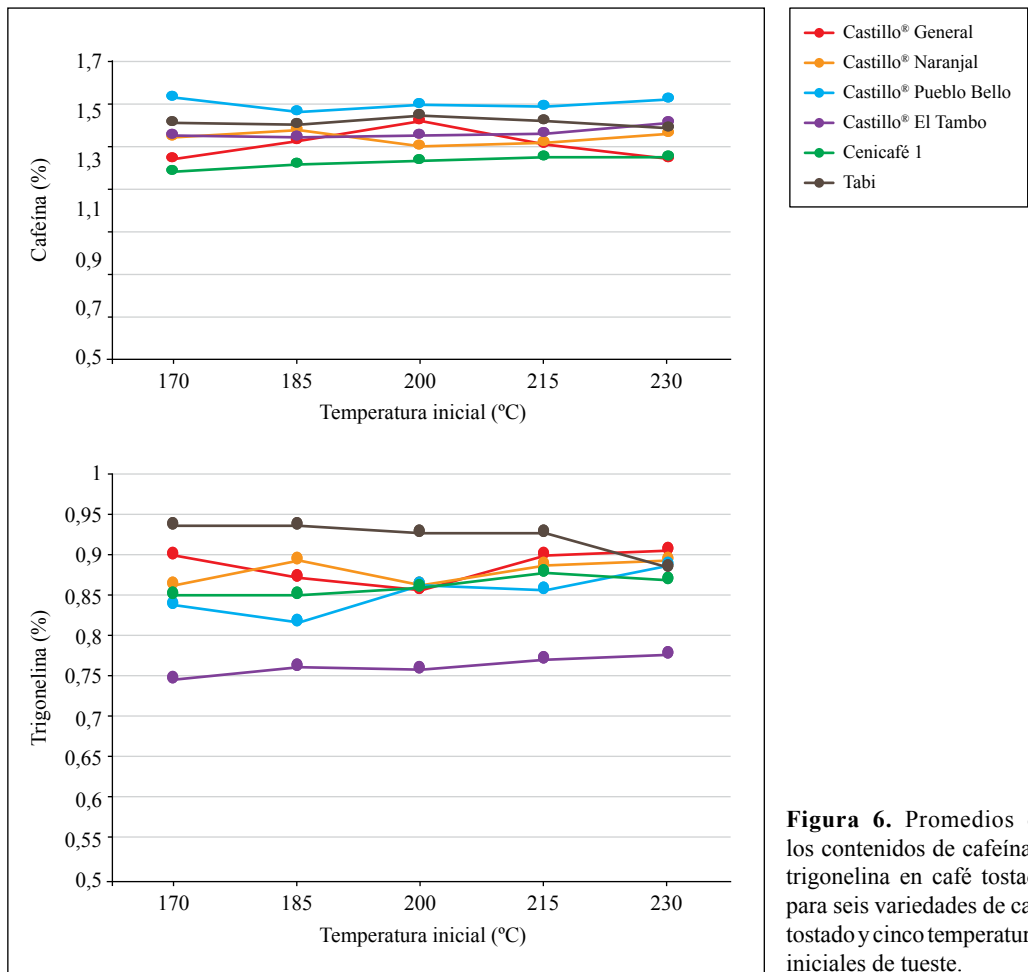
La variedad Tabi presentó las mayores concentraciones de trigonelina, exceptuando el tratamiento I-30, con un valor mínimo de 0,883%. De otro lado, la variedad Castillo® El Tambo presentó las menores concentraciones y el valor máximo de este alcaloide, en el tratamiento I-30 con 0,7761%. La trigonelina tiene poca influencia directa en la calidad de

la bebida de café, con un sabor amargo débil, aproximadamente una cuarta parte de la cafeína, sin embargo, en su degradación térmica hay productos que hacen que su presencia en el café sea importante.

Para la variable teobromina la interacción variedad y temperatura inicial de tueste no es significativa, pero sí hubo efecto por la variedad, según prueba de Tukey al 5% (Tabla 5).

Esta variable también presentó efecto por la temperatura, según una prueba de contraste al 5%; se evidenció una tendencia lineal positiva, alcanzando un valor máximo de 0,0629% en el tratamiento I-30 (Figura 7).

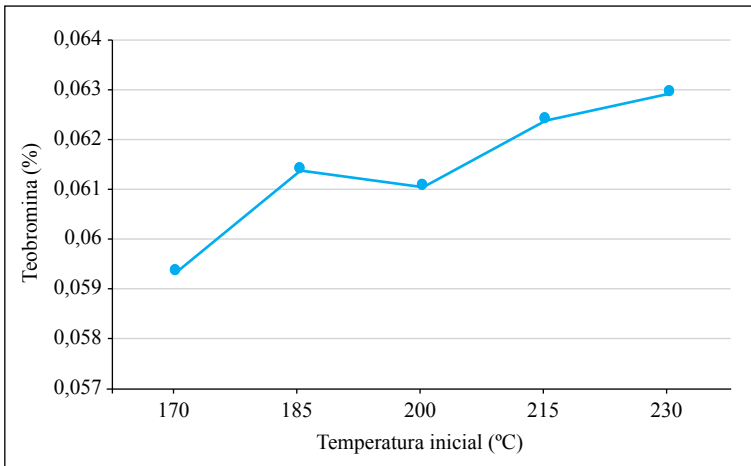
**Ácidos clorogénicos totales.** Se ha reportado que los granos de café poseen importantes cantidades de ácidos clorogénicos (CGA por sus siglas en inglés), los cuales tienen una marcada influencia en la calidad del café y contribuyen a su aroma y sabor (Chaves & Esquivel, 2019). Los CGA se destruyen en su mayor parte durante la torrefacción, aunque algunos ácidos clorogénicos intactos pueden estar unidos por melanoidinas. Se supone que la mayor parte de los ácidos clorogénicos se hidrolizan (Illy & Viani, 2005). El promedio



**Figura 6.** Promedios de los contenidos de cafeína y trigonelina en café tostado para seis variedades de café tostado y cinco temperaturas iniciales de tueste.

**Tabla 5.** Valores promedio y desviación estándar (D.E.) de la teobromina por variedad.

Variedad	Promedio (%)		D.E.
Tabi	0,0664	A	0,0045
Castillo® Pueblo Bello	0,0628	B	0,0027
Castillo® Naranjal	0,0610	CB	0,0036
Castillo® El Tambo	0,0609	CB	0,0038
Cenicafé 1	0,0598	CD	0,0030
Castillo® General	0,0575	D	0,0029



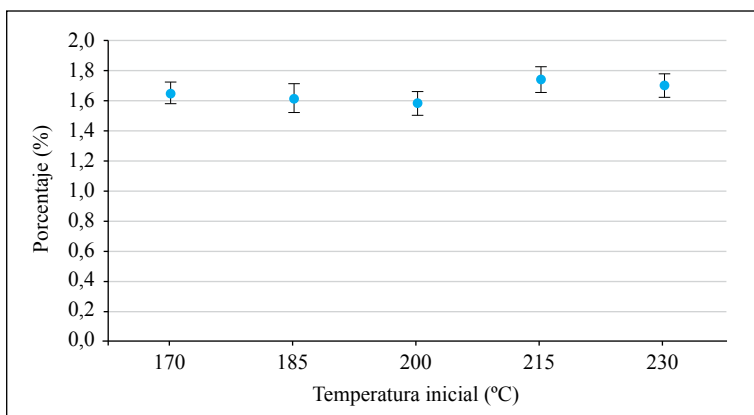
**Figura 7.** Promedios de contenido de teobromina por temperatura inicial de tueste.

del contenido de CGA de café tostado de las variedades Cenicafé 1, Castillo® General, Castillo® Naranjal, Castillo® Pueblo Bello, Castillo® El Tambo y Tabi fueron: 1,60%, 1,65%, 1,75%, 1,54%, 1,64% y 1,69%, respectivamente. En la Figura 8 se presentan los promedios por tratamientos.

Para los ácidos clorogénicos totales no se presentaron diferencias significativas entre las variedades ni en su interacción con las temperaturas iniciales del proceso de tostado. Zanin et al. (2016) compararon cafés arábigos tostados de diferentes regiones de Brasil,

encontrando una amplia variación en el contenido total de CGA y 5-CQA para los cafés de buena calidad en taza con un grado de tostado similar.

**Azúcares.** De los monosacáridos y disacáridos del café verde, tras el proceso de tostado sólo quedan restos de azúcares libres. La degradación de la sacarosa es explicada por su hidrólisis en azúcares reductores como la glucosa y la fructosa, que pueden fragmentarse aún más para formar ácidos alifáticos (Ginz et al., 2000). A partir de los azúcares reductores o de sus productos de fragmentación se forman



**Figura 8.** Valores promedio e intervalos de confianza para el contenido de ácidos clorogénicos totales de los cinco tratamientos (D-30 (170°C), D-15 (185°C), CB (200°C), I-15 (215°C), I-30 (230°C)).

muchos compuestos volátiles y no volátiles (melanoidinas y sus precursores ácidos) por la reacción de Maillard y, en menor medida, por caramelización. La reacción de Maillard tiene una energía de activación menor y, por lo tanto, se ve favorecida si están presentes compuestos de nitrógeno reactivos (aminoácidos, grupos amino libres en proteínas y péptidos) (Illy & Viani, 2005).

Para la variable fructosa la interacción variedad y temperatura inicial de tueste no es significativa, pero sí presentó efecto por la variedad, según prueba de Tukey al 5% (Tabla 6). La variedad Cenicafé 1 es diferente de las demás variedades evaluadas.

Con el fin de verificar las relaciones entre los compuestos químicos y el puntaje total SCA se realizó una matriz de coeficientes de correlación de Pearson mediante un heatmap de correlación (Figura 9), donde se observa que los compuestos químicos en café tostado que tienen correlación positiva con el puntaje total son: ácido cítrico y el ácido quínico, y correlación negativa, con el ácido esteárico y la trigonelina.

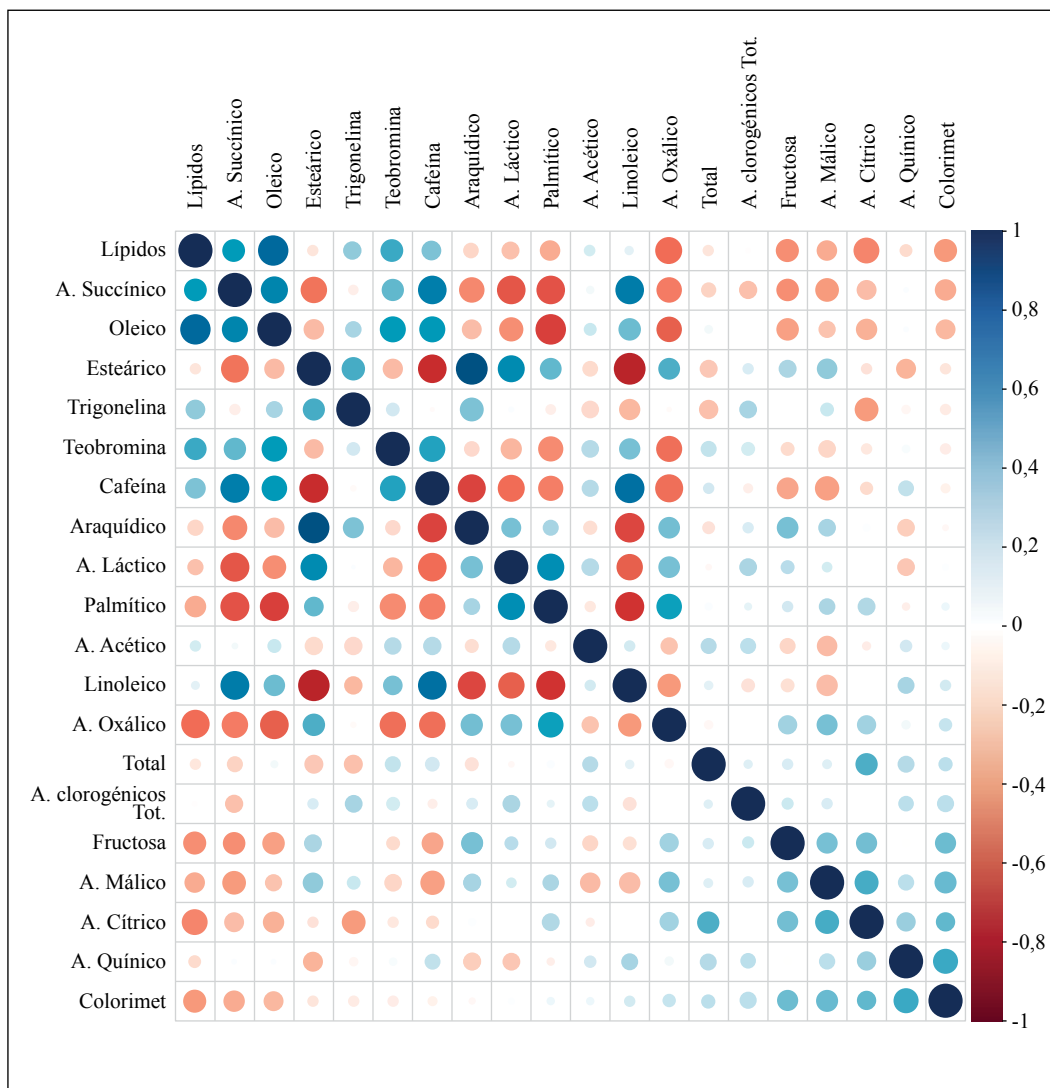
En este estudio puede concluirse que la interacción entre la temperatura inicial y la variedad de café tostado presentó efecto en los siguientes compuestos químicos: ácidos

carboxílicos alifático, acético, quínico, málico y cítrico; ácidos grasos oleico y palmítico; lípidos y los alcaloides: cafeína y trigonelina. Los ácidos carboxílicos oxálico y succínico, los ácidos grasos araquídico y esteárico, y la teobromina, presentaron efecto por la variedad de café. La modificación de la temperatura inicial de la curva de tueste presentó efecto en el ácido oxálico y la teobromina. Estos dos compuestos presentaron, según una prueba de contraste al 5%, una tendencia lineal con la temperatura inicial de tueste, positiva en el caso de la teobromina y negativa para el ácido oxálico.

El proceso realizado en intervalos de tiempo comprendidos entre 8 y 12 minutos, con color final del grano tostado en un rango medio medido en la escala 55-65 AGTRON/SCA, permite evidenciar que la calidad inicial del café almendra verde es el factor determinante para la calidad final del café tostado. La variedad y la interacción de la variedad con la temperatura inicial de tueste mostró efecto en varios de los compuestos químicos evaluados, donde el ácido cítrico presenta la mayor correlación positiva con el puntaje total SCA. Lo anterior está condicionado a un procedimiento realizado bajo parámetros óptimos que permiten la máxima expresión de la calidad.

**Tabla 6.** Valores promedio y desviación estándar (D.E.) de la fructosa por variedad.

Variedad	Promedio (%)		D.E.
Cenicafé 1	0,567	A	0,9731
Castillo® El Tambo	0,493	B	0,5793
Castillo® Naranjal	0,492	B	0,6673
Castillo® General	0,471	B	0,3172
Castillo® Pueblo Bello	0,463	B	0,3549
Tabi	0,461	B	0,4007



**Figura 9.** Heatmap de correlación entre las variables de composición química y puntaje total SCA.

### AGRADECIMIENTOS

En Cenicafé, al equipo de Biometría, doctores Rubén Medina, Esther C. Montoya y Luis Imbachí. A los catadores Claudia Gómez Ramos, David Molina, Jorge Andrés Duque,

Fernando Osorio y Cesar Osorio. En la Disciplina de Calidad a Paola Calderón y el personal de apoyo Wilson Vargas y Jonathan Martínez. Al equipo de Experimentación: Carlos Gonzalo Mejía, José Farid López y John Félix Trejos.

## LITERATURA CITADA

- Bauer, D., Abreu, J., Jordão, N., da Rosa, J. S., 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>
- Belitz, H.-D., Grosch, W., & Schieberle, P. (Eds.). (2009). Coffee, Tea, Cocoa. En *Food Chemistry* (pp. 938–970). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-69934-7\\_22](https://doi.org/10.1007/978-3-540-69934-7_22)
- Budryn, G., Nebesny, E., & Oracz, J. (2015). Correlation Between the Stability of Chlorogenic Acids, Antioxidant Activity and Acrylamide Content in Coffee Beans Roasted in Different Conditions. *International Journal of Food Properties*, 18(2), 290–302. <https://doi.org/10.1080/10942912.2013.805769>
- Chaves-Ulate, E., Esquivel-Rodríguez, P. (2019). Ácidos clorogénicos presentes en el café: capacidad antimicrobiana y antioxidante. *Agronomía Mesoamericana*, 30(1), 299–311. <https://doi.org/10.15517/am.v30i1.32974>
- Clarke, R. J., & Macrae, R. (Eds.). (1985). *Coffee (Volume 1: Chemistry)*. Elsevier Springer, Dordrecht, <https://doi.org/10.1007/978-94-009-4948-5>
- Clarke, R. J., & Vitzthum, O. G. (Eds.). (2001). *Coffee: Recent developments*. Wiley-Blackwell. <http://doi.org/10.1002/9780470690499>
- Clifford, M. N., & Willson, K. C. (Eds.). (1985). *Coffee: Botany, Biochemistry and Production of Beans and Beverage*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6657-1>
- De Luca, S., De Filippis, M., Bucci, R., Magri, A. D., Magri, A. L., & Marini, F. (2016). Characterization of the effects of different roasting conditions on coffee samples of different geographical origins by HPLC-DAD, NIR and chemometrics. *Microchemical Journal*, 129, 348–361. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2016.07.021>
- De Maria, C. A. B., Trugo, L. C., Neto, F. R. A., Moreira, R. F. A., & Alviano, C. S. (1996). Composition of green coffee water-soluble fractions and identification of volatiles formed during roasting. *Food Chemistry*, 55(3), 203–207. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(95\)00104-2](https://doi.org/10.1016/0308-8146(95)00104-2)
- Dias, R. C. E., & Benassi, M. D. T. (2015). Discrimination between Arabica and Robusta Coffees Using Hydrosoluble Compounds: Is the Efficiency of the Parameters Dependent on the Roast Degree? *Beverages*, 1(3), 127–139. <https://doi.org/10.3390/beverages1030127>
- Franca, A. S., Oliveira, L. S., Mendonça, J. C. F., & Silva, X. A. (2005). Physical and chemical attributes of defective crude and roasted coffee beans. *Food Chemistry*, 90(1–2), 89–94. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.03.028>
- Gloss, A. N., Vietri, A., Wieland, F., Smrke, S., Schönbacher, B., López, J. A. S., Petrozzi, S., Bongers, S., Kozirowski, T., & Yeretian, C. (2014). Evidence of different flavour formation dynamics by roasting coffee from different origins: On-line analysis with PTR-ToF-MS. *International Journal of Mass Spectrometry*, 365–366, 324–337. <https://doi.org/10.1016/j.ijms.2014.02.010>
- Illy, A., & Viani, R. (Eds.). (2005). *Espresso coffee: The science of quality* (2nd ed). Elsevier Academic. <https://www.elsevier.com/books/espresso-coffee/illy/978-0-12-370371-2>
- Nakilcioğlu-Taş, E., & Ötleş, S. (2019). Physical characterization of Arabica ground coffee with different roasting degrees. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 91(2), e20180191. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201920180191>
- Ortolá, M. D., Gutiérrez, C. L., Chiralt, A., & Fito, P. (1998). Kinetic study of lipid oxidation in roasted coffee. *Food Science and Technology International*, 4(1), 67–73. <https://doi.org/10.1177/108201329800400109>
- 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(2), 67–80. <http://hdl.handle.net/10778/4217>
- Specialty Coffee Association. (2003). *Cupping Protocols. Protocols & Best Practices*. <https://sca.coffee/research/protocols-best-practices>
- Scholz-Böttcher, B. M., Ernst, L., & Maier, H. G. (1991). New stereoisomers of quinic acid and their lactones. *Liebigs Annalen Der Chemie*, 1991(10), 1029–1036. <https://doi.org/10.1002/jlac.1991199101177>



- Villarreal-Peña, D., Baena-Clavijo, L. M., & Posada-Suarez, H. E. (2012). Análisis de lípidos y ácidos grasos en café verde de líneas avanzadas de *Coffea arabica* cultivadas en Colombia. *Revista Cenicafé*, 63(1), 19–40. <http://hdl.handle.net/10778/520>
- Vitorino, M. D., Franca, A. S., Oliveira, L. S., & Andrade, F. M. (2001, junio 16). Variação de características físicas e químicas de café arábica durante a torra parte II: Características Químicas. En Consórcio Pesquisa Café e Desenvolvimento do Café (Organizador), *II Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil*, Vitória, Espírito Santo, Brasil. <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/1244>
- Zanin, R., Corso, M. P., Kitzberger, C. S. G., dos Santos Scholz, M. B., & Benassi, M. de T. (2016). Good cup quality roasted coffees show wide variation in chlorogenic acids content. *LWT-Food Science and Technology*, 74, 480–483. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.08.012>