

RELACIONES ENTRE LAS CONCENTRACIONES DE COMPUESTOS QUÍMICOS DEL CAFÉ Y LAS TEMPERATURAS DE TORREFACCIÓN

Gloria Inés Puerta Quintero*, Luz Fanny Echeverri Giraldo*

PUERTA Q., G. I.; ECHEVERRI G., L. F. Relaciones entre las concentraciones de compuestos químicos del café y las temperaturas de torrefacción. Revista Cenicafé 70(2):67-80. 2019

El color del café tostado es la variable más usada para finalizar el proceso de torrefacción del café. En este proyecto se fijaron las temperaturas inicial y final de tostación para controlar y culminar este proceso. Se cuantificaron compuestos químicos en café verde y tostado. El café se procesó por fermentación sumergida y se tostó a temperaturas iniciales de 185, 190, 195, 200 y 210°C y finales de 175, 180 y 185°C. A las temperaturas iniciales de tostación no se encontraron diferencias significativas en los contenidos de lípidos, proteínas, azúcares, alcaloides, ni ácidos químico, cítrico, málico, fórmico y succínico. Dependiendo de las temperaturas de tostación variaron las concentraciones de los compuestos químicos del café tostado. Al incrementarse la temperatura inicial disminuyeron los lípidos y el ácido acético y aumentaron los ácidos químico y cítrico. Con la elevación de la temperatura final aumentaron el tiempo, la transferencia de masa y los contenidos de ácidos acético, láctico, succínico, fórmico y oxálico, además, el color del grano se volvió más oscuro y las concentraciones de sacarosa, trigonelina y ácidos cítrico y málico decrecieron. Mediante la fijación de las temperaturas de tostación se puede contribuir a la obtención de consistencia en la composición química y calidad del café.

Palabras clave: Café, calidad, tostación, fermentación, ácidos, azúcares, cafeína, lípidos, color.

RELATIONSHIPS BETWEEN THE CONCENTRATION OF COFFEE CHEMICAL COMPOUNDS AND ROASTING TEMPERATURES

The color is the most used variable to finish the roasting process of coffee. In this project, initial and final roasting temperatures were set to control and complete this process. The chemical compounds were analyzed in green and roasted coffee. Coffee was produced by submerged fermentation and roasted at initial temperatures of 185, 190, 195, 200 and 210°C and final temperatures of 175, 180 and 185°C. At the initial roasting temperatures no significant differences were found in the contents of lipids, proteins, sugars, alkaloids, or quinic, citric, malic, formic and succinic acids. According to the roasting temperatures, the concentrations of chemical compounds in roasted coffee changed. As the initial temperature increased, the lipids and acetic acid decreased and the quinic and citric acids increased. With the elevation of the final temperature the process time, the mass transfer and the contents of acetic, lactic, succinic, formic and oxalic acids increased. In addition, the color of the grain became darker and the concentrations of sucrose, trigonelline and citric and malic acids decreased. The setting of the roasting temperatures may contribute to obtaining consistency in the chemical composition and quality of coffee.

Keywords: Coffee, quality, roasting, fermentation, acids, sugars, caffeine, lipids, color.

*Investigador Científico III (hasta 31 diciembre de 2018) y Asistente de Investigación, respectivamente. Disciplina Calidad, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

Mediante la tostación o torrefacción del café se generan a partir del grano verde, una gran variedad de sustancias químicas que producen los diferentes sabores y aromas a la bebida (Puerta, 2011). En la tostación se transfiriere calor y masa, y ocurren múltiples reacciones químicas y cambios físicos en el grano. Es así como según se desarrolle este proceso térmico pueden intensificarse los atributos sensoriales o deteriorarse la calidad del café (Puerta, 1998, 2000).

La selección de la temperatura inicial o de precalentamiento depende de la tecnología del torrefactor, la calidad del grano de café, la variedad, la humedad, la densidad, el tamaño, el grado de tostado y la bebida a preparar. Se han registrado temperaturas entre 140 y 300°C de ingreso de los granos de café verdes a los tambores o cámara del torrefactor (Bonnländer, Eggers, Engelhardt, & Maier, 2005; Franca, Oliveira, Oliveira, Mancha & Augusti, 2009; Ginz, Balzer, Bradbury, & Maier, 2000; Ortolá, Londoño, Gutiérrez, & Chiralt, 1998).

Generalmente, la terminación de este proceso se realiza cuando el grano de café tostado alcanza un color determinado, el cual puede medirse visualmente con tarjetas de referencia o con equipos colorímetros; también suele evaluarse el grado de tosti3n por el porcentaje en pérdida de masa entre el café verde y el tostado.

En la literatura se encuentran diferentes referencias sobre los contenidos químicos del café y sobre los mecanismos de las reacciones de formación de los compuestos en el café tostado (Bennat, Engelhardt, Kiehne, Wirries, & Maier, 1994; Blanc, 1977; Chung, Kim, Youn, Lee, & Moon, 2013; Clifford, 2006; Deshpande & Aguilar, 1975; Eggers, Von Blittersdorf, Fischer, & Cammenga, 2004; Farah *et al.*, 2006; Flament, 2001; M. Ginz & Engelhardt, 2001; Michael Ginz *et al.*, 2000; Gloess *et*

al., 2014; Gretsches, Sarrazin, & Liardon, 1999; Holscher, Vitzthum, & Steinhart, 1990; Illy & Viani, 2005; Lentner & Deatherage, 1959; Lyman, Benck, Dell, Merle, & Murray-Wijelath, 2003; Munari, Mastrocola, Nicoli, & Severini, 1997; Puerta, 1998, 2000, 2011, 2014). Así, se conoce que los lípidos se encuentran como aceites en el endospermo y como ceras en la superficie del grano (Illy & Viani, 2005; Puerta, 2011; Speer & Koölling-Speer, 2001; Speer, Sehat, & Montag, 1993) y contribuyen al cuerpo de la bebida y a la retención de los compuestos del aroma del café (Illy & Viani, 2005; Puerta, 2011). Speer & Koölling-Speer (2001) hallaron formación de diterpenos y ácidos grasos y compuestos fenólicos de la degradación de los ácidos clorogénicos, cuando se incrementó la temperatura en la tostación del café de 242 a 254°C.

En las reacciones de Strecker y Maillard, a partir de los aminoácidos, proteínas y péptidos del café verde se forman compuestos que modifican las cualidades del aroma, color, sabor y amargor de la bebida (Ginz & Engelhardt, 2001; Homma, 2001; Ledl & Schleicher, 1990; Puerta, 2011). Ludwig, Raczek, & Kurzrock (1995) hallaron que la proteína aislada de granos de café arábica contenía 15% de albúmina y 85% globulina, no tenía color, sabor, ni aroma, pero sí tenía galactosa, arabinosa, ramnosa, glucosa, glutamina/ácido glutámico, glicina y asparagina/ácido aspártico. Simulando la tostación del café, calentaron este aislado a 200°C, y obtuvieron un compuesto de color marrón claro con un leve olor y sabor a café tostado que contenía péptidos y aminoácidos.

Dependiendo del grado de maduración y de la variedad botánica, el café verde de la especie arábica contiene de 5,2% a 7,6% de ácidos clorogénicos (Clifford & Kazi, 1987; Marín & Puerta, 2008); en la tostación se forman ácido quínico, quinolactonas, ácido cafeico y volátiles (Clifford, 2006; Nakabayashi

& Kojima, 1980) en cantidades que dependen del grado de tostación y de la especie (Bicho, Leitao, Ramalho, & Lidon, 2011; Scholz & Maier, 1991).

Más de la mitad del peso del grano verde está constituido por carbohidratos, polisacáridos (arabinogalactano, manano/galactano, celulosa), la sacarosa como azúcar principal y también arabinosa, manosa, fructosa, glucosa, ramnosa y glicósidos (Bradbury, 2001; Illy & Viani, 2005). De la polimerización de compuestos fenólicos y de la glicación de Maillard, entre azúcares reductores y aminoácidos se forman las melanoidinas (polímero marrón) y varios volátiles como furanos, pirazinas y aldehídos (Homma, 2001; Ledl & Schleicher, 1990).

La cafeína, trigonelina y teobromina son los alcaloides mayoritarios en ambas especies del café (Ky *et al.*, 2001); en robusta también se han detectado trazas de teofilina (Clifford & Kazi, 1987). Los alcaloides junto con los compuestos fenólicos, las melanoidinas y las proteínas contribuyen al sabor amargo del café (Michael Ginz *et al.*, 2000; Homma, 2001).

Tanto el café verde como el tostado contienen ácidos alifáticos que influyen en la acidez de la bebida. A medida que aumentó la pérdida de masa en la tostación, la bebida de café presentó menor acidez, un cuerpo más espeso, mayor intensidad del sabor amargo y un valor más alto de pH (Puerta, 1998, 2000).

Engelhardt y Maier (1985), citados por (Homma, 2001) cuantificaron en cafés tostados comerciales los siguientes ácidos: málico, cítrico, fórmico, acético, glicólico, succínico, láctico, tartárico y clorogénico, entre otros 11 ácidos. Bähre y Maier (1996, 1997, 1999) citados por (Balzer, 2001) identificaron 38 ácidos en café tostado de Colombia y Kenia, que provenían del café verde así: de los carbohidratos, 21 ácidos incluidos el glicólico

y el láctico, del cítrico, cinco ácidos como el succínico, y del málico se formaron el fumárico y el maleico.

M. Ginz & Engelhardt (2001) adicionaron sacarosa, glucosa y fructosa a granos verdes de café robusta de Indonesia, los secaron y tostaron por lecho fluido a diferentes temperaturas 150, 200, 220, 240 y 280°C por 3 minutos, midieron las concentraciones de los ácidos fórmico, acético, glicólico y láctico y confirmaron que la sacarosa era el principal precursor de estos ácidos. Borém *et al.* (2016) relacionaron varios ácidos, la sacarosa y los atributos sensoriales en variedades Borbón y Mundo Novo del Brasil.

La demanda por cafés de mejor calidad y consistencia de los compradores internacionales ha conducido en la última década al desarrollo de diferentes tipos de procesamiento como las fermentaciones controladas. La fermentación es un proceso bioquímico que se usa principalmente en la industria de alimentos y medicamentos.

En el café, se ha demostrado que la calidad del café producido por fermentación depende de factores como la variedad y la temperatura ambiente, entre otros. Mediante fermentaciones del café controladas a diferentes temperaturas y dependiendo del sistema sólido (sin agua) o sumergido (en agua) se obtuvieron cafés con sabores especiales en diversas proporciones, como dulces, chocolates, tostados frutales y cítricos en la bebida (Puerta, 2012, 2014). Para lograr la consistencia en la calidad y composición química del café es necesario identificar el efecto de la variación de las temperaturas de tostación en los cambios químicos del café, en particular para el café producido mediante fermentaciones especiales.

En este proyecto se cuantificaron las variaciones de los compuestos químicos del café tostado producido por fermentación sumergida

para diferentes temperaturas iniciales y finales de tostación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una investigación descriptiva cuantitativa. Se evaluaron trece tratamientos de tostación a diferentes temperaturas iniciales y finales, aplicados a café producido por fermentación. Se cuantificaron compuestos químicos en el café verde y en el café tostado.

Sitio. Los procesos de fermentación, tostación y los análisis químicos se realizaron en los laboratorios de la Disciplina de Calidad de Cenicafé (Manizales, Caldas), que se localizan a 05° 00' latitud Norte, 75° 36' longitud Oeste y 1.310 m de altitud, con temperatura media de 21,0°C, temperatura máxima de 27,6°C, temperatura mínima de 16,8°C y humedad relativa del 77%.

Materiales. Se utilizó café de la variedad Castillo[®], cultivado en la Estación Experimental Naranjal de Cenicafé, ubicada en el municipio de Chinchiná (Caldas), a 4° 58" latitud Norte, 75° 39" longitud Oeste y 1.381 m de altitud, con las siguientes condiciones: temperatura media anual de 21,6°C, temperatura mínima de 17,3°C, temperatura máxima de 27,2°C, humedad relativa del 77,8%, precipitación media anual de 2.718 mm, días de lluvia 216 y brillo solar de 1.642 h.

Proceso de beneficio. Se procesaron lotes de 50 kg café maduro por fermentación controlada, sumergida al 30% durante 18 h a temperatura ambiente de 20 ±0,5°C. Se siguieron las buenas prácticas y los protocolos de fermentación de café publicados en los Avances Técnicos No. 422 y 454 (Puerta, 2012; Puerta & Echeverry, 2015). El café se secó al sol en paseras con malla hasta una humedad entre el 10% y el 12%.

Trilla y clasificación. La trilla se realizó en una trilladora de laboratorio marca Granel, en sub-lotes de 2.000 g de café pergamino. Se retiraron los defectos e impurezas del grano almendra y, luego se hizo la granulometría en tamices circulares, *Serie Seedburo Equipment Company*, USA, se escogieron solo los granos de café sanos con tamaño superior a 15/64 de pulgada, para la conformación de las unidades experimentales. De cada lote se tomaron 300 g de café verde, se molieron en frío con nitrógeno líquido en molino para café verde y se prepararon para los análisis químicos.

Tratamientos. Se evaluaron trece tratamientos de tostación de cuatro temperaturas iniciales (185, 190, 195 y 200°C), cada una con tres temperaturas finales (175, 180 y 185 °C) y un tratamiento de temperatura inicial de 210°C con una temperatura final de 180°C. La unidad experimental estuvo conformada por 150 g de café verde y por cada tratamiento de tostación se evaluaron seis unidades experimentales, asignadas a los tratamientos, de acuerdo con el diseño experimental completamente aleatorio.

Tostación. Las muestras de café se tostaron en tostadora marca Quantik TC300AR, con capacidad de 150 g de café verde en cada tambor giratorio y con calentamiento eléctrico. Mediante el panel digital se fijaron las temperaturas inicial y final, y la potencia se estableció en 100%. Durante la tostación, todas las muestras de café pasaron por la desecación, se observaron los cambios de color, se escuchó la primera crepitación antes de culminar el proceso. Al alcanzarse la temperatura final del tratamiento se descargó el café tostado en bandejas y se enfrió con ventilador, luego se empacó en bolsas de tres láminas con válvula para la desgasificación. Se registró el tiempo total entre la carga y el descargue del café de la tostadora con un cronómetro, se cuantificó la pérdida de masa mediante la diferencia de pesos entre el café verde y tostado, medidos

en una balanza digital; el color del tostado molido se analizó con las tarjetas Agtron SCA en las cuales, los valores 75 a 95 corresponden a tostación clara o canela, 55 a 65 a tostación media y de 25 a 45 a tostación oscura.

Molienda. El café tostado se molió un día después de su tostación en molino de café marca Probat Kenia a un tamaño de partícula entre 500 a 710 micrómetros (mallas 32 a 24 serie Tyler USA).

Variables respuesta. En el café verde y tostado se midieron las concentraciones de lípidos, proteína, cafeína, trigonelina, teobromina, sacarosa, glucosa, fructosa, ácidos oxálico, cítrico, tartárico, málico, quínico, succínico, láctico, fórmico y acético; proporción de ácidos

grasos palmítico, linoleico, oleico, esteárico y araquídico en relación con el total de lípidos. Se usaron métodos estandarizados de la química analítica y técnicas de cromatografía para el análisis de los compuestos químicos del café (Tabla 1). Todos los resultados se expresan en base húmeda. En la cromatografía se determinaron juntos los ácidos glicólico y succínico, que en adelante se expresará en el texto solo como ácido succínico.

Análisis estadístico. Se estimaron la media y el error estándar de las variables respuesta tiempo, color y pérdida de masa, y los mínimos, máximos, promedio y error para las variables químicas. Se hizo el análisis de varianza para evaluar el efecto de la temperatura inicial, de la final y de los tratamientos en cada una de las

Tabla 1. Metodologías de análisis de los compuestos químicos del café verde y tostado.

Compuestos	Método de análisis	Técnica y equipos
Lípidos totales	AOAC 963.15	Gravimétrico, Soxhlet, balanza, rota evaporador, estufa, desecador.
Ácidos grasos	AOAC 969.33	Cromatógrafo de gases Hewlett Packard HP-6890, con detector de masas MSD 5893, columna: HP-5MS 5% Phenyl Methyl siloxane, 30 m, 0,25 mm ID, 0,25 µm (HP-19091S-433)
Proteína	Factor 6,25 del contenido de Nitrógeno (AOAC 990.03-2002)	Combustión total, Dumas, analizador elemental CHN TruSpec, marca LECO
Cafeína y otros alcaloides	ISO 20481:2008	Cromatografía HPLC Waters 600E, detector PDA 996, Columna Symmetry C18 (5 µm X 4.6 mm X 250 mm), Ref WAT054275, balanza, centrifuga, reflujo.
Azúcares	Waters Application Notes: Analysis of sugars LAH-0210	Cromatografía HPLC Waters 600E, detector IR-410, columna Sugar-Pak 1 (6,5 µm X 300 mm), Ref. WAT085188, balanza, centrifuga, reflujo.
Ácidos alifáticos	Agilent Technologies, Inc. (Publicación No.5990-8264EN).	Cromatografía líquida HPLC Waters 600E, detector PDA 996, columna Agilent Hi-Plex H, 7,7 × 300 mm, 8 µm Ref. PL170-6830PDA, balanza.

variables químicas y la comparación Tukey al nivel del 5%. Se analizó la variación entre el café verde y el café tostado de los contenidos químicos. Se realizaron regresiones entre las concentraciones de los compuestos químicos del grano de café tostado respecto a las temperaturas de tostación de café, el ajuste se realizó con el criterio de los mínimos cuadrados promedio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los contenidos químicos medios del café verde y tostado se observan en la Tabla 2. En el café verde no hubo diferencias significativas en los contenidos de lípidos, proteínas, azúcares, alcaloides, ni ácidos, a las temperaturas iniciales de tostación.

Con el incremento de la temperatura final de torrefacción se incrementó el tiempo, la pérdida de masa y el color del café tostado cambió a un marrón más oscuro (menor valor Agron). A las temperaturas finales de 175, 180 y 185°C, los valores medios de color del café y de la pérdida de masa correspondieron a tostaciones grado medio (Tabla 3).

Con el incremento en la temperatura final de tostación, disminuyeron en relaciones lineales las concentraciones de la sacarosa, la trigonelina y los ácidos cítrico y málico del café tostado, por el contrario, aumentaron los contenidos de ácidos acético, láctico, succínico, oxálico y fórmico (Figura 1).

Lípidos. En promedio, el café verde contenía 9,4% (10,6% b.s.) y el tostado 13,1% (13,2% b.s.) de lípidos. Se observó disminución de los lípidos con el aumento de las temperaturas inicial y final, con valor de 11,4% en café tostado a 210-180°C, estadísticamente menor con respecto a los otros tratamientos. (Puerta, 2011) registró de 13,1% a 15,5% b.s. de lípidos en cinco variedades de café arábica y en el

tostado 11,5% para la variedad Colombia, 12,1% para Caturra y 12,8% para Típica.

Los ácidos grasos en el café verde contenían palmítico (39,5%), linoleico (31,5%), oleico (11,4%), esteárico (8,9%) y araquídico (4,4%), y en el café tostado se encontraron proporciones similares (Tabla 2). En otros estudios, solo el ácido linoleico disminuyó a temperaturas de tostación de 242 a 254°C (Speer & Koölling-Speer, 2001).

En otros trabajos se cuantificó 44,1% de linoleico, 33,3% de palmítico, 3,5% de araquídico, 0,6% de linolénico y menos de 1,0% de mirístico, palmitoleico, eicosenoico y behénico en café verde de arábica y robusta (Martín, Pablos, González, Valdenebro, & León-Camacho, 2001); para las variedades Borbón y Mundo Novo de Brasil, se registró en café verde 34,5% de palmítico, 39,5% de linoleico, 3,1% de araquídico, entre otros ácidos grasos (Figueiredo *et al.*, 2015).

En café arábica de Colombia se encontraron valores de 11,1% a 16,9% (b.s.) de lípidos conformados por linoleico 39,0%, palmítico 37,0%, oleico 8,7%, esteárico 8,1%, araquídico 3,2%, linolénico 1,4% y behénico 0,8% (Villarreal, Baena, & Posada, 2012).

Proteína. La proteína cruda conformó el 12,7% en promedio en el café verde y el 15,7% en el tostado (Tabla 2). Puerta (2011) cuantificó de 13,9% a 14,8% de sustancias proteicas en las variedades Típica, Caturra, Borbón y Colombia en estado verde y de 13,8% a 14,0% en el tostado. De otra parte, en el endospermo del café se estimó un contenido de 50% de proteínas de almacenamiento que representaban del 5,0% al 7,0% b.s. del peso del grano (Rogers, Bezar, Deshayes, Petiard, & Marraccini, 1997) y en otros trabajos se registró 9,8% de proteína y 0,5% de aminoácidos en

Tabla 2. Composición química café arábica verde y tostado, procesado por fermentación sumergida.

Compuesto químico	Unidad	Café verde					Café tostado				
		Error estándar de la media					Error estándar de la media				
		Mínimo	Máximo	Promedio			Mínimo	Máximo	Promedio		
Lípidos		9,04	9,77	9,36	0,16	10,74	14,55	13,11			0,11
Ácido araquídico		4,19	4,57	4,44	0,09	3,75	5,15	4,40			0,04
Ácido esteárico		8,51	9,23	8,94	0,17	7,57	9,89	8,86			0,06
Ácido linoleico		30,63	32,75	31,52	0,45	29,31	38,87	33,71			0,33
Ácido oleico		10,42	11,95	11,43	0,34	8,58	12,51	10,66			0,12
Ácido palmítico	%	38,83	40,13	39,45	0,28	33,94	42,28	38,35			0,26
Proteína		12,63	12,81	12,72	0,09	14,00	21,19	15,68			0,12
Cafeína		1,01	1,07	1,04	0,03	1,13	1,37	1,28			0,01
Trigonelina		0,88	0,92	0,90	0,02	0,49	0,98	0,82			0,01
Sacarosa		4,47	4,88	4,69	0,08	0,00	0,36	0,12			0,01
Glucosa		nd	nd	nd	nd	0,00	4,02	0,24			0,06
Fructosa		0,61	0,81	0,71	0,05	0,35	4,91	1,17			0,07
Ácido acético		nd	nd	nd	nd	2,35	5,90	4,37			0,08
Ácido cítrico		8,34	8,71	8,53	0,19	5,05	8,76	6,88			0,11
Ácido fórmico		0,00	0,53	0,27	0,27	2,98	11,90	7,36			0,21
Ácido láctico		nd	nd	nd	nd	0,00	0,52	0,11			0,02
Ácido málico		3,77	5,14	4,45	0,68	0,68	6,32	2,89			0,17
Ácido oxálico		0,06	0,12	0,09	0,03	0,08	0,14	0,10			0,00
Ácido succínico (y/o glicólico)	g kg ⁻¹	0,58	0,85	0,71	0,13	1,47	9,40	4,87			0,20
Ácido tartárico		nd	nd	nd	nd	0,00	0,05	0,001			0,001
Ácido quínico		3,45	4,48	3,97	0,51	5,33	16,61	10,01			0,31

nd: no detectado.

Tabla 3. Valores medios del tiempo, color y pérdida de masa del café en relación con la temperatura final de tostación.

Temperatura final de tostación (°C)	Tiempo de tostación (min)		Color del café tostado, Agtron, SCA		Pérdida de masa en la tostación (%)	
	Promedio	Error estándar de la media	Promedio	Error estándar de la media	Promedio	Error estándar de la media
175	9,8	0,2	62	1,5	16,0	0,3
180	10,7	0,3	61	1,7	16,2	0,3
185	11,8	0,5	55	1,8	17,0	0,4

café verde y 7,5% de proteína en café tostado de arábica (Illy & Viani, 2005).

En esta investigación se cuantificó un mayor contenido de proteínas (17,4%) para el tratamiento a 200-180°C que se diferenció de los tratamientos de temperatura final de 175°C (promedio 15,0%) y de 185-180 y 190-180°C (promedios de 15,3%). Bonnländer *et al.* (2005) explicaron que en la tostación del café toda la proteína del café verde se transforma en varios isómeros y aminoácidos libres, y aunque la cantidad total de proteínas es similar en el verde y tostado, se pierde mayor cantidad de compuestos amino en las tostaciones oscuras.

Alcaloides. La cafeína en el café verde varió entre 1,01% y 1,07% en promedio y en el tostado de 1,13% a 1,37%. Puerta (2011) cuantificó de 1,13% a 1,20% b.s. en café verde arábica y de 1,27% a 1,39% b.s. en tostado. La cafeína no varió significativamente con las temperaturas de tostación. La trigonelina en el café verde constituyó el 0,9% y en el tostado disminuyó hasta 0,8%. Se observó efecto significativo de la temperatura final en el contenido de trigonelina del café tostado. Los tratamientos con temperaturas finales de 185 y 180°C presentaron valores inferiores de trigonelina. Se hallaron trazas de teobromina en el tostado (promedio 0,05 y máximo de 0,075 g kg⁻¹).

Bicho *et al.* (2011) tostaron café de Brasil e India por 7, 9 y 11 minutos a 220°C y dedujeron que la cafeína era estable durante la tostación, cuantificaron en arábica de 1,23% a 1,38% y en robusta de 2,16% a 2,33%; por el contrario, la trigonelina disminuyó con el grado de torrefacción, en arábica de 1,29% a 0,55% y en robusta de 0,90% a 0,57%. En la tostación del café, a partir de la trigonelina se forman varios compuestos volátiles como piridina, pirroles y ácidos como el nicotínico (Homma, 2001; Stennert & Maier, 1994). Mehari *et al.* (2016) detectaron trigonelina, teobromina y cafeína en café arábica de diferentes variedades etíopes, la teobromina no se halló en cafés de la variedad Harar.

Azúcares. La sacarosa del café verde en promedio de 4,7% (5,2% b.s.) disminuyó en el tostado a un valor medio observado de 0,4% en los tratamientos a 185°C de temperatura final. Silwar y Lüllman (1988) citados por Bradbury (2001) encontraron de 6,3 a 8,5% de sacarosa en café arábica de 13 países. La sacarosa constituyó del 5,1 a 9,4% b.s. en café verde arábica y 4,0 a 7,0% en robusta (Ledl & Schleicher, 1990) y en café de Brasil 9,7% b.s. (Borém *et al.*, 2016).

En el café verde se determinó 0,7g kg⁻¹ de fructosa y no se detectó glucosa, mientras que en el café tostado si se cuantificaron glucosa

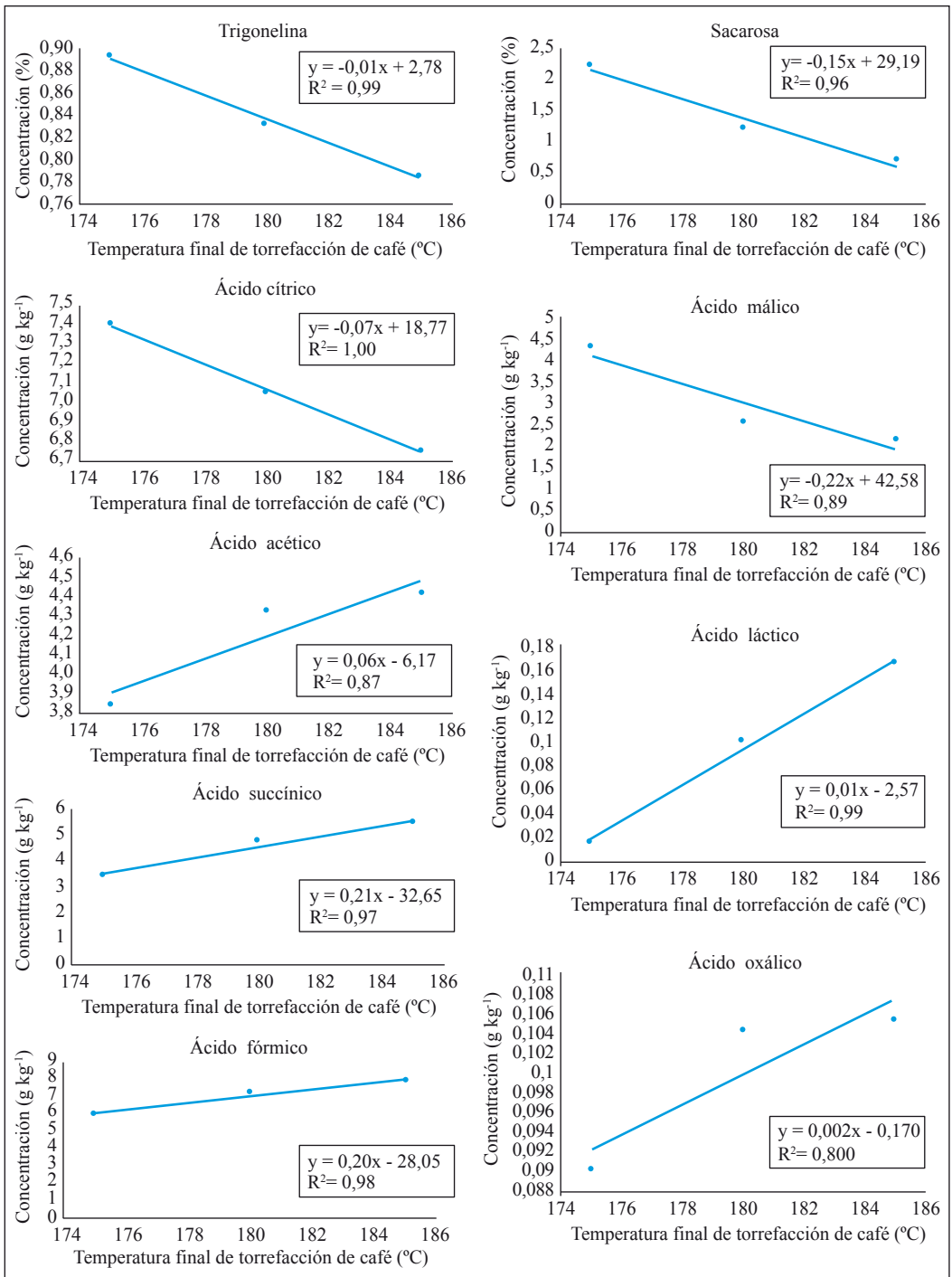


Figura 1. Relaciones entre las concentraciones de compuestos químicos del café tostado y la temperatura final de tostación, intervalo de confianza 95%.

y fructosa como productos de la hidrólisis de los carbohidratos por el efecto del calor.

La reacción de Maillard ocurre entre azúcares reductores y compuestos nitrogenados reactivos (aminoácidos, grupos amino libres en proteínas y péptidos) (Illy & Viani, 2005; Ledl & Schleicher, 1990). En la tostación la sacarosa del café verde se hidroliza y carameliza y se generan pigmentos, compuestos volátiles y varios ácidos (Bähre y Maier, 1996, 1999; Bähre, 1997, citado por Balzer, 2001; Illy & Viani, 2005).

Se observaron efectos significativos de las temperaturas inicial y final y de los tratamientos de tostación en el contenido de sacarosa del café tostado y una relación directa con la temperatura inicial e inversa con la temperatura final. En el tratamiento 195-175°C se halló el mayor contenido medio de sacarosa (3,55%) y los menores se hallaron para tratamientos con temperaturas finales de 185° e iniciales de 185 y 190°C.

Ácido quínico. En el verde varió de 3,5 a 4,5 g kg⁻¹ y en el tostado de 5,3 a 16,6 g kg⁻¹. Estos resultados se comparan con publicaciones en verde de 3,3 a 6,1 g kg⁻¹ en café arábica y de 8,9 a 15,0 g kg⁻¹ en café tostado comercial (Van der Stegen & Van Duijn, 1987). En café verde de Colombia 5,5 (Kampmann & Maier, 1982) y 6,9 g kg⁻¹ (Weers, Balzer, Bradbury, & Vitzthum, 1995) y en tostado 8,8 a 10,0 g kg⁻¹ (Weers *et al.*, 1995).

El ácido quínico da notas amargas y ácidas a la bebida y aumentó significativamente en el café tostado a 210-180°C (15,6 g kg⁻¹). Se ha demostrado que por el efecto de la temperatura en la torrefacción del café se forman varios ácidos fenólicos y lactonas (Bennat *et al.*, 1994; Clifford, 2006; Leloup, Louvrier & Liardon, 1995). Scholz & Maier (1991) determinaron isómeros de ácido quínico,

quinidas y lactonas en café arábica tostado a 240°C, por 10 minutos; el ácido quínico se incrementó desde el inicio de la tostación del café y a altos grados permaneció constante, aunque los isómeros aumentaron.

Ácidos carboxílicos alifáticos. El café verde estuvo conformado en promedio por 14,1 g kg⁻¹ (16,0 g kg⁻¹ en b.s.) de los ácidos cítrico, málico, fórmico y succínico y no se detectó láctico, acético, ni tartárico, (Tabla 2). En otros estudios se cuantificaron ácidos en café, así: 13,2 g kg⁻¹ (b.s.) de cítrico, 5,0 g kg⁻¹ de málico y menos de 0,9 g kg⁻¹ de láctico, acético y oxálico (Borém, Figueiredo, Ribeiro, Taveira, Giomo & Salva, 2016). En café verde arábica se registraron 12,0 g kg⁻¹ de cítrico y 6,0 g kg⁻¹ de málico (Kampmann & Maier, 1982; Scholz & Maier, 1991) y de 5,0 a 15,0 g kg⁻¹ de cítrico, 3,0 a 7,0 g kg⁻¹ de málico, 1,5 g kg⁻¹ de succínico, 1,4 g kg⁻¹ de fórmico y trazas de acético (Van der Stegen & Van Duijn, 1987).

En el café tostado el contenido de ácidos alifáticos varió entre 20,0 y 33,0 g kg⁻¹ (promedio 27,0 g kg⁻¹) que dependió de las temperaturas de torrefacción. Se observó un incremento del ácido cítrico con la elevación de la temperatura inicial y una reducción significativa de 17,6% en el tostado a las temperaturas de 175 y 180°C y de 24,5% a 185°C con respecto al verde. El tratamiento 210-180°C con 8,3 g kg⁻¹ de cítrico se diferenció de los tratamientos con temperatura inicial de 185°C y de los tratamientos 195-180°C, 195-185°C, 190-185°C.

El ácido málico aumentó moderadamente con el incremento de la temperatura inicial y se redujo significativamente con respecto al verde un 45,3% en los tratamientos con temperatura final de 175°C, 11,4% a 180°C y 30,8% a 185°C. Para una pérdida de materia orgánica de 6,4%, disminuyeron los ácidos

cítrico (13,1 g kg⁻¹) y málico (4,0 g kg⁻¹) en el café verde a 6,3 g kg⁻¹ y 2,0 g kg⁻¹ en el café tostado (Weers *et al.*, 1995).

La concentración de ácido acético del café tostado disminuyó en relación lineal inversa con la temperatura inicial de tostación (Figura 2) y estadísticamente se diferenciaron las medias en tres grupos: 185°C (4,80 g kg⁻¹), 190 a 200°C (4,38 g kg⁻¹) y 210°C (3,12 g kg⁻¹).

El ácido acético se formó en la tostación y alcanzó un promedio de 4,4 g kg⁻¹ en café tostado a 180 y 185°C temperatura final, diferente al valor de 3,85 g kg⁻¹ a 175°C. Los mayores contenidos de acético (5,1 g kg⁻¹) se hallaron en 185-185°C y 190-185°C de tostación. En otros estudios el acético también se incrementó a 4,9 g kg⁻¹ para 6,4% de pérdida de materia orgánica (Weers *et al.*, 1995). Michael Ginz *et al.* (2000) observaron un incremento del acético en robusta hasta 2,4 g kg⁻¹ a 240°C de temperatura final, seguido de un decremento hasta 0,5 g kg⁻¹ a los 280°C.

Igualmente, el ácido láctico se produjo en la tostación del café y el mayor valor (0,28 g kg⁻¹) se presentó en el tratamiento 190-185°C, con efecto significativo de la temperatura final. Weers *et al.* (1995) tampoco detectaron

ácido láctico en el café verde y en el tostado encontraron de 0,7 a 1,3 g kg⁻¹ según el grado de tostación; por su parte Michael Ginz *et al.* (2000) detectaron ácido láctico desde los 200°C y a 280°C, con una concentración de 0,8 g kg⁻¹.

Para tostaciones de café entre 11,6% y 17,8% de pérdida en masa disminuyeron los ácidos: cítrico de 8,7 a 5,5 g kg⁻¹ y málico de 3,9 a 2,4 g kg⁻¹ en el café tostado; el ácido láctico aumentó de 0,8 a 3,2 g kg⁻¹; el acético de 1,1 g kg⁻¹ a la pérdida inicial aumentó de 3,1 g kg⁻¹ a 15,0 g kg⁻¹ y luego disminuyó de 2,2 g kg⁻¹ a 17,8% de pérdida de masa (Blanc, 1977).

El ácido succínico del café tostado a 175°C presentó un valor cinco veces superior al contenido en el café verde y aumentó a un promedio de 6,0 g kg⁻¹ en los tratamientos a 185°C temperatura final. Weers *et al.* (1995) no detectaron ácido succínico, ni glicólico en el café verde, mientras que en el tostado hallaron entre 0,2 y 0,4 g kg⁻¹ de succínico y de 1,3 a 2,0 g kg⁻¹ de glicólico, según el grado de tostación. Por su parte, Michael Ginz *et al.* (2000) cuantificaron 0,4 g kg⁻¹ a 220°C y 0,5 g kg⁻¹ a 280°C de ácido glicólico en el café tostado.

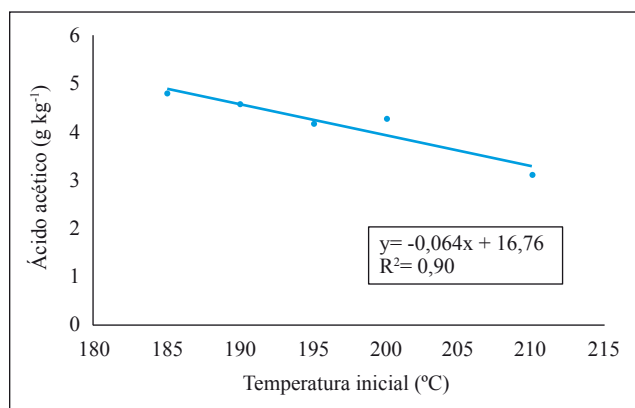


Figura 2. Relación entre la concentración de ácido acético del café tostado con la temperatura inicial de tostación, intervalo de confianza 95%.

El ácido fórmico disminuyó al incrementarse la temperatura inicial y en los tratamientos con temperatura final de 175°C alcanzó un valor 25 veces superior al café verde y aumentó a 9,0 g kg⁻¹ de forma significativa con la elevación de la temperatura final de tostación. Por el contrario, Weers *et al.* (1995) no detectaron ácido fórmico en el café verde, aunque observaron un incremento en la tostación media y luego disminución para tostaciones altas. (Michael Ginz *et al.*, 2000) midieron un valor máximo de 2,0 g kg⁻¹ de fórmico a 240°C y 0,5 g kg⁻¹ en la tostación de 280°C.

Solo se detectaron trazas de ácido tartárico en el café tostado. El ácido oxálico se incrementó entre un 11% y 22% con respecto al café verde en los tratamientos con temperatura final de tostación de 180°C y 185°C. En café de Brasil, se cuantificó ácido oxálico en menor concentración en las muestras que tuvieron mayores puntajes de calidad en taza (Borém *et al.*, 2016). Lentner & Deatherage (1959) no detectaron ácidos tartárico ni oxálico en el café tostado.

Puede concluirse que, al aumentar la temperatura inicial de tostación del café, los contenidos de lípidos y ácido acético disminuyen, por el contrario, las concentraciones de los ácidos quínico y cítrico aumentan. Con el incremento de la temperatura final de torrefacción del café decrecen las concentraciones de sacarosa, trigonelina y de los ácidos cítrico y málico, en contraste, se incrementan los contenidos de ácidos acético, láctico, succínico, fórmico y oxálico. Al mismo tiempo, es mayor el tiempo de tostación y la transferencia o pérdida de masa, de igual forma el color del grano se vuelve más oscuro.

Las relaciones entre las concentraciones de los compuestos químicos del café respecto a las temperaturas de torrefacción presentadas

en esta investigación pueden contribuir a la obtención de consistencia en la composición química y calidad del café, mediante la fijación de las temperaturas de tostación.

AGRADECIMIENTOS

Al personal de la Estación Naranjal y del laboratorio de Calidad de Cenicafé. Estos resultados son parte de las investigaciones del proyecto CAL106002 “Relaciones entre los procesos termoquímicos de la tostación y la calidad de cafés especiales” que se financió con recursos de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.

LITERATURA CITADA

- Balzer, H. H. (2001). Chemistry I: Non-Volatile Compounds: Acids in Coffee. En R.J. Clarke & O.G. Vitzthum (Eds.), *Coffee: Recent developments* (pp. 18-32). <https://doi.org/10.1002/9780470690499.ch1b>
- Bennat, C., Engelhardt, U. H., Kiehne, A., Wirries, F.-M., & Maier, H. G. (1994). HPLC analysis of chlorogenic acid lactones in roasted coffee. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung*, 199(1), 17-21.
- Bicho, N. C., Leitao, A. E., Ramalho, J. C., & Lidon, F. C. (2011). Identification of chemical clusters discriminators of the roast degree in Arabica and Robusta coffee beans. *European Food Research and Technology*, 233(2), 303-311.
- Blanc, M. B. (1977). Les acides carboxyliques du café: Mise au point et résultats de différentes déterminations. *ASIC 1977: 8th International Scientific Colloquium on Coffee*, 73-78. Abidjan, Costa de Marfil.
- Bonnländer, B., Eggert, R., Engelhardt, U. H., & Maier, H. G. (2005). Roasting. En A. Illy & R. Viani (Eds.), *Espresso coffee: The science of quality* (pp.179-214). Academic Press.
- Borém, F. M., Figueiredo, L. P., Ribeiro, F. C., Taveira, J. H., Giomo, G. S., & Salva, T. (2016). The relationship between organic acids, sucrose and the quality of specialty coffees. *African Journal of Agricultural Research*, 11(8), 709-717.

- Bradbury, A. G. W. (2001). Chemistry I: Non-Volatile Compounds: Carbohydrates. En R.J. Clarke & O.G. Vitzthum (Eds.), *Coffee: Recent developments* (pp. 1-17). <https://doi.org/10.1002/9780470690499.ch1a>
- Chung, H.-S., Kim, D.-H., Youn, K.-S., Lee, J.-B., & Moon, K.-D. (2013). Optimization of roasting conditions according to antioxidant activity and sensory quality of coffee brews. *Food Science and Biotechnology*, 22(1), 23-29.
- Clifford, M. N. (2006). Chlorogenic Acids: Their Characterisation, Transformation during Roasting, and Potential Dietary Significance. *ASIC 2006: 21th International Scientific Colloquium on Coffee*, 36-49. Montpellier, Francia.
- Clifford, M. N., & Kazi, T. (1987). The influence of coffee bean maturity on the content of chlorogenic acids, caffeine and trigonelline. *Food Chemistry*, 26(1), 59-69.
- Deshpande, S. N., & Aguilar, A. A. (1975). Effects of roasting temperatures and gamma irradiation on the content of chlorogenic acid, caffeic acid and soluble carbohydrates of coffee. *The International Journal of Applied Radiation and Isotopes*, 26(11), 656-661. [https://doi.org/10.1016/0020-708X\(75\)90021-6](https://doi.org/10.1016/0020-708X(75)90021-6)
- Eggers, R., Von Blittersdorf, M., Fischer, C., & Cammenga, H. K. (2004). Temperature Field During Roasting and Cooling of Coffee Beans. *ASIC 2004: 20th International Scientific Colloquium on Coffee*, 69. Bangalore, India.
- 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>
- Figueiredo, L. P., Borem, F. M., Ribeiro, F. C., Giomo, G. S., da Silva Taveira, J. H., & Malta, M. R. (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.
- Flament, I. (2001). *Coffee flavor chemistry*. New York: John Wiley & Sons.
- Franca, A. S., Oliveira, L.S., Oliveira, R.C.S., Mancha A., P.M., & Augusti, R. (2009). A preliminary evaluation of the effect of processing temperature on coffee roasting degree assessment. *Journal of Food Engineering*, 92(3), 345-352.
- Ginz, M., & Engelhardt, U. H. (2001). Analysis of bitter fractions of roasted coffee by LC-ESI-MS -new chlorogenic acid derivatives; Proceedings. *ASIC 2001: 19th International Scientific Colloquium on Coffee*, 5. Trieste, Italia.
- Ginz, M., Balzer, H. H., Bradbury, A. G., & Maier, H. G. (2000). Formation of aliphatic acids by carbohydrate degradation during roasting of coffee. *European Food Research and Technology*, 211(6), 404-410.
- Gloess, A. N., Vietri, A., Wieland, F., Smrke, S., Schönbacher, B., López, J. A. S., ... Yeretzyan, 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>
- Gretsch, C., Sarrazin, C., & Liardon, R. (1999). Evolution of coffee aroma characteristics during roasting. *ASIC 1999: 18th International Scientific Colloquium on Coffee*, 27-34. Helsinki, Finlandia.
- Holscher, W., Vitzthum, O. G., & Steinhart, H. (1990). Identification and sensorial evaluation of aroma-impact-compounds in roasted Colombian coffee. *Cafe-cacao-the*, 34(3), 205-212.
- Homma, S. (2001). Chemistry II: Non-Volatile Compounds, Part II. En R.J. Clarke & O.G. Vitzthum (Eds.), *Coffee: Recent developments* (pp. 50-67). <https://doi.org/10.1002/9780470690499.ch2>
- Illy, A., & Viani, R. (2005). *Espresso coffee: The science of quality*. Academic Press.
- Kampmann, B., & Maier, H. G. (1982). Säuren des Kaffees. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung*, 175(5), 333-336.
- Ky, C.-L., Louarn, J., Dussert, S., Guyot, B., Hamon, S., & Noiro, M. (2001). Caffeine, trigonelline, chlorogenic acids and sucrose diversity in wild *Coffea arabica* L. and *C. canephora* P. accessions. *Food chemistry*, 75(2), 223-230.
- Ledl, F., & Schleicher, E. (1990). New Aspects of the Maillard Reaction in Foods and in the Human Body. *Angewandte Chemie International Edition in English*, 29(6), 565-594. <https://doi.org/10.1002/anie.199005653>
- Leloup, V., Louvrier, A., & Liardon, R. (1995). Degradation mechanisms of chlorogenic acids during roasting. *ASIC 1995: 16th International Scientific Colloquium on Coffee*, Kyoto, 192-198. Kyoto, Japan).
- Clifford, M. N. (2006). Chlorogenic Acids: Their Characterisation, Transformation during Roasting, and Potential Dietary Significance. *ASIC 2006: 21th*

- International Scientific Colloquium on Coffee, 36-49. Montpellier, Francia.
- Lentner, C., & Deatherage, F. E. (1959). Organic acids in coffee in relation to the degree of roast. *Journal of Food Science*, 24(5), 483-492. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1959.tb17299.x>
- Ludwig, E., Raczek, N. N., & Kurzrock, T. (1995). Contribution to composition and reactivity of coffee protein. *ASIC 1995: 16th International Scientific Colloquium on Coffee*, 359-365. Kyoto, Japón.
- Lyman, D. J., Benck, R., Dell, S., Merle, S., & Murray-Wijelath, J. (2003). FTIR-ATR analysis of brewed coffee: Effect of roasting conditions. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51(11), 3268-3272.
- Marín, C., & Puerta, G. I. (2008). Contenido de ácidos clorogénicos en granos de coffeea arabica lyc canephora según el desarrollo del fruto. *Revista Cenicafé*, 59(1), 7-28.
- 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)
- Mehari, B., Redi-Abshiro, M., Chandravanshi, B. S., Atlabachew, M., Combrinck, S., & McCrindle, R. (2016). Simultaneous determination of alkaloids in green coffee beans from Ethiopia: Chemometric evaluation of geographical origin. *Food analytical methods*, 9(6), 1627-1637.
- Munari, M., Mastrocola, D., Nicoli, M. C., & Severini, C. (1997). Cinetiche di formazione delle sostanze volatili durante la tostatura del caffè. *Industria Alimentari*, 36(358), 454-459.
- Nakabayashi, T., & Kojima, Y. (1980). Changes in the Quinic Acid Contents of Coffee Beans in the Process of Roasting. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, 27(3), 108-111.
- Ortolá, M. D., Londoño, L., Gutiérrez, C. L., & Chiralt, A. (1998). Influence of roasting temperature on physicochemical properties of different coffees. *Food science and technology international*, 4(1), 59-66.
- Puerta, G. I. (1998). Calidad en taza de las variedades de *Coffea arabica* L cultivadas en Colombia. *Revista Cenicafé*, 49(4), 265-278.
- Puerta, G. I. (2000). Calidad en taza de algunas mezclas de variedades de café de la especie *Coffea arabica* L. *Revista Cenicafé*, 51(1), 5-19.
- Puerta, G. I. (2011). Composición química de una taza de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 414, 1-12.
- Puerta, G. I. (2012). Factores, procesos y controles en la fermentación del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 422, 1-12. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10778/327>
- Puerta, G. I. (2014). Development of controlled fermentation processes to add value to coffee quality. *ASIC 2014: 25th International Scientific Colloquium on Coffee*, 42-45. Armenia, Colombia.
- Puerta, G. I., & Echeverry, J. G. (2015). Fermentación controlada del café: Tecnología para agregar valor a la calidad. *Avances Técnicos Cenicafé*, 454, 1-12.
- Rogers, W. J., Bezard, G., Deshayes, A., Petiard, V., & Marraccini, P. (1997). An 11S-type storage protein from *Coffea arabica* L. endosperm: Biochemical characterization, promoter function and expression during grain maturation. *ASIC 1997: 17th International Scientific Colloquium on Coffee*, 220-229. Nairobi, Kenya.
- Scholz, B. M., & Maier, H. G. (1991). Isomers of quinic acid and quinides in roasted coffee: ¿indicators for the degree of roast? *ASIC 1991: 14th International Scientific Colloquium on Coffee*, 220-229. San Francisco, Estados Unidos.
- Speer, K., & Koölling-Speer, I. (2001). Chemistry I: Non-Volatile Compounds: Lipids. En R.J. Clarke & O.G. Vitzthum (Eds.), *Coffee: Recent developments* (pp. 33-49). <https://doi.org/10.1002/9780470690499.ch1c>
- Speer, K., Sehat, N., & Montag, A. (1993). Fatty acids in coffee. *ASIC 1993: 15th International Scientific Colloquium on Coffee*, 583-592. Montpellier, Francia.
- Stennert, A., & Maier, H. G. (1994). Trigonelline in coffee. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung*, 199(3), 198-200.
- Van der Stegen, G. H. D., & Van Duijn, J. (1987). Analysis of normal organic acids coffee. *ASIC 1987: 12th International Scientific Colloquium on Coffee*, 238-246. Montreux, Suiza.
- Villarreal, D., Baena, L. M., & Posada, 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.
- Weers, M., Balzer, H., Bradbury, A., & Vitzthum, O. G. (1995). Analysis of acids in coffee by capillary electrophoresis. *ASIC 1995: 16th International Scientific Colloquium on Coffee*, Kyoto, 218-223. Kyoto, Japan).