

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA MICROESTRUCTURA DE CAFÉ
Y ÁCIDOS CLOROGÉNICOS DURANTE EL PROCESO DE TORREFACCIÓN**
Estudio de caso Tecnoparque Agroecológico Yamboró

**A STUDY ABOUT THE MICROSTRUCTURE BEHAVIOUR OF COFFEE
AND CHLOROGENIC ACIDS DURING ROASTING**
A case study in “Tecnoparque Agroecológico Yamboró”

Carlos Andrés Arcos Avila¹
Jemid Gasca Vargas²
Solangie Rengifo Pérez³
Lyria Yesenia Silva Meneces⁴
María Margarita Tovar Molina⁵
Oscar Mauricio Triviño⁶

| Recibido: 16 de Mayo de 2014 | Revisado: 22 de Mayo de 2014 | Aceptado: 03 de Junio de 2014 |

Resumen

Las variedades de café arábica (*Coffea arabica* L.) presentan excelente calidad con sabores suaves, aromas intensos y acidez agradable; cualidades dadas por la genética de la planta y los componentes químicos naturales del grano de café que varían según su producción, procesos en las fincas, almacenamiento, comercialización, tostión y preparación. El presente estudio se realizó con granos de café almendra variedad Colombia cultivada en el municipio de Pitalito (Huila), a partir del cual se observó una relación entre el contenido de ácidos clorogénicos totales determinado por espectroscopia UV y la microestructura del grano observada por Microscopia Electrónica de Barrido, y analizando los poros formados con respecto a dos tratamientos de tostión a los que fueron sometidos.

Palabras Clave: Café, torrefacción, microestructura, ácido clorogénico.

Abstract

The varieties of Arabica coffee (*Coffea arabica* L.) have excellent quality due to their soft flavors, intense aroma and pleasant acidity. These qualities are produced by the plant genetics and the natural chemical components of the coffee bean that vary according to their production, processing in farms, storage, marketing, roasting and preparation. This study was performed using Colombia variety almond coffee beans grown in Pitalito (Huila), from which a relationship between the content of total chlorogenic acids determined by a UV spectroscopy and the bean microstructure was observed; this relationship was remarked in an electron microscopy scanning. The pores formed by the two different roasting treatments they were put through were analyzed as well.

Keywords: Coffee, roasting, microstructure, chlorogenic acid.

^{1, 2, 4, 5, 6} Grupo de Investigación Yamboró. Instructor Centro de Gestión y Desarrollo Sostenible Surcolombiano, Pitalito Huila. Autor para correspondencia: E-mail: carcosa@misena.edu.co
³ Aprendiz Centro de Gestión y Desarrollo Sostenible Surcolombiano, Pitalito Huila

Introducción

El café es el segundo producto más comercializado en el mundo después del petróleo y es una de las bebidas más populares, debido a su sabor y características sensoriales únicas. Actualmente la producción mundial es de 6,3 millones de toneladas anuales. En Colombia, el café es el producto insignia de la economía con una producción de 7,2 x 10⁴ toneladas anuales, es decir, 11,4 % de participación en el mercado mundial; lo cual convierte a este producto agrícola en fuente vital del crecimiento económico y del desarrollo industrial (Naranjo et al 2011). Los principales departamentos productores son: Quindío y Risaralda, no obstante en el sur de la Cordillera andina, el departamento del Huila ha comenzado a ganar escalones en producción de grano así como también ha iniciado a tomar el liderazgo por la calidad de taza en Colombia y el mundo (Puerta et al 2003). Actualmente el precio de comercialización del café está dado según la calidad del grano y el proceso productivo. Por consiguiente, estudiar el comportamiento del grano de café en los procesos de transformación: torrefacción y tuestión podrían elucidar nuevas pistas para optimizar y estandarizar algunos procesos de tratamiento que permitan conservar las características fisicoquímicas relacionadas con la madurez, beneficio, fermentación, secado, almacenamiento y tuestión del grano, al igual que la preparación y los principales factores que influyen en la composición química y en la calidad del sabor, acidez, cuerpo, amargo, dulzor y aromas de una bebida de café (Puerta 2011).

Durante la tuestión, los granos de café desarrollan propiedades organolépticas especiales, relacionadas con el flavor, aroma y color. El proceso de tuestión se divide en dos fases principales: la fase de secado, donde la temperatura está alrededor de 160 ° C, seguido de la fase de tuestión, donde la temperatura del grano se incrementa hasta 260 ° C. Cuando la temperatura del café es aproximadamente de 175-185 ° C, se inician reacciones de pirólisis que se pueden percibir por un sonido conocido como “primer crack”(temperatura de crepitación), seguido de un “segundo crack” a 200°C aproximadamente (Gloess et al 2014). Estas reacciones igualmente causan oxidación, reducción, hidrólisis, polimerización, descarboxilación y muchos otros cambios químicos. *Es decir que la temperatura es el factor principal que define el color, sabor y aroma de los granos y por lo tanto su calidad* (Bottazi et al 2012).

De igual forma, la estructura del café, durante el proceso de tuestión sufre un hinchamiento entre 40% - 60% con un pérdida de alrededor del 20% de su peso,

al igual que la estructura del poro, la cual es dependiente de las condiciones de tiempo-temperatura de tuestión aplicadas. Las matrices de poros expandidos de los granos de café tostados están compuestos de células evacuadas con una estructura de paredes celulares. Las células evacuadas con un diámetro de 20 a 40 micras pueden ser consideradas como macroporos basados en la clasificación del tamaño del poro de la Unión Internacional de Química Pura Aplicada. Además, existen nanoporos dentro de las paredes de la células, con poros de diámetro típico del rango desde 20 hasta 50 nanómetros que pueden ser considerados como mesoporos (Wang et al 2014).

De otro lado, existen cerca de mil componentes originados durante la tuestión del café, los ácidos clorogénicos (CGA) son los que más influyen en la evaluación en taza. Estos ácidos clorogénicos están presentes principalmente como mono y di-ésteres, y conforman más de 40 ácidos (Marín y Puerta 2008). Entre los más importantes se encuentran los ácidos clorogénicos y quínicos que pueden formar lactonas durante la tuestión del café, el cual contribuye a incrementar la amargura de la bebida de café (Sunarharum et al 2014).

Los ácidos clorogénicos se encuentran en las paredes celulares, esterificados a los polisacáridos; son precursores de la lignina, influyen en la textura y la plasticidad, cumplen funciones similares al ácido indolacético y protegen contra microorganismos, la luz ultravioleta y daños físicos (Marín y Puerta, 2008).

El contenido de los ácidos clorogénicos se ha analizado por diferentes técnicas analíticas (Farah et al 2005; Gloess et al 2014; Ayelign y Sabally 2013) en granos de café según su origen, desarrollo, procesos de beneficio y tuestión. Durante la tuestión de la almendra de café, se producen diferentes reacciones de los ácidos clorogénicos y otros compuestos químicos que dependen del grado de tuestión. A medida que sucede la torrefacción se presentan isomerizaciones, donde se disminuye el isómero del ácido quínico (CQA) 5-CQA y aumentan los isómeros 4-CQA y 3-CQA (Marín y Puerta 2008); igualmente, una parte de los CGA se une a las melanoidinas (pigmentos) en la reacción de Maillard. La mayoría de los CGA se hidrolizan, entre 5 a 8% de éstos se transforma transitoriamente en quinolactonas de los ácidos clorogénicos (CGL), con un mayor contenido para el café tostado en grano medio, el cual contiene apenas 0,5% de CGA y 0,23% de 3-CQL (lactona del ácido cafeoil-quínico) y en total solamente 0,5% de quinolactonas; mientras que el café se tuesta en grado oscuro, los CGA y las CGL son totalmente transformados en compuestos como el catecol, guaia-

col y pirogalol (Marín y Puerta 2008).

El presente estudio se llevó a cabo mediante la formación por proyectos en el Centro de Gestión y Desarrollo Sostenible Surcolombiano-SENA Regional Huila. Se analizaron dos muestras de granos de café almendra variedad Colombia cultivado en el Municipio de Pitalito, (Huila). Se plantearon dos tratamientos referentes a dos métodos de tostión para ser analizados por espectroscopia UV con el fin de determinar el contenido de ácidos clorogénicos totales y luego caracterizados por Microscopia de Barrido Electrónico para observar su microestructura y poros del grano de café. A partir de los resultados obtenidos, se establecieron relaciones entre el contenido de ácidos clorogénicos totales y el tamaño de poro presente en las muestra de café según el tipo de tostión.

Metodología

Tostión de almendras de café

Se utilizó café de la variedad Colombia, cultivado en la Vereda Santa Inés ubicada en el municipio de Pitalito (Huila). El proceso de beneficio y preparación se realizó de forma tradicional con fermentación en tanque tina, por un tiempo de 14 horas, posteriormente secado al sol hasta obtener una humedad entre 10-12% en base húmeda (b.h). Posteriormente la muestra de café fue tostada con dos curvas de tostión durante 8,5 minutos para lo cual se empleó una tostadora de laboratorio San Fransiscan SF-1 de tambor rotatorio. El grado de tostión de las muestras se evaluó con un colorímetro Quantik digital IR-800. Los resultados arrojados por el equipo se dan en unidades Quantik que permiten la clasificación cualitativa según tablas proporcionadas por el fabricante.

Establecimiento del método de análisis de ácidos clorogénicos en muestras de café por espectroscopia UV

Inicialmente se realizó la estandarización de la técnica de cuantificación de ácidos clorogénicos totales por espectroscopia UV a partir del valor medido de la absorción de éstos y la curva de calibración homocedástica con previa validación del método analítico.

Para esto se efectuó el estudio de la relación lineal entre la concentración de CGA y la magnitud de la segunda derivada del espectro de absorción UV utilizando dos longitudes de onda en un espectrofotómetro marca GENESYS 10uv Scanning, Thermo Electron Corporation. Posteriormente se llevó a cabo la estandarización del

método analítico. Para ello se determinaron las condiciones óptimas de trabajo en el equipo de espectrofotometría UV, y se tuvo en cuenta los parámetros de: linealidad y precisión (repetitividad y reproducibilidad).

La linealidad se determinó con soluciones, preparadas a partir de un patrón estándar, para obtener concentraciones de 10 ppm a 120 ppm. Cada solución patrón se analizó por triplicado. Posteriormente, se trazó la curva de calibración a partir de las áreas bajo la curva y sus respectivas concentraciones. La precisión se midió por triplicado con base en las soluciones estándar. Adicionalmente, un estándar de 60 ppm fue medido 10 veces bajo las mismas condiciones la reproducibilidad del método analítico se determinó mediante la medición de tres soluciones, en cuatro días aleatorios durante 25 días.

La extracción de los ácidos clorogénicos totales se realizó por triplicado con la metodología de percolación en solución acuosa 95 °C durante 60 min. El extracto fue filtrado al vacío y a partir de éste se prepararon disoluciones que posteriormente fueron analizadas con un espectrofotómetro UV. La concentración de ácidos clorogénicos totales presentes en la muestra de café, se calculó interpolando la magnitud de la segunda derivada en la curva de calibración, y la magnitud de la segunda derivada en función de la concentración del ácido clorogénico, y posteriormente estableciendo el porcentaje en peso de ácidos clorogénicos totales presentes en la muestra analizada.

Análisis por microscopía electrónica de barrido

El análisis físico de los microporos se realizó a partir de muestras de almendras del grano de café obtenidas por dos tratamientos de tostión. De las cuales se tomaron ocho muestras representativas de cada bloque por el método de cuarteo. Cada almendra de café se sometió a tres cortes transversales homogéneos, que fueron verificados con un estereoscopio marca Nikon SMZ 745T. Posteriormente éstas muestras fueron analizadas mediante la técnica de microscopía electrónica de barrido (SEM) en un equipo EVO HD15, CARL ZEISS de 0-30 Kva. Las imágenes obtenidas permitieron realizar medidas de los microporos correspondientes al tejido parenquimatoso.

Análisis estadístico

Para la estandarización de la técnica de cuantificación de CGA se empleó la prueba t de student y para el tamaño de microporos según los tratamientos de

tostion se realizó un análisis de varianza y prueba de tukey ($p \leq 0.05$), en el programa SPSS para Windows, versión 10 SPSS Inc., Chicago, IL, EUA.

Resultados y discusión

Los resultados referentes al proceso de tostión (figura 1), muestran el comportamiento de la temperatura en función del tiempo durante los tratamientos de tostión, para el tratamiento uno se observa que la temperatura de precalentamiento (T_p) del grano es de 192°C , y desciende una temperatura mínima de $120,5^\circ\text{C}$ en el minuto uno, a partir del segundo minuto de tostión se observa incremento de temperatura hasta el minuto seis y medio de $176,2^\circ\text{C}$ hasta alcanzar la temperatura final de $184,6^\circ\text{C}$. Para el segundo tratamiento (figura 2) se tiene una temperatura de precalentamiento del grano de 194°C , y desciende hasta una temperatura mínima de $133,3^\circ\text{C}$ en el minuto uno, luego la temperatura de crepitación fue de $187,1^\circ\text{C}$ que posteriormente asciende hasta alcanzar una temperatura final de tostado de $193,3^\circ\text{C}$.

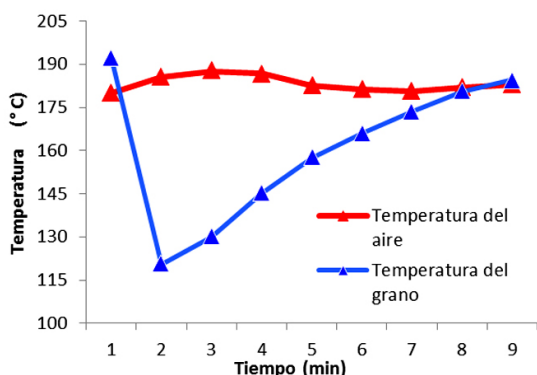


Figura 1. Curva de tostión tratamiento 1

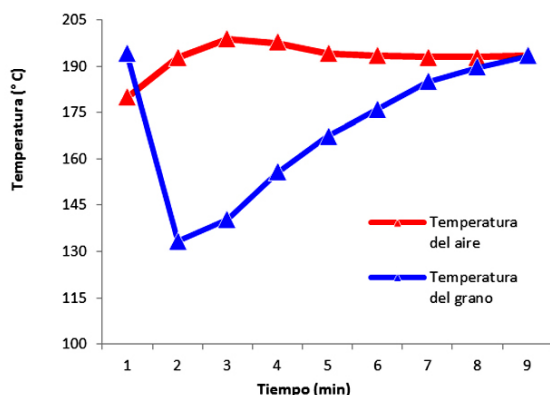


Figura 2. Curva de tostión tratamiento 2.

Al realizar análisis de color a las muestras se pueden cuantificar y cualificar la calidad del café obtenido de las curvas de tostión.

Cuadro 1. Resultados de estudio por colorimetría.

Como se observa en el cuadro 1, las dos muestras de café procesadas corresponden a café de tostión media, la muestra 1 presenta una tostión media ligera americana y la muestra 2 corresponde a una tostión media-media alta americana.

Muestra	Unidades quantik	Luminancia	Unidades Aqtron E10	Color tostado	Nombre común
1	-271	22,73	64,71	Café medio Claro	Light médium american
2	-251	21,12	58,97	Café medio	Médium médium - high american

Estandarización de la técnica y el método de cuantificación de ácidos clorogénicos totales por espectrofotometría UV.

La determinación del comportamiento lineal utilizando la segunda derivada (D2) en base de dos longitudes de onda, muestra los coeficientes de correlación (R^2) obtenidos $0,8662$ para la segunda derivada a 226 nm y $0,9992$ para la segunda derivada a 357 nm , (figura 2).

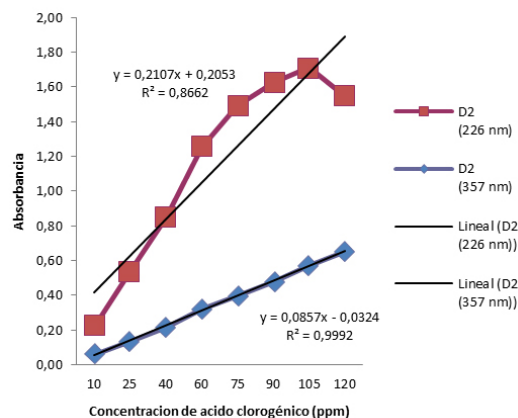


Figura 3. Variación de D2 con respecto a la concentración de ácido clorogénico a dos longitudes de onda para determinación del ámbito lineal.

El último valor de correlación de la variación D2 a 357 nm es muy cercano a 1, por lo cual es innecesario realizar el test estadístico donde se compara el valor de

t calculado con el t tabulado y a la vez es pertinente afirmar que existe una respuesta lineal de la concentración con respecto a la variación de D2 a 357 nm y por tanto, el método analítico es pertinente para ésta longitud de onda.

De igual manera, se toma como curva de calibración para la cuantificación de ácidos clorogénicos totales a 375 nm, donde la ecuación de la recta está dada por la ecuación:

Ecuación 1: $y = 0,0857x - 0,0324$.

Para describir la precisión del método en términos de reproducibilidad y repetitividad, se expresaron con base en la desviación estándar y la desviación estándar

relativa. La repetitividad se determinó con dos análisis, el primero se efectuó por mediciones sucesivas por triplicado de soluciones estándar de siete concentraciones diferentes, donde se obtuvo un promedio de desviación estándar (RSD) igual a: 0,87 %. El segundo análisis se realizó con lecturas consecutivas de una solución estándar de CGA a 60 ppm, con lo cual se encontró una RSD igual a 0,413%. Las RSD halladas son inferiores al 1%, lo cual indica que existe una repetitividad del método espectrofotométrico para la cuantificación de CGA con un parámetro de confianza del 95% (Miller y Miller 1993).

Posteriormente se emplearon tres soluciones estándar de concentraciones, con cuatro repeticiones de manera aleatoria durante 4 semanas.

Cuadro 2. Determinación de repetitividad.

CONCENTRACIÓN DE CGA(ppm)	ABSORBANCIA				ABSORBANCIA PROMEDIO	S*	RSD* (%)
	Día1	Día2	Día10	Día 25			
10	0,22	0,23	0,22	0,22	0,222	0,005	2,247
40	0,85	0,86	0,85	0,86	0,854	0,007	0,811
60	1,25	1,24	1,23	1,24	1,240	0,008	0,658
Promedio de RSD (%)							1,24

*s desviación estándar, RSD desviación estándar relativa.

De acuerdo al cuadro 2, para un intervalo de aceptación del 95%, los datos encontrados indican que el método espectroscópico es reproducible, ya que la desviación estándar relativa (RSD) presenta valores

menores al 2%, lo que indica que los datos obtenidos en el método de cuantificación de ácido clorogénicos son confiables (Miller y Miller, 1993).

Cuadro 3. Resultados concentración de contenido de ácidos clorogénicos totales en la muestras de café.

TRATAMIENTO	REPETICIÓN	CONCENTRACIÓN (ppm)	CONTENIDO (% p/p)
1	1	315,2	0,031
	2	315,2	0,031
	3	315,6	0,031
	Promedio	315,3	0,031
2	1	268,8	0,027
	2	267,9	0,027
	3	267,9	0,027
	Promedio	268,3	0,027

En el cuadro anterior se observa que existe mayor porcentaje de ácidos clorogénicos totales en muestras de almendra de café tostado sometidas al tratamiento uno, donde la temperatura final fue inferior con respecto al segundo tratamiento. A su vez se vio reflejado en el análisis colorimétrico que arrojó como resultado un café de color de tostado -Café medio Claro-.

Con base a los valores de desviación estándar relativa, obtenidos en la determinación de la repetitividad por el método de mediciones sucesivas de siete soluciones estándar, y la hallada por reproducibilidad, se determinó el cociente repetitividad/reproducibilidad que fue 0,70. Valor inferior al 1%, representa que existen condiciones apropiadas para el análisis, es decir que existe concordancia entre ensayos individuales cuando el método se aplica repetidamente; que los errores aleatorios son pocos, y por consiguiente se puede afirmar que el método de cuantificación de CGA por espectrofotometría es confiable.

Luego de haber determinado la precisión del método analítico, se determinó el contenido porcentual de ácidos clorogénicos totales presentes en la muestra de café tostado mediante los dos tratamientos (cuadro 3).

Luego de las observaciones por SEM, las medidas tomadas de los diferentes granos a nivel del corte transversal, de extremo a extremo de episperma interno (Cuadro 4), mostraron un intervalo promedio de 2835 μm , de las imágenes obtenidas en SEM. Para los respectivos análisis se enfocó en un área específica del parénquima ubicado en las partes laterales. Las longitudes encontradas y mostradas en las figuras 4 y 5, fueron alrededor de 14 μm -16.5 μm para el tratamiento uno, y 53 μm y 57 μm para el tratamiento dos.

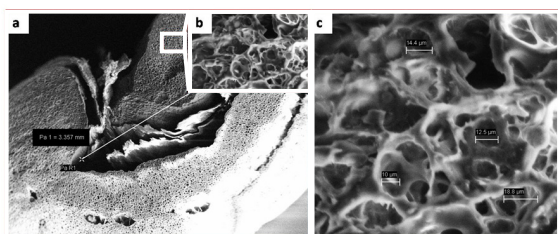


Figura 4. Micrografía electrónica de barrido de grano de café. a., Corte transversal de grano de café donde se nota la episperma. b., Ubicación tejido parenquimatoso para observación de microporos. c., análisis de medición (μm) de los microporos.

Los resultados obtenidos de la estructura, mostraron una diferencia de la formación de los microporos que

se relaciona con la temperatura de tosti3n. Se evidencia que los poros son m3s prominentes cuando el grano de caf3 almendra ha sido sometido a una temperatura m3s alta, que genera poros de di3metro promedio mayor, como es el caso del tratamiento 2 (cuadro 5, figura 5c).

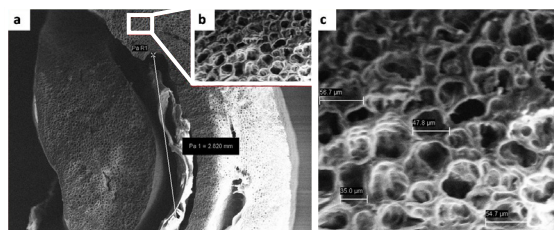


Figura 5. Micrografía electrónica de barrido de grano de caf3. a. Corte transversal de grano de caf3 donde se nota la episperma. b. Ubicaci3n tejido parenquimatoso para observaci3n de microporos. c. an3lisis de medici3n (μm) de los microporos.

De esta forma, el di3metro de los poros de granos de caf3 almendra sometidos a los dos tratamientos de tosti3n, mostraron diferencia significativa en el tama3o de los poros ($p=0,0001$) ya que la temperatura es determinante en la formaci3n de 3stos.

Cuadro 4. Longitud del episperma de los granos de caf3.

Taratamiento	Muestra No.	Longitud de Episperma (μm)	Media (μm)
1	1	2820	2835
	2	2870	
	3	2820	
	4	2890	
	5	2820	
	6	2800	
	7	2820	
	8	2840	
2	1	3377	3341
	2	3343	
	3	3357	
	4	3350	
	5	3357	
	6	3359	
	7	3290	
	8	3295	

Cuadro 5. Microporos de tejido parenquimatoso de grano de café

Tratamiento	Muestra No.	Diametro de Poro (Mm)
		MEDIA±DS
1	1	53,3±3,8
	2	55,4±3,4
	3	55,3±10
	4	56,1±2,6
	5	56,1±2,7
	6	51,5±30
	7	55,4±1,1
	8	57,8±3,7
2	1	15,1±3,8
	2	14,8±3,4
	3	14,2±1,7
	4	16,8±2,8
	5	16,0±2,1
	6	15,1±2,4
	7	15,0±2,1
	8	15,3±2,5

Al finalizar el análisis de éste estudio, es pertinente concluir que se presenta una disminución de contenido de ácidos clorogénicos totales en muestras del grano de café almendra sometidas a mayor temperatura de tuestión, lo cual puede deberse a que reacciones diferentes de los CGA se producen según el grado de tuestión, donde una porción de éstos se hidrolizan temporalmente en quinolactonas de ácidos clorgénicos para los granos de café de tostado medio. Mientras que para los grano de café en grado de tuestión oscura, la mayoría de los CGA se transforman en catecol, guaiaicol y piragalol y por consiguiente el contenido de CGA presentes en el café almendra debe ser inferior.

De igual manera se evidencia la relación de las curvas de tuestión con el contenido de CGA y el promedio de diámetro de poro de la microestructura del grano de café almendra. Lo cual tiene relación con la temperatura ya que de ésta depende la formación del poro y las distintas reacciones que afrontan los CGA. Sin embargo cabe recordar que el contenido de los ácidos clorogénicos y microestructura de granos de café almendra no dependen solamente de la tuestión sino también de su origen, su desarrollo y los procesos de beneficio. Por consiguiente se recomienda realizar estudios fisicoquímicos que involucren las variables relacionadas anteriormente.

Conclusiones

Los datos y resultados obtenidos de éste estudio, son de gran relevancia para establecer proyectos posteriores que puedan relacionar la temperatura de tuestión con la calidad de taza y los parámetros fisicoquímicos que evalúen su relación con el origen, producción y beneficio del grano de café almendra.

Literatura citada

Ayelnig, A y Sabally K. (2013). Determination of Chlorogenic Acids (CGA) in Coffee Beans using HPLC. American Journal of Research Communication.1 (2): 78-91

Bottazzi, D; Farina, S; Milani, M; Montorsi, L. (2012). A numerical approach for the analysis of the coffee roasting process. Journal of Food Engineering. 112: 243–252.

Farah A; De Paulis T; Trugo L; MARTIN P. (2005). Effect of Roasting on the Formation of Chlorogenic Acid Lactones in Coffee, J. Agric. Food Chem. 53: 1505–1513

Gloess, A; Vietri, A; Wielan, F; Smrke, S; Schönbacher, B; Sánchez, J; Petrozzi, S; Bongers, S; Koziorowski, T; Yeretian, Ch. (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. Article in press.

Marín, G; Puerta, Q. (2008). Contenido de ácidos clorogénicos en granos de Coffea arabica y C. canephora, según el desarrollo del fruto. Cenicafé. 59:7-28.

Miller, C. y Miller J.N. (1993). Estadística para química analítica; Ed. Segunda, Addison-Wesley Iberoamericana S.A, Estados Unidos. 93-105.

Naranjo, M; Vélez, I; Rojano, B. (2011). Actividad antioxidante de café colombiano de diferentes calidades; Revista Cubana Plant Med. Ciudad de la Habana. 16 (2), 164-173.

Quattrocchi, O; Albelaira de Andrixxi, S; Laba, R; (1992). Introducción a la HPLC, Aplicación y Práctica.; Artes Gráficas Farro S.A; Buenos Aires, Argentina. 301-327

Puerta, G. (2011). Composición química de una taza de café. *Cenicafé*, Colombia. 414: 1-12.

Puerta G. (2003). Especificaciones de origen y buena calidad del café de Colombia, avances técnicos *Cenicafé*, Colombia. 316:1- 8.

Salazar G M R; Riano H N M; Arcila P J; Ponced C A. (1994). Estudio morfológico, anatómico y ultraestructural del fruto de café *Coffea arabica* L. *Cenicafé*, Caldas, 45 (3), 93–105.

Solís L.D. (2003). Desarrollo de un método de análisis de ácido clorogénicos en café. Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 62.

Sunarharum, W; Williams, David; Smyth, H. (2014). Complexity of coffee flavor: A compositional and sensory perspective. *Food Research International*. 62: 315–325.

Wang, X; Lim, T. (2014). Effect of roasting conditions on carbon dioxide degassing behavior in coffee. *Food Research International*. Article in press.