

EFEECTO DEL TOSTADOR EN EL PERFIL DE TUESTE EN CAFÉ ESPECIAL CON DIFERENTE TAMAÑO

CERDAS C.¹, VARGAS-ELÍAS G.², ROJAS F.³, CASTILLO J.⁴, BARRANTES S.⁵

¹ Bach., Ingeniería Agrícola y Biosistemas, Universidad de Costa Rica. (506) 2511-8820, carlos.cerdasgerena@ucr.ac.cr

² D. Sc., Profesor, CIGRAS-Universidad de Costa Rica, (506) 2511-8820, guillermo.vargaselias@ucr.ac.cr

³ Estudiante de Agronomía, Universidad de Costa Rica, (506) 2511-8820, fabiola.rojasvasquez@ucr.ac.cr

⁴ Bach., Escuela de Agronomía, Universidad de Costa Rica, jorge.castillovives@ucr.ac.cr

⁵ Bach, Ingeniería Agrícola y Biosistemas, U.C.R. (506) 2511-8820, sergio.barrantes@ucr.ac.cr

Apresentado no
XLIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2020
23 a 25 de novembro de 2020

RESUMEN: El perfil de tueste del café se utiliza para el análisis y la predicción del proceso, depende de la temperatura del tostador, la masa de los granos y del contenido de humedad inicial. El objetivo fue determinar el efecto de la temperatura del tostador en el perfil de tueste para un mismo lote de granos de café separados en cuatro tamaños. Se utilizó un tostador convencional llevando los granos a 230 °C en dos condiciones de apertura de la válvula de gas parcial y totalmente abierta, se tostaron granos de café arábica sin defectos con *calidad especial* de la variedad Catuaí rojo, el registro de la temperatura fue a partir de sensores termopares en el interior del tostador en contacto con el aire. El perfil de tueste no fue influenciado por el tamaño de los granos en un mismo lote en los calibres estudiados. La condición térmica del tostador afectó significativamente el perfil de tueste y las propiedades físicas del café. El modelo exponencial-lineal de cuatro términos fue adecuado para representar el perfil de tueste en el 99,0 % de los datos en cada condición de operación, el coeficiente del término lineal es un indicador de la rapidez del proceso. El proceso con la quema de gas completamente abierta es 1,5 veces más rápido que con la abertura parcial.

PALABRAS CLAVE: Proceso de torrefacción, perfil de temperatura, tostador convencional.

EFFECT OF ROASTER CONDITIONS OVER THE ROAST PROFILE IN SPECIALTY COFFEE AT DIFFERENT SIZES

ABSTRACT: The coffee roast profile is used for analysis and prediction of the process, the dependence of the roaster temperature, the mass of the coffee beans and the initial moisture content. The objective was to determine the effect of roaster temperature on the roast profile for the same batch of special quality coffee beans, separated into four different sizes as well as unaltered samples from the batch. A conventional roaster was used under two heating conditions, no defects arabica coffee beans with special quality of the red Catuaí variety were roasted, the temperature recording was from thermal sensors inside the roaster in contact with the chamber air. It was determined that there are no differences in roast profile in relation to grain size and mix. The condition of the roaster has a significantly effect in the roasting profile and the coffee physical properties. The four-term exponential-linear model was adequate to represent the roast profile in 99.0% of the data in each operating condition. The coefficient of the linear term is an indicator of the speed of the process. Gas opening fully open relative to partial was 1.5 times faster than partially opened.

KEYWORDS: *Coffea arabica*, roasting process, temperature profile, drum roaster.

INTRODUCCIÓN: La torrefacción es un proceso de aplicación de calor sobre los granos, dicho proceso es complejo y envuelve tanto la transferencia de energía del tostador hacia los granos, así

como la transferencia de masa de los granos hacia al ambiente en forma de vapor y compuestos volátiles (Fabbri *et al.*, 2011). Según el grado de tueste del café dura de 8 a 15 min y de 180 a 240 °C (OIC, 2017).

El grado de tueste es un parámetro importante a nivel sensorial y de mercado, para determinar las características de sabor de los extractos a partir del café tostado, en los que la mezcla de grados de tueste y velocidad de tueste, están asociados a los llamados cafés de alta calidad (Clarke & Macrae, 1987). El tostador debe ser equipado por un termómetro capaz de resistir entre 180 y 450 °C además debe contar con un sistema para el registro de la temperatura en el interior del tostador, así como un termómetro infrarrojo para medir la temperatura de los granos en movimiento (Vargas-Elías, 2011). El perfil de tueste consta de dos etapas y fue descrito con un modelo matemático en una combinación de tres términos y cuatro coeficientes, para representar el decaimiento exponencial en una primera etapa y el calentamiento lineal del tostador en la segunda etapa (Abarca, 2017).

Las condiciones de tostado tienen un gran impacto en las propiedades físicas y químicas de los granos de café tostado, el modo de transferencia de calor y el perfil de temperatura aplicado son los parámetros más críticos del proceso (Schenker, 2000). El ajuste de modelos matemáticos al proceso de torrefacción proporciona parámetros para el estudio de transferencia de calor y masa, para el dimensionamiento de los tostadores; además de posibilitar la predicción de la calidad del producto final (Campos, 2016). Los modelos desarrollados no incluyen la variación del tamaño, el objetivo fue determinar el efecto de la temperatura del tostador en el perfil de tueste para un mismo lote de café en cuatro tamaños de granos.

MATERIAL Y MÉTODOS: Este trabajo fue desarrollado en el Centro de Investigaciones en Granos y Semillas (CIGRAS) de la Universidad de Costa Rica. Se utilizó café (*Coffea arabica*) sin defectos con *calidad especial*, variedad catuaí rojo, cultivado a 1800 m.s.n.m en proceso semi lavado (*red honey*), con densidad aparente $689,2 \pm 4,3 \text{ kg m}^{-3}$ y contenido de humedad de $10,91 \text{ kg kg}^{-1}$. El proceso de torrefacción se realizó con un tostador convencional de producción nacional BENDIG modelo ECO-2000 de cilindro rotativo, con quemador de gas constante, regulador de presión y válvula de control. La medición de la temperatura interna se hizo con un sensor termopar tipo K. La torrefacción se realizó en dos condiciones de calentamiento del tostador, con abertura parcial y otra con abertura total de gas. La distribución del tamaño en los granos por lote fue de 36, 29, 22 y 13 % en cribas 16, 17, 18 y 19; respectivamente. La temperatura al inicio de cada tueste fue $280 \pm 1 \text{ °C}$ y la extracción fue a 230 °C . Fueron tostadas diez muestras de 600g por cada tamaño y una mezcla. Las pérdidas de masa fueron calculadas según la ecuación 1.

$$M = 100 (m_i - m_f)/m_i \quad (1)$$

Donde, M es variación de la masa (%), m_i es la masa inicial (g), m_f es la masa final (g).

El cambio en la densidad aparente se calculó según la ecuación 2,

$$D = 100 (d_i - d_f)/d_i \quad (2)$$

Donde, D es variación de la densidad aparente (%), el término d_i es la densidad aparente inicial (kg m^{-3}), d_f es la densidad aparente final de los granos tostados (kg m^{-3}).

La expansión aparente (%) de los granos tostados se determinó según la ecuación 3.

$$E = 100 [(d_f m_f / d_i m_i) - 1] \quad (3)$$

El perfil de temperatura es descrito por la ecuación 4, utilizado para el tueste de granos tanto de café (Abarca, 2017) como de cacao (Vargas, 2019) en el tostador convencional.

$$T = T_0 + a [\exp(-b t)] + c t \quad (4)$$

Donde, T_0 es la intersección con el eje de las ordenadas ($^{\circ}\text{C}$), el término a es un coeficiente ($^{\circ}\text{C}$), b es el exponente del factor exponencial (min^{-1}) y c es una tasa de calentamiento ($^{\circ}\text{C min}^{-1}$). Los coeficientes fueron determinados por regresión no lineal en el programa SigmaPlot14.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN: El tiempo de tueste es la variable de respuesta, depende de la condición térmica del tostador y no del tamaño de los granos. La primera condición del tostador fue un tiempo promedio de 14,6 min, mientras que para la segunda fue de 9,2 min; es decir; se obtuvo una disminución del tiempo de 5,4 minutos y se invirtió aproximadamente 60 % más de tiempo con la abertura parcial del gas. Los tiempos de tueste de esta investigación se encuentran dentro de las recomendaciones para granos de calidad (OIC, 2017). La desviación estándar de 0,31 min en la condición 1, equivale aproximadamente a 19 segundos; es decir, para un mismo lote los granos con tamaño entre 16 y 19 las diferencias en el tiempo de tueste fueron menores a 20 segundos. No se percibió el efecto del tamaño en el tiempo de tueste cuando se quemó gas al máximo, se observó que la diferencia entre tamaños fue de 5 s.

El perfil de tueste es afectado por la condición térmica del tostador, la Figura 1 presenta los observados (A) y en el ajuste general a los datos (B). Las condiciones de temperatura del tostador son similares al inicio y después de 1 min ocurrió una amplia divergencia. La temperatura mínima en la primera condición para el tostador fue de 183°C a los 4 minutos y en la segunda condición del tostador fue de 195°C a los 3,25 min, esto representa una diferencia de 13°C y un desfase de 45 s entre las temperaturas mínimas.

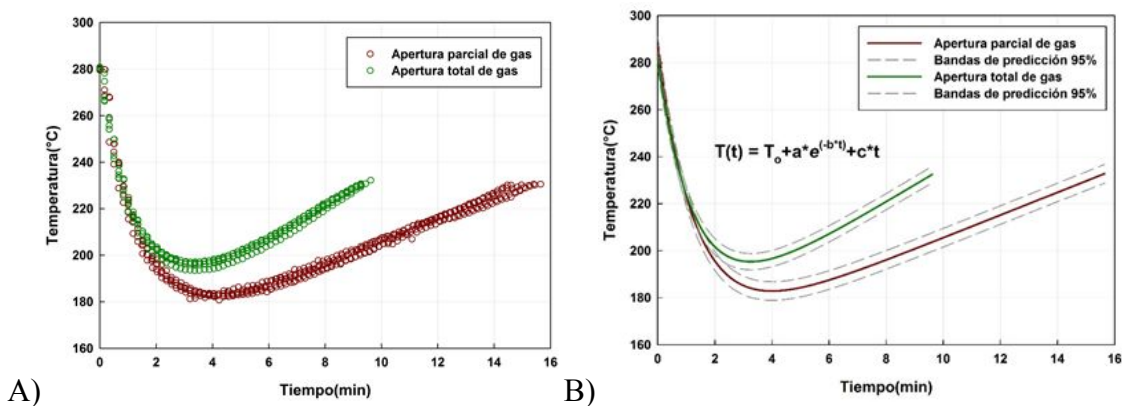


Figura 1. Perfil de temperatura del tostador para dos condiciones de calentamiento.

Los coeficientes de correlación R^2 fueron de 99,0 % para ambas condiciones de operación del tostador, los coeficientes fueron determinados con desviación estándar de 2,00 y 1,75 respectivamente, según Cuadro 1.

Cuadro 1. Parámetros estadísticos del modelo para el perfil del tueste del café.

	Condición 1	Condición 2
Coefficientes de regresión		
a (°C)	129,6079	118,7918
b (min ⁻¹)	0,7511	0,785
c (°C*min ⁻¹)	4,8388	7,2805
T ₀ (°C)	157,0604	162,4012
Parámetros estadísticos		
R	0,9952	0,9954
R ²	0,9904	0,9908
Adj R ²	0,9903	0,9907
SE	2,0006	1,7506

La diferencia de tiempo entre tuestes se debe principalmente a la tasa de calentamiento, con 4,84 y 7,28 °C min⁻¹ para la primera y segunda condición del tostador respectivamente, la proporción entre pendientes fue de 1,50 y la razón entre los tiempos de tueste fue 1,59; por lo tanto, el coeficiente *c* es un indicador de la rapidez del proceso. Las propiedades físicas del café tostado son descritas en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Propiedades físicas del café en dos condiciones de calentamiento del tostador.

Calibre	ΔM (%)		$\Delta \rho$ (%)		Ψ_a	
	Condición 1	Condición 2	Condición 1	Condición 2	Condición 1	Condición 2
	16	17,44	14,99	49,11	47,08	62,23
17	17,06	15,69	49,96	46,44	65,75	57,41
18	16,79	15,07	49,04	45,48	63,29	55,79
19	17,39	14,71	49,51	44,26	63,63	53,01
Mezcla	17,54	15,05	48,98	45,84	61,64	56,74
Promedio	17,24 ± 0,31	15,10 ± 0,36	49,32 ± 0,41	45,82 ± 1,06	63,31 ± 1,58	56,72 ± 2,76

La pérdida de masa permite clasificar a los granos en tueste *Medio* y *Medio claro* para la primera y segunda condición, respectivamente (Vargas-Elías, 2011). Las diferencias en la pérdida de masa fue de 2,14% entre ambas condiciones y también se diferencian por su densidad aparente (Abarca, 2017). La expansión aparente en la primera condición del tostador fue mayor que en la segunda, Botelho (2012) obtuvo que la expansión volumétrica se incrementa conforme se alcanza un mayor grado de tueste.

CONCLUSIONES: No hubo diferencia en el perfil de tueste entre los granos con tamaños consecutivos. La condición térmica del tostador afecta el perfil del tueste y a las propiedades físicas del café tostado.

AGRADECIMIENTOS: A la empresa familiar Café Los Cuarteles de Tarrazú.

REFERENCIAS:

- ABARCA M., R. **Estudio del proceso de torrefacción del café (*Coffea arabica*) en tostador convencional.** Tesis de Licenciatura en Ingeniería Agrícola, UCR. C.R. 2017. Disponible em: <<http://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/75352>>. Acceso em: mar. 2020.
- CAMPOS C., R. **Propiedades físicas dos grãos de café moca durante o processo de torra.** Universidade Federal de Viçosa, Dep. Engenharia Agrícola, Viçosa, Minas Gerais. (2016). Disponible en: <<https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/8340>> Acceso: 21/2/20.

- CLARKE, R. J., & MACRAE, R. **Coffee, Volumen 2, Technology** (ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS LTD ed.). (C. House, Ed.) Linton Road Barking, Essex, England: Crown House. 1987.
- FABBRI, A., CEVOLI, C., ALESSANDRINI, L., & ROMANI, S. Numerical modeling of heat and mass transfer during coffee roasting process. **Journal of Food Engineering**, 105(2), 264-269. (2011). doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.02.030>
- BOTELHO, F. **Cinética de secagem, propriedades físicas e higroscópicas dos frutos e caracterização do processo de torrefação dos grãos de Coffea canephora**. Tese de Doutorado. Minas Gerais, Brasil: Universidade Federal de Viçosa. 2012.
- Organización Internacional del Café (OIC). **Acerca del Café: Torrefacción y Preparación**. (2017). <http://www.ico.org/es/making_coffeec.asp?sect%20ion=Acerca_del_caf%E9> Acceso: 2/9/20.
- SCHENKER, S. **Investigations on the hot air roasting of coffee beans**. Doctoral Thesis. Zurich: ETH. <https://doi.org/10.3929/ethz-a-003889071>. (2000).
- PORRAS Z., M.; VARGAS-ELÍAS, G.; ARAÚZ M., L.; ABARCA A., Y. Efecto de la temperatura en la rapidez del tostado de café. **Revista Tecnología en Marcha**, v. 32, n. 7, p. Pág. 20-27, 23 abr. 2019.
- VARGAS-ELÍAS, G.A. **Avaliação das propriedades físicas e qualidade do café em diferentes condições de torrefação**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 98p. 2011.
- VARGAS F., R. **Análisis del secado, el equilibrio higroscópico y la torrefacción de los granos de cacao**. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Agrícola, UCR. San José, C.R. 2019. Disponible en: <<http://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/79255>> Acceso en: mar. 2020.