

# Efecto de la temperatura en la rapidez del tostado de café

## Effect of temperature on the speed of coffee roasting

María Cristina Porras-Zúñiga<sup>1</sup>, Guillermo Vargas-Elías<sup>2</sup>, Linda Araúz-Madrid<sup>3</sup>, Yailyn N. Abarca-Alpizar<sup>4</sup>

---

Porras-Zúñiga, M; Vargas-Elías, G; Araúz-Madrid, L; Abarca-Alpizar, Y. Efecto de la temperatura en la rapidez del tostado de café. *Tecnología en Marcha*. Vol. 32, Especial. XIII CLIA. Abril, 2019. Pág 20-27.

DOI: <https://doi.org/10.18845/tm.v32i7.4255>

- 
- 1 Estudiante de Ingeniera de Agrícola y de Biosistemas. Universidad de Costa Rica (UCR). San José, Costa Rica. Correo electrónico: maria.porraszuniga@ucr.ac.cr
  - 2 Ingeniero Agrícola. D.Sc. Profesor, CIGRAS, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Correo electrónico: gvargase@gmail.com
  - 3 Ingeniera Agrónoma. Estudiante de Maestría. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Correo electrónico: lindaarauz10@gmail.com.
  - 4 Estudiante de Agronomía. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Correo electrónico: abarcaalpizar.98@gmail.com



## Palabras clave

Torrefacción; Café arábica; Proceso; Energía de activación; Abertura de gas; Calidad; Calentamiento.

## Resumen

El tostado es un proceso que genera cambios importantes en las propiedades físicas, químicas y sensoriales del café. La producción de café tostado está relacionada con la temperatura del tostador, el tiempo y la cantidad utilizada de café. La temperatura es un parámetro poco estudiado y tiene potencial para asociarlo a los cambios físicos y químicos. El objetivo es determinar el efecto de la temperatura del tostador en la rapidez del tueste de los granos. Se utilizaron granos de café (*Coffea arabica*) de la Zona de los Santos (Costa Rica), con un análisis sensorial de 80 puntos, empleando un tostador convencional con cilindro horizontal rotativo. Se fijaron tres posiciones de la válvula de gas para establecer diversas condiciones de operación en el tostador. Se utilizaron 5 muestras de 600 g para cada condición del tostador. Se determinó el final del tueste con las temperaturas de 215, 220, 225, 230 y 235 °C. El aumento de la temperatura en dichas condiciones fue lineal, con coeficiente de determinación mayor que 93 %, cuya pendiente representa la rapidez del calentamiento del aire interno del tostador. La rapidez del calentamiento en los granos fue asociada a la temperatura de equilibrio del tostador por el modelo de Arrhenius, se determinó la energía de activación en 21,6 kJ/mol. El aumento del consumo de gas genera mayor rapidez en el calentamiento del tostador, de los granos y del aire.

## Keywords

Roasting; Arabica Coffee; Activation Energy; Gas opening; Quality; Heating.

## Abstract

The roasting process produce some important changes in physical, chemical and sensory properties of coffee. The production of roasting coffee is related with the temperature of the roaster, the time and the quantity. Temperature is the less studied parameter; however, it has an important potential to associate it with physical and chemical changes. The objective of the investigation is to establish the effect of temperature of roasting in the speed of roasting of grains. There were used coffee grains (*Coffea arabica*) from Zona de Los Santos (Costa Rica), with 80 points of sensory analysis, using a horizontal rotary cylinder. There were set three positions of the gas valve to have different conditions of the operation of roasting. They were used five samples of 600 g for every condition of roasting. The final roasting was determinated with the temperature of 215, 220, 225, 230 and 235 °C. The increase of temperature in those conditions was linear with a coefficient of determination higher than 93% and the slope represent the speed of internal air heating. The speed of heating was related with the balance temperature of the toaster through the Arrhenius Model. It was determinated the activation energy in: 21.6 kJ/mol. The increase of gas consumption generates a higher speed in the heating of toaster, grains and the air.

## Introducción

La estrategia de Costa Rica de producir café de alta calidad ha logrado alcanzar los mercados finos de café en el mundo. Según el Instituto de Café de Costa Rica [1], durante las últimas

cosechas se ha presentado un incremento en la producción de café a nivel nacional, resaltando los cantones de la Zona de los Santos en la provincia de San José.

La calidad sensorial del café afecta directamente el precio de la materia prima, donde el país exporta el 99 % en café crudo y apenas el 1 % como café tostado. El café tostado se limita al mercado para consumo interno, lo cual debe orientarse a mejorar el proceso para garantizar la comercialización de un producto de mayor valor económico y no solamente como café beneficiado [2].

La torrefacción es el proceso final que afecta directamente la calidad de la bebida del café tostado, donde se puede optimizar los aromas, la acidez y la dulzura; pero si no se realiza adecuadamente puede degradar su la calidad sensorial.

El proceso de torrefacción de café consiste en la aplicación de calor del tostador hacia los granos de café crudos. Sin embargo, la importancia de tal proceso radica en el control de la temperatura en el momento justo; puesto que, de ello depende la liberación de los aromas y la coloración homogénea de los granos [3].

La velocidad del proceso de torrefacción se ha clasificado según Clarke & Macrae [4] en tostado rápido en pocos minutos, tostado convencional de 12 a 15 min, tostado intermedio de 5 a 8 min, se puede ver en la coloración externa del grano, en términos de Claro, Medio y Oscuro.

El tostador convencional fue estudiado por Abarca [5], se estableció la relación entre la temperatura de la pared interna del cilindro y la temperatura de la masa de los granos, con un coeficiente de correlación de 94,44 %, para todo el proceso de torrefacción.

Se determinó que la temperatura del sistema registrada por un termopar en contacto con el aire interno presentó una relación directa con la temperatura final de los granos; por lo tanto, es uno de los principales parámetros tanto para registrar como para controlar el proceso [5].

El grado de tueste es importante para determinar las características de sabor de los extractos que se elaboran posteriormente a partir del café tostado, en los que el grado de tueste y velocidad de tueste, están asociados a los llamados cafés de alta calidad [4].

El tostador convencional fue objeto de estudio para analizar el efecto de la temperatura del tostador sobre la rapidez del proceso [6] y el efecto de la masa en el tiempo de tueste [5], se puede inferir a partir de estos estudios que a partir del 40% del tiempo de tueste los granos calientan linealmente. Por ende, el objetivo de esta investigación es determinar el efecto de la temperatura del tostador en la rapidez del tueste de los granos, lo cual se mide por medio del control de la apertura de la llave de paso de gas.

## Metodología

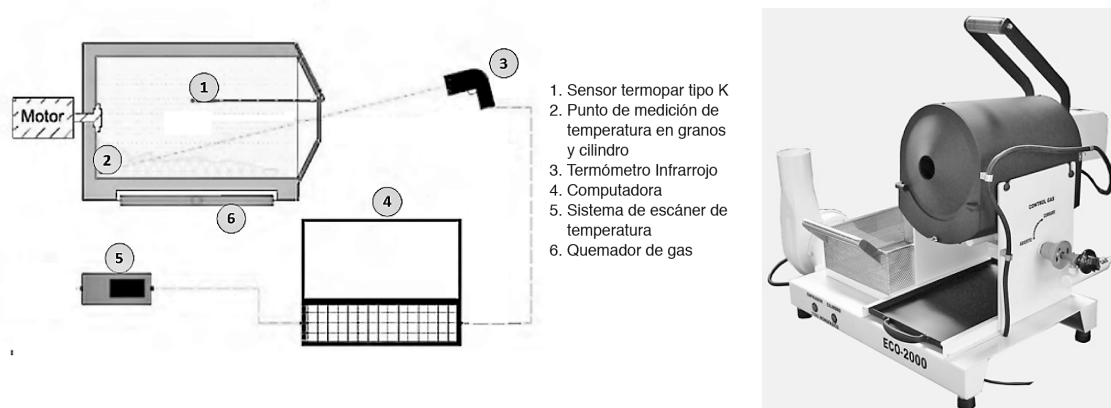
Las pruebas se realizaron en el Centro de Investigaciones de Granos y Semillas (CIGRAS) de la Facultad de Ciencias Agroalimentarias de la Universidad de Costa Rica. Se utilizó granos de café, *Coffea arabica* L. variedad *Typica*, cultivados y cosechados en Providencia de Dota en la Zona de los Santos a una altura de 2 000 msnm. Fue descascarado con un proceso de semi lavado de miel y secado durante 12 días con una temperatura máxima de 45 °C por CoopeDota R.L, presentando un análisis sensorial de 80 puntos. El contenido de humedad inicial del café es de 10,67 % b.h., determinado con el promedio de tres repeticiones mediante el horno de convección forzada a 105 °C en 5 g durante 24 h.

Se utilizó 9,0 kg de café beneficiado separado en 15 sub muestras de 600,0 g. El proceso de torrefacción de las sub-muestras se realizó en tostador convencional de construcción nacional, con capacidad máxima de 2 000 g. El combustible fue gas propano que se reguló a través de

una válvula y se utilizó tres posiciones para controlar la llama, con el fin de generar distintas condiciones de operación en el tostador.

Para el sistema de adquisición de datos, se utilizó un escáner de 12 canales de temperatura marca Cole-Parmer Instrument Company, con sensores termopar tipo K, para medir la temperatura del ambiente dentro del cilindro. Los datos son enviados mediante un cable serial con conexión al puerto de la computadora el cual cuenta con un software de interface llamado ScanLink en su versión 2.0. La temperatura tanto del grano como del cilindro rotativo, se midió con un termómetro infrarrojo PCE889B marca General® que cuenta con una resolución de 0,1 °C proporcionando lecturas cada 0,5 s con una precisión de ±1 %.

La temperatura interna del tostador fue el indicador de la temperatura de los granos en equilibrio con el sistema, se determinó el final del proceso de tueste en los granos en 215, 220, 225, 230 y 235 °C, a través de un termopar tipo K. Según se muestra en la figura 1.



**Figura 1.** Esquema de registro de temperaturas en tostador convencional de quema a gas (BENDIG, modelo ECO-2000) [5].

El modelo matemático para la cinética del calentamiento de los granos en función de la temperatura del tostador es similar al utilizado para la cinética de pérdida de masa del café durante el tueste [7], descrito en la ecuación 1.

$$\frac{dT}{dt} = E_0 \cdot e^{\left(\frac{-E_a}{R_g \cdot T_a}\right)} \quad (1)$$

$T$  es la temperatura de los granos tostados, °C.

$t$  es el tiempo de proceso, min.

$E_0$  es el factor pre-exponencial, °C min<sup>-1</sup>;

$E_a$  es la energía de activación, J mol<sup>-1</sup>;

$R_g$  es la constante de los gases, 8,3145 J mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>;

$T_a$  es la temperatura absoluta del tostador, K.

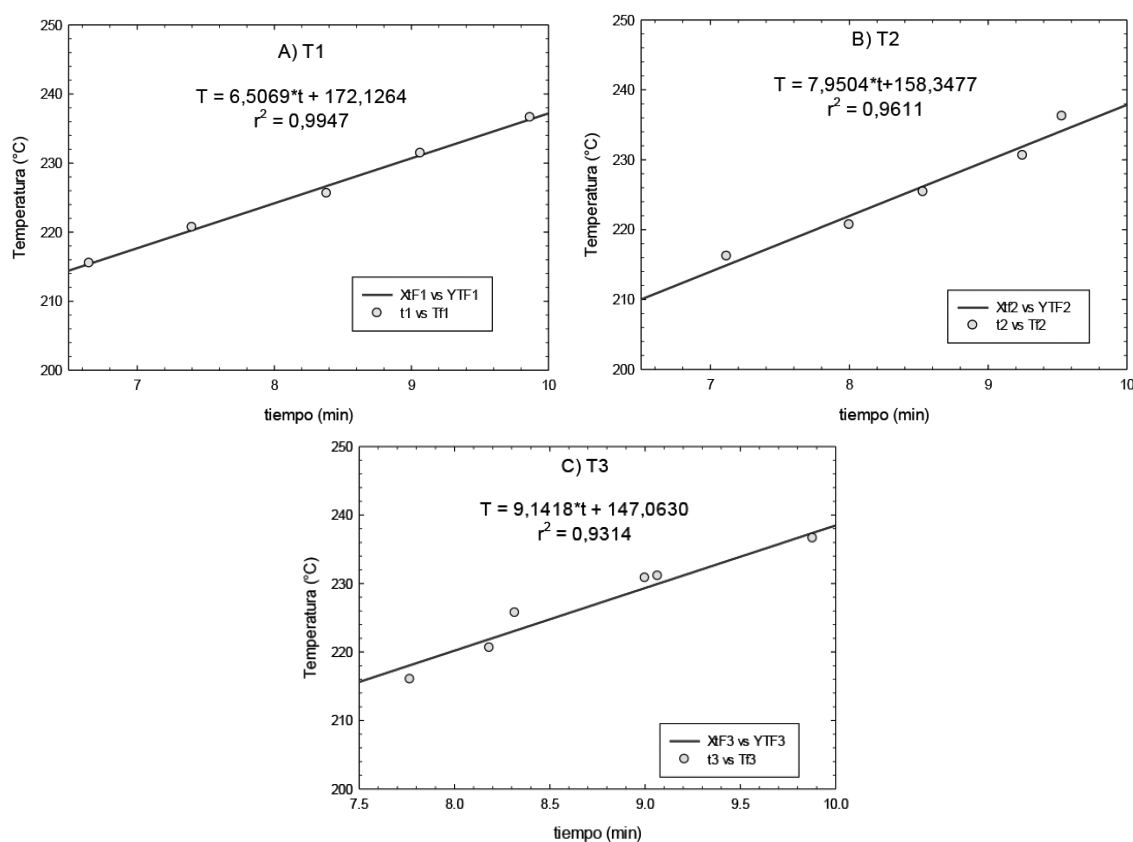
El color se midió en un colorímetro marca NANBEI modelo NBCS-210, para obtener los parámetros de color  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  en muestras de café molido de 10 g, según la figura 2.



**Figura 2.** Medición del color en el café tostado y molido.

## Resultados y discusión

El calentamiento de los granos es linealmente creciente durante el tueste cuando han superado los 210 °C y para el rango de temperaturas estudiado, según la figura 3.



**Figura 3.** Calentamiento de los granos durante el proceso de tueste.

La temperatura del tostador tiene un efecto directo sobre la rapidez en que calientan los granos. La pendiente de la línea representa la rapidez del calentamiento del café. Cuando la

temperatura del tostador aumentó también aumentó la pendiente de la línea de calentamiento de los granos.

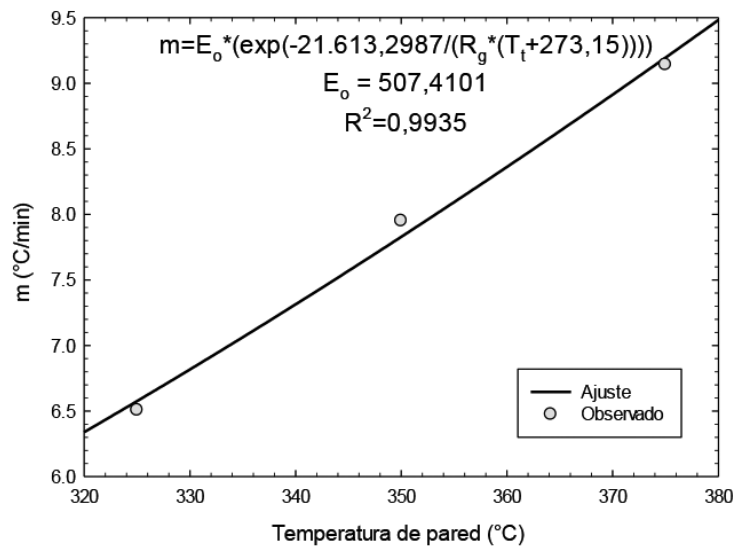
La abertura de la llave de gas generó diferencias en la rapidez del calentamiento del grano. Es decir; se puede aumentar el consumo de gas para disminuir el tiempo que tarda el calentamiento de los granos y también se puede aumentar el tiempo de tueste disminuyendo el consumo de gas, para tener más tiempo en llegar al nivel de tueste deseado en los granos.

Los valores de la pendiente y los de la temperatura del tostador deben ser transformados para obtener una línea recta según el cuadro 1.

**Cuadro 1.** Parámetros térmicos del tostador para el tueste de granos de café.

Temperatura del tostador			Intersección	Pendiente	Ln (k)
Inicial (°C)	$T_i$ (K)	$T_i^{-1}(10^{-3} K^{-1})$	b (°C)	m (°C min <sup>-1</sup> )	(dec.)
325	598,15	1,67182	172,1264	6,5069	0,7568
350	623,15	1,60475	158,3477	7,9504	0,8809
375	648,15	1,54285	147,0630	9,1418	0,9618

La rapidez puede aumentarse en 40 % cuando se pasa de la abertura del gas en mínimo hasta el máximo. La ecuación de Arrhenius representó adecuadamente la influencia de la temperatura con coeficiente de determinación del 99,35%. Como se puede observar en la figura 4.



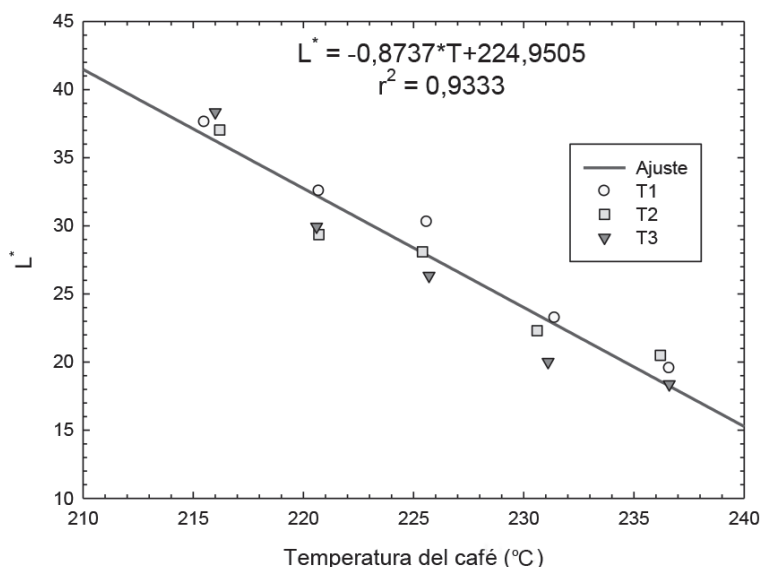
**Figura 4.** Relación entre la temperatura el tostador y rapidez del calentamiento en los granos.

La cinética del calentamiento de los granos tostados puede ajustarse con la ecuación 2 en función de la abertura de gas y determinando la temperatura de equilibrio del cilindro.

$$\frac{dT}{dt} = (507,4101) \cdot e^{\left[ \frac{-21,643,2987}{8,3145(273,15+T)} \right]} \quad (2)$$

La aplicación práctica de este trabajo es que se puede regular en tres posiciones la abertura del gas para máxima, intermedia y mínima y a partir de esas temperaturas se puede calcular la rapidez que gobernará el calentamiento de los granos, se puede calcular qué tan rápido es un proceso con respecto a otro.

El nivel de oscurecimiento en los granos se reflejó en la disminución del parámetro  $L^*$ , el cual presentó una relación lineal con respecto al calentamiento de los granos. En tuestes oscuros es necesario que el grano se caliente más. En la figura 5 se observa que el nivel de tueste de los granos se puede aproximar con la temperatura del sistema. Indistintamente de la temperatura de operación del tostador se puede alcanzar cualquier nivel de tueste en los granos, siempre que se mantengan constantes sus características físicas.



**Figura 5.** Relación entre nivel de oscurecimiento y temperatura de los granos.

La aproximación lineal de la temperatura y el color se ajustó con coeficiente de determinación de 93,3 %. La temperatura de 210 °C en los granos se obtiene un valor del parámetro  $L^*$  de 41,5 por extrapolación, lo cual puede asociarse a un grano pre tostado [8].

## Conclusión

La abertura del gas puede ser controlada para generar las condiciones idóneas de operación del tostador. La temperatura máxima de operación del tostador se debe conocer porque el sistema se equilibrará hasta esa condición con el tiempo. El efecto de la temperatura del tostador sobre la rapidez del calentamiento de los granos de café puede ser modelada matemáticamente por la ecuación de Arrhenius. La energía de activación para el calentamiento de los granos durante el tueste fue 21,6 kJ/mol. El aumento del consumo de gas genera mayor rapidez en el calentamiento del tostador, del aire y de los granos.



## Referencias

- [1] ICAFE. (2017) "Informe sobre actividad cafetalera de Costa Rica". San José, Costa Rica. pp.25-27.
- [2] Q. Puerta Q. "Calidad en taza de mezclas preparadas con granos Coffea arábica L. y C. canéfora". Canicafé, 2008. pp.183-203.
- [3] A. Illy and R. Viani. "Espresso Coffee": The Science of quality. San Diego, California, USA: Elsevier Academic Press, 2015.
- [4] R. J. Clarke & R. Macrae. "Coffee", Technology. Crown House, Linton Road, Barking, Essex IG11 8JU, England: ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS LTD, 1987. Vol. 2.
- [5] R. Abarca. "Estudio del proceso de torrefacción del café (*Coffea arabica*) en tostador convencional" Tesis de Licenciatura. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica, 2017.
- [6] G. Vargas-Elías. "Cinética do aquecimento, da expansão volumétrica e da perda de massa em grãos de café durante a torrefação". Tesis de doctorado. Departamento de Ingeniería Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil, 2014. p.68.
- [7] G. A. Vargas-Elías, C. Corrêa, Paulo, R. Souza, Natália, M. Fernanda. "Cinética da perda de massa do café arábica durante a Torração". Eng. Agríc. [on-line]. 2016, vol.36, n.2 [cited 2018-02-03], pp.300-308. Disponible en: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-69162016000200300](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162016000200300)
- [8] C.O, Argote and J. Ponce. "Sistema automatizado para controlar la temperatura y el tiempo en el proceso de tosti3n de caf3 en una m3quina de laboratorio" Tesis de Licenciatura. Facultad de Ingenier3a, Universidad de Nariño, Colombia, 2014.