

## “CINÉTICA DEL CALENTAMIENTO DEL CACAO (*Theobroma cacao* L.) Y PERFIL DE TEMPERATURA DURANTE LA TORREFACCIÓN ”

**GUILLERMO VARGAS-ELÍAS<sup>1</sup>, VERÓNICA MORALES-GARCÍA<sup>2</sup>, OSCAR DURÁN-GAMBOA<sup>3</sup>, BRYAN BADILLA-MENA<sup>4</sup>, ALLISON PÉREZ-ESQUIVEL<sup>5</sup>, LEA WEXLER-GOERING<sup>6</sup>**

<sup>1</sup> D. Sc., Ing. Agrícola. Profesor. Universidad de Costa Rica (U.C.R.). San José-Costa Rica. [guillermo.vargaselias@ucr.ac.cr](mailto:guillermo.vargaselias@ucr.ac.cr)

<sup>2,3</sup> Estudiante de Ingeniería Agrícola y Biosistemas, U.C.R. San José-Costa Rica.

<sup>4</sup> Bach. Estudiante de Agronomía. U.C.R. San José-Costa Rica.

<sup>5</sup> Estudiante de Ingeniería Agrícola y Biosistemas, U.C.R. San José-Costa Rica.

<sup>6</sup> M. Sc., Ciencia de los Alimentos. Profesora. Escuela de Tecnología de Alimentos - U.C.R. San José-Costa Rica.

Apresentado no  
LII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2023  
18 a 21 de outubro de 2023 – Ribeirão Preto - SP, Brasil

**RESUMEN:** Las dimensiones del cilindro, la entrada y removedores de un tostador de café puede utilizarse también para la torrefacción de los granos de cacao, el calentamiento de los granos y el perfil de tueste pueden ser representados por los modelos matemáticos desarrollados para café. El objetivo de esta investigación fue ajustar un modelo de temperatura para el tostador y para el grano durante la torrefacción del cacao. Se utilizó un tostador horizontal de cilindro rotativo diseñado para café. El tostador se calentó hasta 280 °C y se colocaron 600 g de cacao. Se analizaron 4 temperaturas para generar diferencias en el tueste de los granos, se registraron las temperaturas en el interior del tostador y en la superficie de los granos. Los modelos matemáticos representaron adecuadamente tanto la temperatura del tostador como la cinética del cacao con coeficiente de determinación de 0,9855 y 0,9283 respectivamente. El tostador de café sirve para el tueste en granos de cacao.

**PALAVRAS-CHAVE:** Nivel de tueste, calentamiento, tueste.

### **ROASTING TEMPERATURE PROFILE IN COCOA BEANS (*Theobroma cacao* L.)**

**ABSTRACT:** The dimensions of the cylinder, the inlet and removers of a coffee roaster can also be used for the roasting of the cocoa beans, the heating of the beans and the roasting profile can be represented by the mathematical models developed for coffee. The objective of this investigation was to adjust a temperature model for the toaster and for the grain during roasting the cocoa grains. A horizontal roaster with a rotating cylinder designed for coffee was used. The roaster was heated up to 280 °C and 600 g of cocoa were placed. Four temperatures were analyzed to generate differences in the grains, the temperatures were recorded in the interior of the toaster and on the surface of the grains. The mathematical models adequately represented both the temperature of the roaster and the kinetics of the cocoa with a coefficient of determination of 0.9855 and 0.9283 respectively. The roaster is a versatile equipment because it can predict the roast levels in cocoa and coffee beans.

**KEYWORDS:** Roasting, bean heating, roasted level.

**INTRODUCCIÓN:** El tueste de los granos de cacao resalta sus características organolépticas, debido a los componentes químicos generados en el proceso, su calidad depende del origen y etapas de procesamiento a las que se somete (ROJAS et al., 2021). La torrefacción es la operación más importante durante su procesamiento y los cambios químicos dependen de la temperatura aplicada (ROCHA et al., 2017), variar la temperatura de tueste afecta el perfil químico de los granos, lo que puede aumentar o reducir la calidad final de los productos que se derivan del grano (HINNEH, 2019). Los aumentos de temperatura reducen el contenido de polifenoles, actividad antioxidante en los granos, aumenta su acidez y disminuye su contenido de lípidos (TONFACK et al., 2018). Los tostadores cilíndricos se utilizan comúnmente porque proporcionan un calentamiento indirecto por medio de convección o calefacción eléctrica, lo que brinda un tueste uniforme y controlado (HII et al., 2019). Los tostadores de café convencionales pueden utilizarse para el tueste de granos de cacao, ya que durante la torrefacción ambos granos poseen un calentamiento similar y además, el contenido de humedad de los granos disminuye conforme aumenta la temperatura del aire dentro del tostador (VARGAS, 2019). El objetivo de este trabajo fue ajustar un modelo de temperatura para el tostador y para el grano de cacao durante la torrefacción para cuatro temperaturas de tueste.

**MATERIALES Y MÉTODOS:** El experimento se realizó en el Área de Procesamiento Agrícola, del Centro de Investigaciones para Granos y Semillas de la Universidad de Costa Rica (CIGRAS), ubicado en San José. Se utilizaron 1,8 kg de granos de cacao de una mezcla de subvariedades Upaleña (Figura 1.B). Se usó un tostador convencional diseñado para tueste de café de fabricación costarricense marca Bending, modelo ECO-2000, alimentado con gas GLP (Figura 1.A). La temperatura interna del tostador al ingresar las muestras estuvo en un rango entre 280-290 °C. La masa inicial de cada tueste fue de 600 g. Las temperaturas internas registradas al momento de la descarga fueron 205, 210, 215 y 220 °C. Para registrar la masa se utilizó una balanza digital de la marca Boeco, modelo BPS 51 plus, con una precisión de  $\pm 0,01$ g.

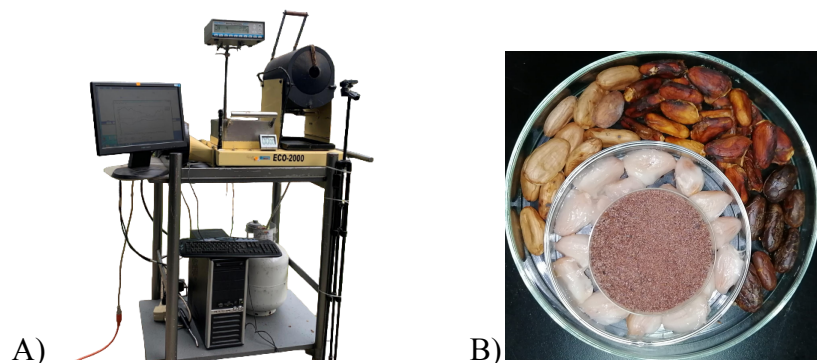


FIGURA 1. Tostador Bending (A) y granos de cacao desde fresco hasta tostado (B). La temperatura se midió en el interior del cilindro del tostador con un escáner con 12 termopares y se registró la temperatura por medio del programa Scanlink 2. Para realizar el ajuste del perfil de tueste de café se utilizó la ecuación 1, propuesta por Barrantes (2022).

$$T = a * (\exp(-k * t^n)) + b * t + c \quad (1)$$

Donde:

T es la temperatura en el interior de tostador en contacto con el aire (°C)

t es el tiempo efectivo del proceso de torrefacción (min)

a, k, n, b y c son los coeficientes determinados por regresión no lineal.

Para realizar el ajuste de la cinética de calentamiento del grano de cacao durante el tueste se utilizó la ecuación 2, propuesta por Abarca (2017).

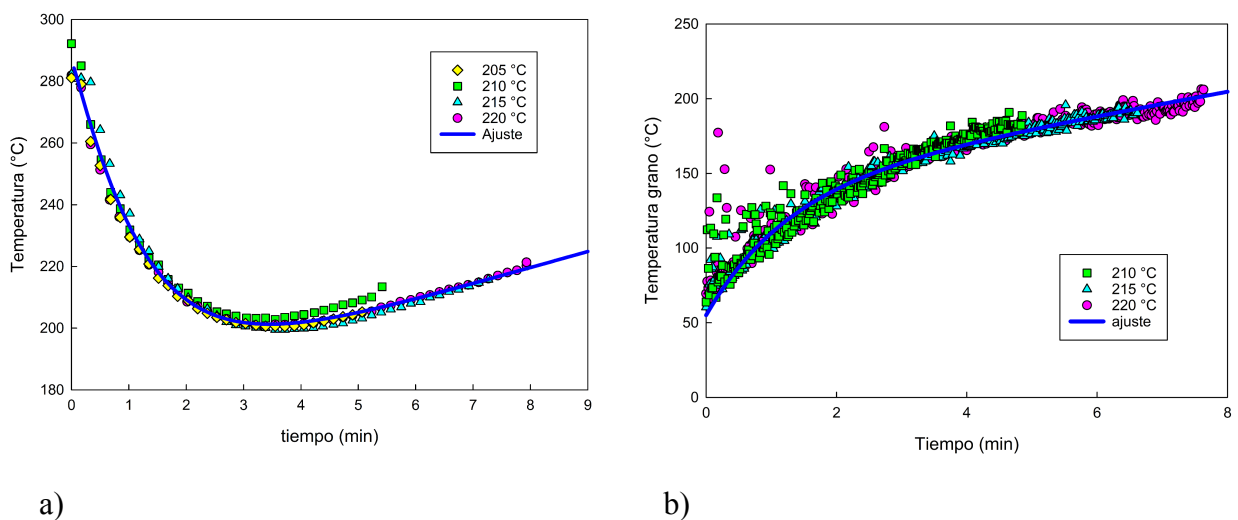
$$T_g = c + b \cdot t + (a/k) \cdot (1 - \exp(-k \cdot t)) \quad (2)$$

Donde:

$T_g$  es la temperatura de la superficie del grano en movimiento dentro del tostador ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 El ajuste de los datos en la ecuación 1 y 2 fue realizado utilizando el programa SigmaPlot 15.0. Los ajustes escogidos se basaron en los coeficientes de determinación ajustados ( $R^2_{aj}$ ) así como el error estándar (ESS) para cada una de las temperaturas.

**RESULTADOS E DISCUSIÓN:** El perfil de la temperatura presentó una disminución de temperatura hasta alcanzar un valor mínimo y después el sistema se calentó hasta finalizar el proceso como se observa en la figura 1. La disminución corresponde con el ingreso de los granos y con la recuperación del sistema ante el calentamiento del tostador y granos, lo cual fue descrito en granos de café y cacao en este mismo tostador (ABARCA, 2017; VARGAS, 2019; BARRANTES, 2022).

El perfil de temperatura corresponde a un ajuste general de las cuatro muestras debido a su semejanza cuando se usa un mismo lote de cacao (Fig. 1a). La cinética del calentamiento de los granos fue similar entre los tuestes (Fig. 1b).



a) b)  
 FIGURA 1. Perfil de temperatura del tostador y calentamiento de los granos de cacao. La temperatura del proceso de torrefacción en granos de cacao puede ser representada temáticamente como se observa en la figura 2.

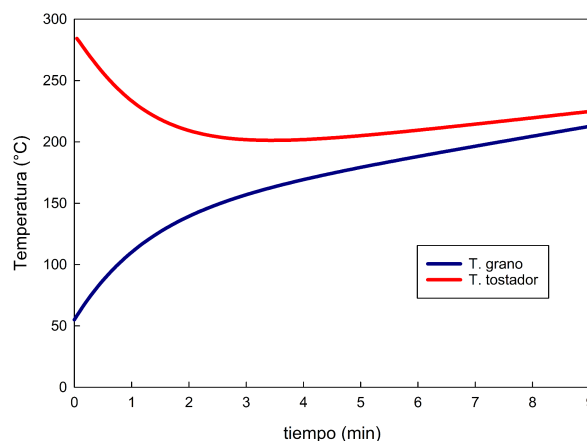


FIGURA 2. Perfil de temperatura durante la torrefacción de los granos de cacao.

Los coeficientes de los ajustes determinados para cacao son muy diferentes con respecto a los de café, como se observa en el cuadro 1.

Cuadro 1. Coeficientes de la ecuación y los parámetros estadísticos para el perfil de temperatura y el calentamiento en los granos de cacao.

<b>Modelo</b>	<b>k</b> (min <sup>-1</sup> )	<b>n</b> (adimen.)	<b>a</b> (°C)	<b>b</b> (°C min <sup>-1</sup> )	<b>c</b> (°C)	<b>R<sup>2</sup></b> (dec.)	<b>ESS</b> (%)
ABARCA (2017)	0,7923	-	68,1307	7,9755	55	0,9283	9,1754
BARRANTES (2022)	0,7703	1,0926	109,1282	5,2377	177,6553	0,9855	2,6526

ESS: error estándar de estimación. (\*\*) Los p-valores en la determinación de los coeficientes fue menor a 0,0001

El calentamiento de los granos de cacao puede ser representado adecuadamente por un modelo desarrollado a partir de la derivada de la temperatura (ABARCA, 2017). La tendencia del tueste muestra similitud con el tueste de los granos de café.

**CONCLUSIONES:** Se ajustó adecuadamente un modelo de temperatura del tostador y otro para la cinética del calentamiento de los granos de cacao durante la torrefacción.

**AGRADECIMIENTOS:** A la empresa colaboradora Colibrí Organic Chocolates.

**REFERENCIAS:** ABARCA-MORA, Royner. **Estudio del proceso de torrefacción del café en tostador convencional**. Trabajo final do curso (Graduação em Engenharia Agrícola) – Escuela de Ingeniería Agrícola y Biosistemas, Universidad de Costa Rica, Costa Rica, 2017. <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/75352>.

BARRANTES-MONTOYA, Sergio. **Efecto del tipo de beneficiado en la torrefacción de los granos de café (*Coffea arabica*)**. Trabajo final do curso (Graduação em Engenharia Agrícola) – Escuela de Ingeniería Agrícola y Biosistemas, Universidad de Costa Rica, Costa Rica, 2022. Disponible en: <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/86824>.

HII LIK, C. y BORÉM MEIRA, F. **Drying and roasting cocoa and coffee**. Boca Ratón, Florida: Taylor & Francis. 2019.

HINNEH, Michael e colab. Tuning the aroma profiles of Forastero cocoa liquors by varying pod storage and bean roasting temperature. **Food Research International**, v. 125, n. July, p. 108550, 2019. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108550>.

ROCHA, S. I. e colab. Effect of the roasting temperature and time of cocoa beans on the sensory characteristics and acceptability of chocolate. **Food Science and Technology**, v. 37, n. No. 4. 2017. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/1678-457X.16416>.

ROJAS, M. e colab. Physicochemical phenomena in the roasting of cocoa (*Theobroma cacao* L.). **Food Engineering Reviews**, v. 14, n. No. 22. 2021. <https://doi.org/10.1007/s12393-021-09301-z>.

TONFACK, D, F. e colab. Effect of traditional and oven roasting on the physicochemical properties of fermented cocoa beans. **Heliyon**, v. 4, n. No. 2. 2018. Disponible em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00533>.

VARGAS, Rebeca. **Análisis del secado, el equilibrio higroscópico y la torrefacción de los granos de cacao**. 2019. 105 f. Universidad de Costa Rica, 2019. Disponible em: <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/79255>.