

## APLICACIÓN DE UN NUEVO MODELO MATEMÁTICO EN EL CALENTAMIENTO DE GRANOS DE CAFÉ CATUAÍ ROJO DURANTE EL TUESTE

KRISTAL CORDERO-ZÚÑIGA<sup>1</sup>, GUILLERMO VARGAS-ELÍAS<sup>2</sup>, DENNIS  
ELIZONDO-MONTOYA<sup>3</sup>, SOFÍA MADRIGAL-RAMÍREZ<sup>4</sup>, ANDRÉS  
LASTRA-LASTRA<sup>5</sup>, JAVIER CHINCHILLA-ORREGO<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Estudiante de Ingeniería Agrícola y de Biosistemas, Universidad de Costa Rica (UCR), [kristal.cordero@ucr.ac.cr](mailto:kristal.cordero@ucr.ac.cr)

<sup>2</sup> D. Sc., Ing. Agrícola, Profesor. Centro de Investigación en Granos y Semillas

<sup>3</sup> Lic. Ing. Agrícola y de Biosistemas, Profesor, UCR

<sup>4</sup> Estudiante de Ingeniería Agrícola y de Biosistemas, UCR

<sup>5</sup> Estudiante de Ingeniería Agrícola y de Biosistemas, UCR

<sup>6</sup> Estudiante de Ingeniería Agrícola y de Biosistemas, UCR

Apresentado no  
LIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2024  
6 a 8 de agosto de 2024 – Natal – RN, Brasil

**RESUMEN:** Para mejorar la calidad de los granos de café, es importante controlar la temperatura y el tiempo de tueste durante el proceso de torrefacción. Debido a que esto influye en el sabor y el perfil de tueste. El objetivo de este estudio fue determinar la cinética de calentamiento de los granos de café Catuaí con dos métodos de procesamiento: miel y lavado, utilizando una nueva ecuación matemática. Se midió la temperatura del grano cada segundo con un termómetro infrarrojo. Se tostaron tres muestras de  $600 \text{ g} \pm 0,5 \text{ g}$  de café para cada método. La temperatura inicial fue de  $260 \text{ }^\circ\text{C}$  y la final de  $230 \text{ }^\circ\text{C}$ . Para describir la cinética de calentamiento, se compararon tres ecuaciones siendo el modelo de Vargas y el propuesto los que tuvieron el mejor coeficiente de determinación con un ( $R^2$ ) de 0,946 para el grano lavado y 0,927 para el grano miel respectivamente.

**PALABRAS CLAVE:** tueste, temperatura, proceso.

## APPLICATION OF A NEW MATHEMATICAL MODEL IN THE HEATING OF RED CATUAÍ COFFEE BEANS DURING ROASTING

**ABSTRACT:** To improve the quality of coffee beans, it is important to control the temperature and roasting time during the roasting process, as this influences the flavor and roast profile. The objective of this study was to determine the heating kinetics of Catuaí coffee beans with two processing methods: honey and washed, using a new mathematical equation. The temperature of the beans was measured every second with an infrared thermometer. Three samples of  $600 \text{ g} \pm 0,5 \text{ g}$  of coffee were roasted for each method. The initial temperature was  $260 \text{ }^\circ\text{C}$  and the final temperature was  $230 \text{ }^\circ\text{C}$ . To describe the heating kinetics, three equations were compared, with the Vargas model and the proposed model showing the best determination coefficients with an ( $R^2$ ) of 0,946 for the washed beans and 0,927 for the honey beans, respectively.

**KEYWORDS:** roast, temperature, process.

**INTRODUCCIÓN:** Una de las variedades del café arábica en Costa Rica lleva el nombre de Catuaí originada del café Caturra y Mundo Novo (BARRANTES, 2022). Existen dos variables de este tipo de café registradas en el país; el Catuaí amarillo y el rojo. Como características interesantes de la variedad estudiada se puede mencionar que esta es susceptible a la roya y nemátodos de raíz, tiene un alto rendimiento y puede alcanzar producciones de 1800 a 3000 kg/ha según el lugar y densidad de siembra utilizada (CORTINA et al., 2012). Con el procesamiento del café se logra aumentar el valor del producto final y a su vez, se ha determinado que la producción de un café de calidad genera ventajas económicas para el productor (BARRANTES, 2022). La torrefacción aumenta aproximadamente 29 % el valor del grano, se debe garantizar que el tiempo de tueste sea de 8 a 15 minutos (ABARCA, 2017). El objetivo fue determinar la cinética de temperatura de los granos de café en la torrefacción.

**MATERIALES Y MÉTODOS:** El estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Procesamiento Agrícola del Centro de Investigación en Granos y Semillas (CIGRAS). Se utilizaron granos de café de la variedad Catuaí en proceso miel (*honey*) y lavado (*washed*). Se midió una masa de 600 g de café oro con 3 repeticiones para cada proceso. Se usó un tostador convencional con cilindro rotativo perforado de marca nacional BENDIG, modelo ECO-2000, precalentado a 260 °C. El final del tueste se determinó a 230 °C en todos los granos. La temperatura de la superficie de los granos se midió con un termómetro infrarrojo marca General®, que transmite los datos a la computadora cada segundo por medio del programa Temperature Version 1.0. Los datos fueron ajustados mediante SigmaPlot 15.0 y se utilizaron las siguientes ecuaciones 1, 2 y 3.

Modelo de VARGAS (2014):

$$T = n + \left(\frac{s}{b-k}\right) * [(exp^{(-k*t)}) - (exp^{(-b*t)})] + (a - n) * (exp^{(-b*t)}) \quad (1)$$

Modelo de ABARCA (2017):

$$T = c + b * t - \left(\frac{a}{k}\right) * (1 - exp(-k * t)) \quad (2)$$

Modelo propuesto:

$$T = y_0 + a * (1 - exp^{(-b*t)}) + c * (1 - exp^{(-b*t)}) \quad (3)$$

donde,

a, b, c, d, k, s, n y y<sub>0</sub> - Coeficientes.

t - variable del tiempo (min).

T - Temperatura (°C).

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN:** Para el desarrollo del proyecto se evaluaron tres repeticiones en cada uno de los procesos (lavado y miel) y mediante el programa SigmaPlot 15.0 se hicieron ajustes para tres modelos: VARGAS (2014), ABARCA (2017) y un modelo propuesto. Se presentan los coeficientes finales para los modelos estudiados en la TABLA 1, donde se observa que el mayor valor de R<sup>2</sup> se obtuvo con el modelo de Vargas y el propuesto, con valores de 0,946 (lavado) y 0,927 (miel). El modelo de Abarca muestra una tendencia muy similar a los anteriores, lo que sugiere un buen ajuste.

TABLA 1. Coeficientes de la ecuación y los parámetros estadísticos para la cinética de los granos de café Catuaí lavado y miel.

Modelo	Muestra	y0	a	b	c	d	n	s	k	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> adj	SEE
Modelo propuesto	Lavado	86,65	42,67	0,85	187,15	0,05	-	-	-	0,946	0,946	8,020
VARGAS, (2014)	Lavado	-	86,65	0,05	-	-	316,46	33,91	0,85	0,946	0,946	8,020
ABARCA, (2017)	Lavado	-	33,78	6,22	88,53	-	-	-	0,58	0,945	0,945	8,029
Modelo propuesto	Miel	62,59	53,19	5,70	157,13	0,08	-	-	-	0,927	0,927	7,104
VARGAS, (2014)	Miel	-	62,59	0,08	-	-	272,91	298,98	5,70	0,927	0,927	7,104
ABARCA, (2017)	Miel	-	31,65	6,41	93,40	-	-	-	0,68	0,924	0,924	7,258

SEE: error estándar de estimación; R<sup>2</sup> Adj: Regresión ajustada.

Se presenta la figura 1 con los ajustes correspondientes a las tres ecuaciones utilizadas para el Catuaí lavado. Se evidencia que las ecuaciones tienen un ajuste similar.

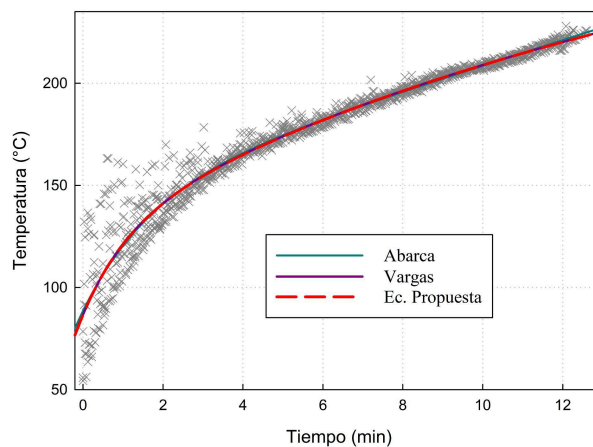


FIGURA 1. Ajuste con los tres modelos estudiados para el Catuaí lavado.

Es posible mencionar que para el Catuaí miel el modelo propuesto y Vargas fueron los que mejor se ajustaron a la temperatura de los granos dentro del tostador, esto porque ambos tuvieron el valor R<sup>2</sup> de 0,927. La tendencia puede observarse en la figura 2.

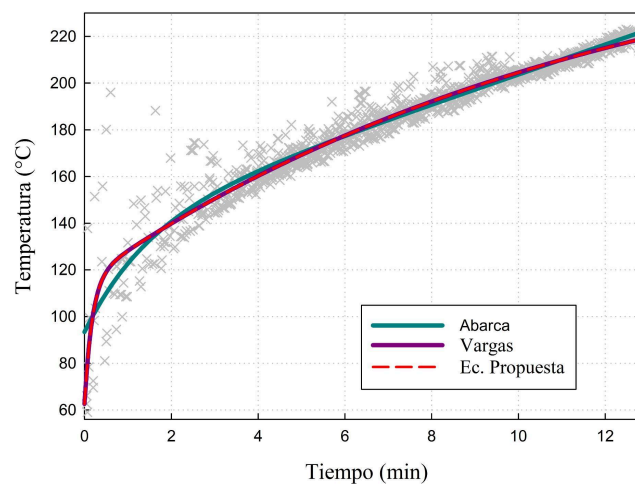


FIGURA 2. Ajuste con los tres modelos estudiados para el Catuaí miel.

En la figura 3 se observa que se obtuvieron valores más cercanos a 0 en el análisis de residuos de Catuaí lavado (a). En el caso del Catuaí miel (b) hay mayor dispersión en los datos. Lo que significa que los datos tuvieron un mayor ajuste para el proceso lavado.

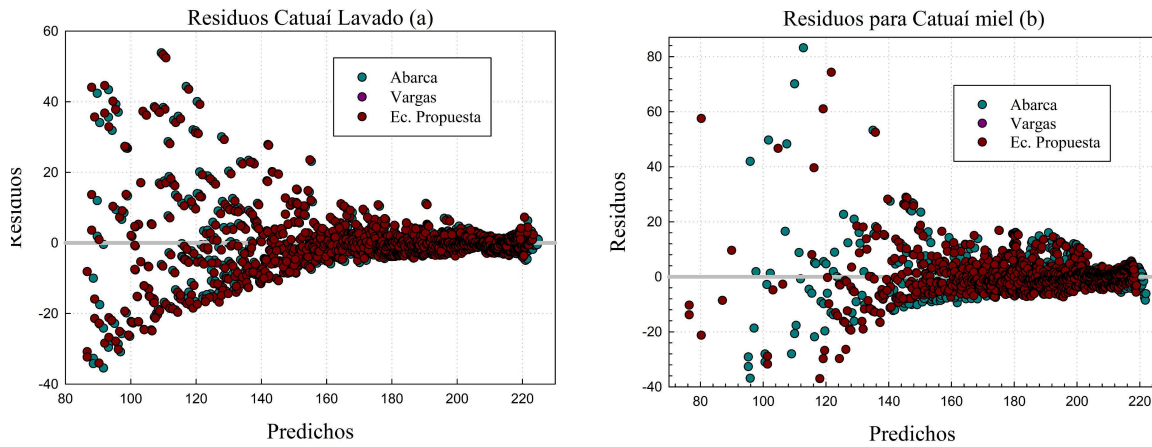


FIGURA 3. Análisis de residuos del café Catuaí lavado (a) y miel (b).

**CONCLUSIONES:** La ecuación propuesta se ajusta de manera adecuada en el análisis de datos, tanto para el catuaí lavado como el miel. La ecuación de Vargas y la propuesta son las que tuvieron un mayor ajuste, la de Abarca también tuvo un ajuste alto. Por lo que, puede utilizarse en cualquier análisis de torrefacción de café.

**AGRADECIMIENTOS:** Al CIGRAS por brindar un espacio para que los estudiantes puedan desarrollar proyectos de investigación que beneficien la ciencia y a los agricultores del país.

#### REFERENCIAS:

- ABARCA, R. **Estudio del proceso de torrefacción del café (*Coffea arabica*) en tostador convencional.** Universidad de Costa Rica, San José. 2017.
- BARRANTES, S. **Efecto del tipo de beneficiado en la torrefacción de los granos de café (*Coffea arabica*).** Universidad de Costa Rica, San José. 2022.
- CORTINA, H., MONCADA, M., HERRERA, J. **Variedad Castillo.** Avances Técnicos Cenicafe. 2012. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/410/1/avt0426.pdf>
- VARGAS, G. **Cinética do aquecimento, expansão volumétrica e perda de massa em grãos de café durante a torrefação.** Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais. 2014.