

SECADO DE LOS FRUTOS DE CAFÉ POR CONVECCIÓN NATURAL Y FORZADA

GUILLERMO A. VARGAS-ELÍAS¹, ESTEBAN F. JIMÉNEZ-ESQUIVEL², MARÍA D. BARRANTES-SALAS³, YAILYN N. ABARCA-ALPÍZAR⁴, SERGIO I. BARRANTES-MONTOYA⁵, MATÍAS A. CHAVES-HERRERA⁶

¹ D. Sc., profesor Escuela de Ing. Agrícola y Biosistemas

² Estudiante, Escuela de Ing. Biosistemas, esteban.jimenezesquivel@ucr.ac.cr

³ Estudiante, Escuela de Ing. Biosistemas

⁴ Bach., Escuela de Agronomía

⁵ Lic., Ingeniero Agrícola y Biosistemas

⁶ M. Sc., profesor de Escuela de Ing. Biosistemas

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

RESUMEN: La cosecha selectiva del fruto maduro y el método de secado en condiciones ambientales son ejemplos de la oportunidad que tiene el cultivo de café para mantener la calidad especial en la poscosecha, sin embargo, el clima tropical de Costa Rica puede aumentar el tiempo de secado en convección natural. El objetivo de este trabajo fue comparar dos métodos de secado con los frutos de café maduros por convección natural y usando el aire forzado en flujo transversal. Se utilizaron muestras de 550 g con 4 repeticiones para la convección forzada en una secadora estática y para la convección natural se usaron mesas elevadas. Se ajustó la ecuación de Page con un coeficiente de determinación de 0,98 y se determinó que la convección forzada fue 5 veces más rápida que la convección natural, reduciendo el tiempo de secado de 20 a 4 días.

PALABRAS CLAVES: cinética, *Coffea arabica*, proceso.

DRYING COFFEE CHERRIES WITH NATURAL CONVECTION AND AIR FORCED

ABSTRACT: The selective harvest of the ripe fruit and the drying method under ambient conditions are examples of the opportunity that coffee cultivation has to maintain the special quality in the post-harvest, however, the tropical climate of Costa Rica can increase the production time. drying in natural convection. The objective of this work was to compare two drying methods with ripe coffee fruits by natural convection and using forced air in transverse flow. The samples of 550 g with 4 repetitions were used for forced convection in a static dryer and elevated table were used for natural convection. The Page equation was adjusted with a coefficient of determination of 0.98 and it was determined that forced convection was 5 times faster than natural convection, reducing the drying time from 20 to 4 days.

KEYWORDS: *Coffea arabica*, kinetic, process.

INTRODUCCIÓN: El secado tiene como objetivo disminuir el contenido de humedad hasta una condición segura, máximo 12 % b.h. y humedad relativa menor a 65 % para evitar el desarrollo de hongos (JIMÉNEZ, VALVERDE, 1999). La vida útil del fruto de café es corta y se debe evitar la fermentación que inicia entre las 24 horas después de la cosecha (GÓMEZ, 2019). El secado por convección natural consiste en colocar los granos con toda su pulpa en

mesas elevadas en un grosor de una o dos pulgadas y se mueve una o dos veces al día y se realizan mediciones de humedad a 3 semanas de ingresado y se continúan las mediciones de humedad hasta su ingreso a la bodega, usualmente se tarda entre 23 y 28 días. El método artificial se realiza mediante una secadora de aire forzado con la velocidad y la temperatura del aire variable, su influencia debe estudiarse porque afecta directamente la calidad de los granos (Nilnont et al, 2011). El secado de capa delgada se puede analizar a partir de la constante de secado (k), sus unidades son la inversa del tiempo, por lo que se posee la propiedad de indicar la rapidez de un proceso de secado, y su valor está en función del contenido de humedad del material, tipo de producto, humedad del aire, temperatura del aire y velocidad del aire (Collazo et al., 2018). El objetivo de esta investigación fue comparar la rapidez del secado en los frutos de café por el método de convección forzada y el de convección natural en mesas elevadas.

MATERIAL Y MÉTODOS: El trabajo se realizó en el área de Procesamiento Agrícola del Centro para Investigaciones en Granos y Semillas (CIGRAS) de la facultad de Ciencias Agroalimentarias de la Universidad de Costa Rica. Se utilizaron granos de café (*Coffea arabica*) de la mezcla de variedades de caturra-catuaí, provenientes de la zona del Guarco de Cartago a 1450 msnm, cultivado bajo un sistema de semisombra diversificada. El fruto se seleccionó en punto de madurez con tonalidades color vino (Fig. 1ba). El secado se realizó simultáneamente tanto al sol por 17 días como en la secadora por 5 días. El registro de masa se realizó en balanza digital de 0,01 g y se estimó el contenido de humedad en base húmeda (X) con la ecuación 1, además, se calculó el contenido de humedad en base seca (Y) y la razón de humedad en base seca (RY) con la ecuación 2 y 3; respectivamente.

$$X = 100 - (M_i / M_f) * (100 - X_i) \quad (1)$$

$$Y = 100 * X / (100 - X) \quad (2)$$

$$RY = (Y - Y_e) / (Y_i - Y_e) \quad (3)$$

En que,

M_i - masa inicial de la muestra (g)

M_f - masa final muestra (g)

X_i - Contenido de humedad inicial (% base húmeda)

Y_i - Contenido de humedad inicial (dec. base seca)

Y_e - Contenido de humedad de equilibrio (dec. base seca)

La humedad al inicio del grano fue 65 % b.h. determinado con el promedio de tres repeticiones, mediante el horno de convección forzada a 105 °C, 5 g y 24 h (MAPA; 2009). Se utilizó una secadora (Fig. 1a) con velocidad del aire de 3,9 m/s en flujo transversal, y con una resistencia eléctrica para mantener la temperatura a 40 °C y humedad relativa de 39 %. El sistema opera con un microcontrolador Arduino UNO, descrito por ROJAS et al. (2022).

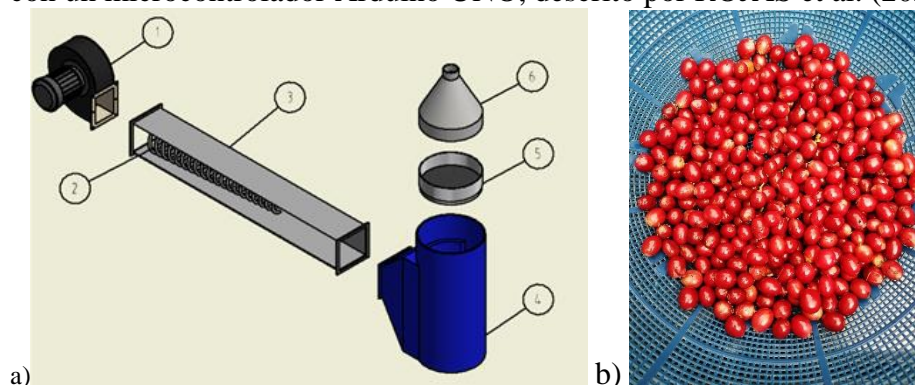


FIGURA 1. a) Secadora en flujo de aire transversal a la capa delgada (GÓMEZ et al., 2018). b) Frutos de café maduros recién cosechados.

La ecuación de Page (ec. 4) se utilizó para representar la razón de humedad.

$$RY = \exp(-k \cdot t^n) \quad (4)$$

en que,

t – tiempo de secado (h)

Los coeficientes k y n se determinaron por regresión no lineal en el programa SigmaPlot 15.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

La razón de humedad decreció exponencialmente en ambos métodos como se observa en la Figura 2. Los frutos de café disminuyeron su humedad en 40 % para la convección natural y 70 % en la convección forzada en 24 h.

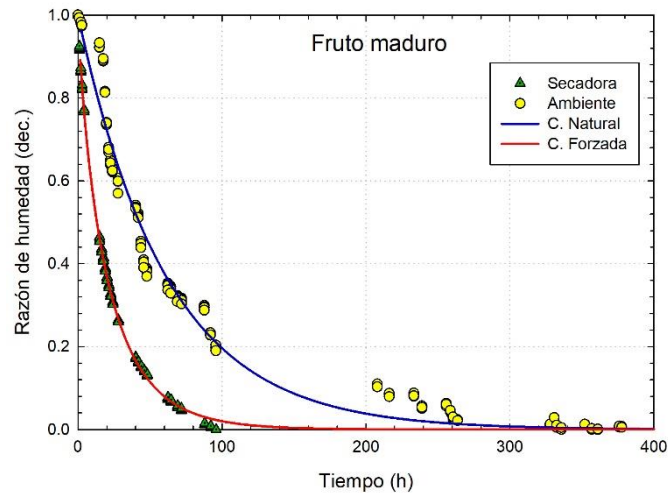


FIGURA 2. Secado de frutos maduros de café por convección natural y forzada a 40 °C.

Los resultados de este experimento demostraron que el modelo de Page representó la cinética del secado en ambos procesos. El tiempo de secado por convección natural para el fruto café entre 11 a 17 días, está conforme a otras investigaciones (BARRANTES, 2022). Los coeficientes de determinación ajustados fueron mayores en el secado de convección forzada con respecto a los de convección natural como se observa en la Tabla 1. El ajuste general de las cuatro repeticiones presentaron coeficientes de determinación mayor que 0,98 y el valor *p* de los coeficientes fue menor a 0,0001. Los coeficientes *k* y *n* del modelo de Page fueron 70,9 y 1,3 veces mayores que los determinados por Correa et al. (2006), respectivamente.

Tabla 1. Coeficientes del modelo de Page y parámetros estadísticos del ajuste.

Convección	Capa	k (h ⁻¹)	n (adim.)	R ²	R ² _{adj}	E.E.E.
Forzada	S1	0,0763	0,8544	0,9996	0,9992	0,0085
	S2	0,0777	0,8519	0,9993	0,9992	0,0084
	S3	0,0774	0,8496	0,9992	0,9991	0,0089
	S4	0,0778	0,8513	0,9992	0,9992	0,0089
	Sg	0,0773	0,8518	0,9992	0,9992	0,0086
Natural	A1	0,0162	0,9966	0,9824	0,9820	0,0465
	A2	0,0162	1,0014	0,9803	0,9798	0,0492
	A3	0,0171	0,9858	0,9807	0,9802	0,0486
	A4	0,0150	1,0253	0,9797	0,9792	0,0499
	Ag	0,0162	1,0017	0,9807	0,9806	0,0477

E.E.E.: Error Estándar de Estimación; adim.: adimensional.

La razón entre las constantes de secado para cada proceso fue de 4,8 veces.

CONCLUSIONES: El modelo de Page representó eficazmente el secado tanto por convección natural como por el aire forzado. El secado por convección forzada de aire en flujo transversal fue 5 veces más rápido que la convección natural.

AGRADECIMIENTOS: Emprendimiento “CAFÉ LEGADOS”, realizado por mujeres caficultoras lideradas por Tatiana Vargas Navarro en la finca Don Gerardo.

REFERENCIAS: BARRANTES M., S. **Efecto del tipo de beneficiado en la torrefacción de los granos de café (*Coffea arabica*)**. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Agrícola, Universidad de Costa Rica, 2022. <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/86824>

COLLAZO, P. L., MOREJÓN, Y., & FERNÁNDEZ, L. 2018. Mathematical and Experimental Models for the Analysis of Solar Seed Drying, 27(1), 89–98.

CORREA, P. C, et al. 2006. Drying characteristics and kinetics of coffee berry. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, 8(1), 1-10.

GÓMEZ BOLAÑOS et al., 2018. Secado de semillas de papaya en capa delgada con alto flujo de aire. **Memoria Congreso Latinoamericano de Ingeniería Agrícola**.

GÓMEZ MORA, J.M. 2019. **Modelación del procesamiento Agroindustrial del café desde la fruta hasta el café oro**. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Agrícola. Universidad de Costa Rica. <http://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/79794>

GUTIÉRREZ, J. M., COPETE, H. 2009. Hacia la mejora del secado mecánico del café en Colombia. **Revista TECNOLÓGICAS**, 23, 109–132.

JIMÉNEZ, R.; VALVERDE, R. 1999. Relaciones de humedad de equilibrio para café (*Coffea arabica*) de primera calidad en Costa Rica. **Tecnología en Marcha**. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7429972>

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). 2009. **Regras para Análise de Sementes**. Gobierno de Brasil. https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946_regras_analise_sementes.pdf

NILNONT, W, et al. 2011. Simulación de elementos finitos para el secado de Café **ELSEVIER**. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960308511000575>

ROJAS-BARRANTES, S. et al. 2022. Implementación y evaluación de un circuito de control de temperatura en una secadora de flujo transversal. **Memoria del CONBEA**. <https://conbea.org.br/anais/publicacoes/conbea-2022/anais-2022/ciencia-e-tecnologia-de-pos-colheita-ctp>