

“SECADO DE GRANOS DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) A BAJA TEMPERATURA EN TRES SECADORES CON DIFERENTES FLUJOS DE AIRE”

BRYAN BADILLA-MENA¹, GUILLERMO VARGAS-ELÍAS², SEBASTIÁN ROJAS-BARRANTES³, LUCÍA SALAS-RIVERA⁴, KAREN ZÚÑIGA-CAMACHO⁵, LEA WEXLER-GOERING⁶

¹ Bach., Estudiante de Agronomía, U.C.R., bryan.badillamena@ucr.ac.cr

² D. Sc., Ing. Agrícola. Profesor. Centro de Investigaciones en Granos y Semillas - U.C.R.

³ Estudiante de Ingeniería Agrícola y de Biosistemas. U.C.R.

⁴ Estudiante de Ingeniería de Alimentos. Escuela de Tecnología de Alimentos - U.C.R.

⁵ Estudiante de Ingeniería de Alimentos. Escuela de Tecnología de Alimentos - U.C.R.

⁶ M. Sc., Ciencia de los Alimentos. Profesora. Escuela de Tecnología de Alimentos - U.C.R.

Apresentado no
LI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2022
27 a 29 de outubro de 2022 - Pelotas - RS, Brasil

RESUMO: La calidad del cacao se debe a muchos factores, entre ellos a la variedad, la zona de producción y el tratamiento poscosecha. La fermentación y el secado son procesos que afectan el sabor y calidad final del cacao, así como del chocolate, por esto deben secarse inmediatamente para evitar su deterioro. El objetivo fue comparar la rapidez del secado con aire caliente de los granos de cacao recién fermentados en tres secadores con flujos de aire diferentes. Los secadores presentaron diferentes sistemas de distribución de aire, dos con flujo transversal y uno tipo túnel. La temperatura del aire fue de 40 °C y se llevó un registro de masa durante 4 días hasta obtener un contenido de humedad entre 6,9 y 7,5%. Se determinó la constante de secado para un mismo modelo, cuyos coeficientes se ajustaron adecuadamente con coeficiente de determinación mayor o igual a 0,98. Los modelos de Page, Midilli y Verma permitieron describir el proceso de secado con ajustes similares, se seleccionó el de Page por ser una modelo más sencillo por el menor número de variables. Los tres secadores fueron efectivos en la disminución de la humedad de los granos y se determinó que el secador con alto flujo transversal fue el más rápido para disminuir la humedad del grano.

PALAVRAS-CHAVE: Contenido de humedad, Modelado matemático, capa delgada.

COCOA BEAN DRYING BY AIR CONVECTION IN THREE DRYERS

ABSTRACT: The quality of cocoa is due to many factors, including the variety, the production area and post-harvest treatment. Fermentation and drying are processes that affect the flavor and final quality of cocoa, as well as chocolate, so they must be dried immediately to prevent deterioration. The objective was to determine the constant rate of the thin layer from freshly fermented cocoa beans in three dryers with different air flows. Two systems air distribution was studied in dryers, with transversal flow and one tunnel type. The air temperature was 40 °C and a mass record was kept for 4 days until a moisture content between 6.9 and 7.5% was obtained. The drying constant was determined for the same model, whose coefficients were adequately adjusted with a determination coefficient greater than or equal to 0.98. Page, Midilli and Verma models allowed to describe the drying process with similar adjustments, Page was selected because it is a simpler model, due to the smaller

number of variables. All three dryers were effective in reducing grain moisture, and it was determined that the high cross-flow dryer was the fastest in reducing grain moisture.

KEYWORDS: Moisture content, mathematical model, thin layer.

INTRODUÇÃO: La calidad del cacao está influenciado por múltiples factores, entre ellos por la variedad, la zona de producción, el tratamiento poscosecha del grano y el proceso de manufactura del chocolate (WAHYUNI et al., 2021). El proceso de fermentación de las semillas de cacao es importante porque puede afectar la calidad del producto al generar cambios en el sabor final de las barras de chocolate (NURHAYATI e APRIYANTO, 2021). El secado debe aplicarse inmediatamente para detener este proceso y evitar el deterioro del grano, además para el almacenamiento adecuado se requiere disminuir hasta 7 a 7.5 % b.h. para el mantenimiento de componentes esenciales y características sensoriales de aroma y sabor (VARGAS, 2019; DELGADO-OSPINA et al., 2020; WAHYUNI et al., 2021). El objetivo fue comparar la rapidez del secado con aire caliente de los granos de cacao recién fermentados en tres secadores con flujos de aire diferentes.

MATERIAL E MÉTODOS: Se utilizó la subvariedad de cacao Talamanqueña sembrada en Upala y utilizada por la empresa Colibrí para la elaboración de sus productos. El sitio se encuentra al norte de Costa Rica. El contenido de humedad se determinó por triplicado en 5 g de cacao en granos molidos, en un horno de convección a 105 °C durante 24 h de acuerdo con la norma ISO 2451:2017. Se usaron 2500 g de cacao fermentado en cada secador.

La fermentación se hizo en condiciones de temperatura (37°C) y humedad (80%) controladas. Las muestras se mantuvieron dentro de una caja de madera durante 3 días en fermentación anaeróbica (sin oxígeno) y 3 días en condiciones aerobias (con volteo cada 24 horas), dentro de una cámara de ambiente controlado.

El secado se realizó en tres equipos, dos secadores de flujo transversal y un secador de flujo horizontal tipo túnel. Los dos primeros contaron con un flujo diferente de aire, el alto flujo (S3) fue de 0,765 m³/s, este se logró con una velocidad de 3,9 m/s aplicada a una capa en 0,1926 m² de cacao. El bajo flujo fue de 0,141 m³/s (S2), en un área mayor de contacto (0,2826 m²) y con una menor velocidad del aire (0,5 m/s).

Los secadores de flujo transversal tenían un abanico centrífugo a velocidad constante y resistencias eléctricas para calentamiento del aire. La temperatura de secado se mantuvo constante con un algoritmo de control PID con base en el dato de temperatura, medido por el sensor DHT21 (± 0,5 °C). El actuador fue un relé de estado sólido, encargado del encendido y apagado de las resistencias, con el cual se comunica el microcontrolador Arduino.

Las curvas de secado se obtuvieron mediante modelos de ajustes en Sigmaplot versión 14. Para esto se llevó un registro de masa durante todo el proceso de secado, que permitió estimar el contenido de humedad en base húmeda (X) durante el procesos de secado, con la ecuación 1, se calculó el contenido de humedad en base seca (Y) con la ecuación 2 y con este último se estimó la razón de humedad en base seca (ecuación 3).

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

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

$$RU = (Y_f - Y_e) / (Y_i - Y_e) \quad (3)$$

donde,

M_i - masa inicial de la muestra (g)

M_f - masa final muestra, en tiempo de evaluación (g)

X_i - Contenido de humedad inicial (% base húmeda)

X_f - Contenido de humedad en el tiempo de evaluación (% base húmeda)

Y - Contenido de humedad transformada (% base seca)

Y_f - Contenido de humedad en el tiempo de evaluación (dec. base seca)

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

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

La razón de humedad se ajustó con los mejores 3 modelos reportados por Vargas (2019) para el secado de cacao, estos fueron Page, Midilli Y Verma (DIAMANTE e MUNRO, 1993; LALIT R. VERMA et al., 1985; MIDILLI et al., 2002). Se seleccionó el modelo que mejor explicó el comportamiento en los tres secadores. Se analizó el valor del coeficiente de determinación R^2 , el Error Estándar de las Estimaciones (SEE), para determinar el mejor modelo de ajuste. Se buscó un modelo con alto valor R^2 y bajo SEE (VARGAS, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: La Tabla 1 presenta los coeficientes, el R^2 y el SEE para los modelos de Page, Midilli y Verma. Los tres modelos permiten explicar el proceso de secado para los tres secadores. Los R^2 fueron mayores o igual al 98% y los SEE fueron similares en los tres modelos. Se seleccionó el modelo de Page por el menor número de variables. El mayor valor de k se observó en el secador con alto flujo transversal (S3).

TABLA 1. Coeficientes de cada ecuación y parámetros estadísticos en el ajuste de la curva de secado para las tres secadoras en los granos de cacao con aire forzado a 40 °C.

Modelo	Constante	S1	S2	S3
PAGE	n	0,5009	0,4951	0,4614
	k (h ⁻¹)	0,3767	0,3546	0,4330
	R ²	0,9972	0,9800	0,9810
	SEE	0,0150	0,0393	0,0366
MIDILLI	a	0,0003	0,0008	0,0005
	b	1,0037	1,0626	1,0563
	u	0,5269	0,5042	0,4646
	k (h ⁻¹)	0,3671	0,3947	0,4743
	R ²	0,9981	0,9861	0,9850
VERMA	g	0,4412	0,5465	0,9167
	a	0,3378	0,4168	0,4373
	k (h ⁻¹)	0,0305	0,0300	0,0378
	R ²	0,9961	0,9922	0,9925
	SEE	0,0181	0,0248	0,0230

SEE: error estándar de estimación.

El registro de masa permitió ajustar un modelo predictivo eficaz y determinar el contenido de humedad al final del secado sin necesidad de hacer pruebas destructivas del grano de cacao, para los tres secadores en análisis. La Figura 1 muestra que la humedad disminuye un 80 % de su condición inicial en menos de 20 h y el secado completo ocurre en 4 días. También, muestra que se puede usar un mismo modelo de ajuste para los tres secadores.

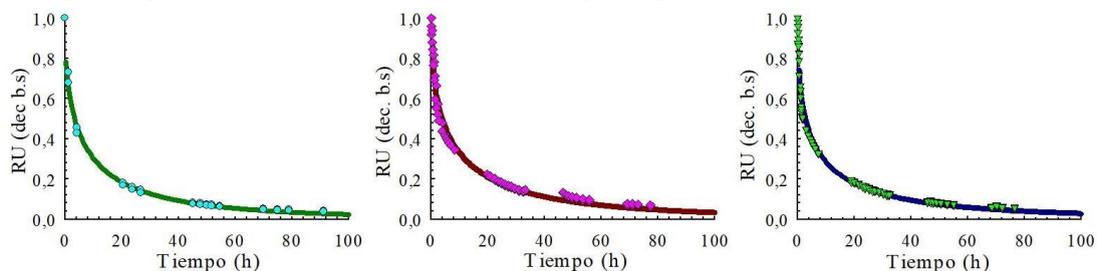


FIGURA 1. Curvas de secado para el modelo de Page en tres secadores con diferente flujo de aire, en granos de cacao fermentado durante 3 días. Izquierda: tipo túnel, Centro: bajo flujo transversal y Derecha: alto flujo transversal.

Las curvas de secado en los tres secadores se ajustaron con el modelo de Page (figura 2), se obtuvieron curvas con diferente rapidez de secado, el secador de con alto flujo de aire transversal muestra una mayor rapidez de secado.

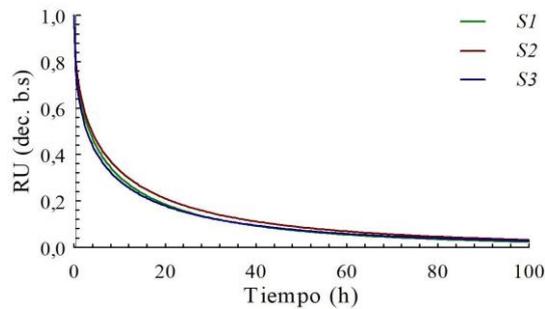


FIGURA 2. Comparación de curva de secado para granos de cacao fermentados durante 3 días, en 3 diferentes secadores. S1: tipo túnel, S2: transversal a bajo flujo y S3: transversal a alto flujo.

Los resultados obtenidos demostraron que el flujo de aire afecta la rapidez de secado. Resultados similares fueron reportados por Herman et al. (2018) quienes encontraron diferencias en las curvas de secado a diferente velocidad del aire. Los ajustes obtenidos fueron similares a los reportados por Vargas (2019).

CONCLUSÕES: Los secadores con diferentes flujos de aire se pueden representar con el modelo de Page. El flujo de aire tiene efecto sobre la rapidez de secado, siendo el secador con alto flujo transversal el más rápido para el secado de granos de cacao recién fermentados.

AGRADECIMENTOS: La empresa colaboradora Colibrí Organic Chocolates y a Cristian Silva productor de la subvariedad talamanqueña upaleña.

REFERÊNCIAS: DELGADO-OSPINA, Johannes e colab. Effect of fermentation, drying and roasting on biogenic amines and other biocompounds in Colombian criollo cocoa beans and shells. *Foods*, v. 9, n. 4, 2020.

DIAMANTE, L.M. e MUNRO, P.A. Mathematical modelling of the thin layer solar drying of sweet potato slices. *Solar Energy*, v. 51, n. 4, p. 271–276, Out 1993. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0038092X93901225>>.

HERMAN, Christelle et al. Convective drying of fermented Amazonian cocoa beans (*Theobroma cacao* var. Forasteiro). Experiments and mathematical modeling. *Food and Bioproducts Processing*, v. 108, p. 81–94, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2018.01.002>>.

LALIT R. VERMA et al. Effects of Drying Air Parameters on Rice Drying Models. *Transactions of the ASAE*, v. 28, n. 1, p. 296–301, 1985. Disponível em: <<http://elibrary.asabe.org/abstract.asp??JID=3&AID=32245&CID=t1985&v=28&i=1&T=1>>.

MIDILLI, A. e KUCUK, H. e YAPAR, Z. A new model for single-layer drying. *Drying Technology*, v. 20, n. 7, p. 1503–1513, 23 Jul 2002. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1081/DRT-120005864>>.

Norma ISO 2451:2017 **Cocoa beans-Determination of moisture content (Routine method)**. 2017.

NURHAYATI, Nurhayati e APRIYANTO, Mulono. Sensory evaluation of chocolate bar production materials of dry cocoa seeds in various fermentation treatments. *Czech Journal of Food Sciences*, v. 39, n. No. 1, p. 58–62, 26 Feb 2021. Disponível em: <https://www.agriculturejournals.cz/web/cjfs.htm?type=article&id=272_2020-CJFS>.

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

WAHYUNI, N. L. e colab. Formation and development of flavour of cocoa (*Theobroma cacao* L.) cultivar Criollo and Forastero: A review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, v. 733, n. 1, p. 1–8, 2021.