

**“DETERMINACIÓN INDIRECTA DE HUMEDAD A PARTIR DE LA ACTIVIDAD DE AGUA DURANTE EL PROCESO DE SECADO EN GRANOS DE CACAO (*Theobroma cacao* L.)”**

**BRYAN BADILLA-MENA<sup>1</sup>, GUILLERMO VARGAS-ELÍAS<sup>2</sup>, LEA WEXLER-GOERING<sup>3</sup>, ELBA CUBERO-CASTILLO<sup>4</sup>, VERÓNICA MORALES-GARCÍA<sup>5</sup>, PRISCILLA ALVARADO-MARENCO<sup>6</sup>**

<sup>1</sup> Bach., Estudiante de Agronomía, U.C.R., [bryan.badillamena@ucr.ac.cr](mailto:bryan.badillamena@ucr.ac.cr),

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

<sup>3</sup> M. Sc., Ciencia de los Alimentos. Profesora. Escuela de Tecnología de Alimentos - U.C.R.,

<sup>4</sup> Ph. D., Ciencia y Tecnología de Alimentos. Profesora. Escuela de Tecnología de Alimentos - U.C.R.,

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

<sup>6</sup> Estudiante Maestría, Escuela de Tecnología de Alimentos - U.C.R.,

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

**RESUMO:** El almacenamiento seguro de cacao se realiza cuando los granos alcanzan una humedad entre 7 y 7,5 %, esto para mantener su calidad y evitar su deterioro. La humedad se determina rutinariamente en un horno durante 24 horas. Esto hace necesario la búsqueda de alternativas rápidas para estimar la humedad de los granos y determinar el momento óptimo para detener el proceso de secado. El objetivo fue comparar la medición de humedad obtenida del horno con la estimada indirectamente a partir de la actividad de agua. Para esto, se desarrolló una curva de equilibrio de humedad a 25 °C y se ajustó un modelo que permitió estimar la humedad del grano durante el proceso de secado. Los granos de cacao se secaron a 40 °C, se midió la humedad del grano en el horno y se comparó con la estimación obtenida por medio del modelo. El modelo de Peleg presentó el mejor ajuste para el equilibrio higroscópico de los granos de cacao con coeficiente de determinación ajustado de 0,9961, este modelo permitió estimar el contenido de humedad de los granos de cacao durante el proceso de secado, mediante la medición de la actividad de agua. El método indirecto de medición de humedad fue rápido y similar al horno de convección forzada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Equilibrio higroscópico, método indirecto, estimación de humedad.

**INDIRECT MEASUREMENT OF WATER CONTENT WITH WATER ACTIVITY IN DRYING PROCESS OF COCOA BEANS (*Theobroma cacao* L.)**

**ABSTRACT:** Safe cocoa storage should be done when the beans reach a moisture content between 7 and 7.5%. This helps maintain their quality and prevent deterioration. Moisture estimation is routinely carried out using an oven, but this process takes 24 hours, making it necessary to search for quick alternatives to estimate the moisture content of the beans and determine the optimal time to stop the drying process. The objective was to compare the moisture measurement obtained from the oven with the indirectly estimated moisture based on water activity. For this purpose, a moisture equilibrium curve was developed at 25°C, and a model was fitted to estimate the grain moisture during the drying process. The cocoa beans

were dried at 40°C, and a grain moisture measurement was taken in the oven and compared to the estimation obtained through the model. The Peleg model showed the best fit for the hygroscopic equilibrium of cocoa beans, with an adjusted coefficient of determination of 0.9961. This model allowed for the estimation of the moisture content of the cocoa beans during the drying process through water activity measurement. The indirect method of moisture measurement was fast and significantly similar to the forced convection oven.

**KEYWORDS:** Hygroscopic equilibrium, indirect method, moisture estimation

**INTRODUÇÃO:** El manejo poscosecha de los granos de cacao es un factor importante para mantener su calidad (WAHYUNI et al., 2021). En este sentido, el secado es un proceso relevante porque detiene la fermentación y reduce la humedad del grano, previene su deterioro y permite su almacenamiento seguro. Para mantener los componentes esenciales y las características sensoriales de aroma y sabor en los granos de cacao, es crucial disminuir la humedad entre el 7 y 7,5% (VARGAS, 2019; DELGADO-OSPINA et al., 2020; WAHYUNI et al., 2021). Por lo tanto, es esencial determinar el momento exacto en que los granos alcanzan estos valores de humedad para evitar la pérdida de su calidad y el desperdicio de energía por exceso de secado. El objetivo del presente estudio fue comparar el contenido de humedad estimado mediante un modelo de equilibrio higroscópico con el obtenido en horno de convección forzada para el control del secado de los granos de cacao.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Se utilizó la subvariedad de cacao Upaleña 1, cultivada en el norte de Costa Rica, la cual es transformada en productos de chocolatería por la empresa Colibrí Organic Chocolates. El contenido de humedad se determinó en cinco repeticiones, con muestras de 5 g de cacao molido, las cuales se colocaron en un horno de convección forzada a 105 °C durante 24 h de acuerdo con la norma ISO 2451:2017. La fermentación se realizó 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). El cacao se secó a 40 °C en un secador de flujo transversal, extrayendo muestras durante todo el proceso para obtener diferentes contenidos de humedad y actividad de agua. En cada muestreo se realizaron 5 mediciones de humedad y actividad de agua. A partir de estos datos se probaron modelos de equilibrio de humedad disponibles en literatura y se seleccionó el modelo con mayor coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y  $R^2$  ajustado, menor error estándar de estimación (SEE) y con distribución aleatoria de los residuos. Los coeficientes fueron determinados en el programa Sigmaplot 15.

Se repitió el mismo procedimiento de fermentación y secado para comparar los valores de humedad del horno con valores estimados con la ecuación 1 del modelo que presentó el mejor ajuste. Para esto se extrajeron muestras en varios puntos y se determinó su humedad en el horno con cinco repeticiones, se midió la  $A_w$  en medidor AQUALAB 4TE y se estimó la humedad mediante la ecuación de ajuste. Se compararon los resultados mediante una Análisis de Varianza (ADEVA) para determinar si existían diferencias significativas entre los valores medidos y los estimados.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** La Tabla 1 presenta los parámetros estadísticos de ajuste para los 5 mejores modelos que representan las curvas de equilibrio higroscópico en los granos de cacao. El modelo de Peleg resultó ser el mejor de ellos, con el mayor  $R^2$  y  $R^2$  ajustado, menor SEE y una distribución aleatoria de los residuos.

TABELA 1. Parámetros estadísticos en el ajuste de la curva de equilibrio de humedad en los granos de cacao a 25 °C.

Modelo	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajustado	SEE	Distribución aleatoria de residuos
Peleg	0,9962	0,9961	0,8783	Sí
Vargas 2019	0,9896	0,9894	1,4385	Sí
White y Eyring	0,9948	0,9948	1,0099	Sí
GAB modificado	0,9948	0,9947	1,0144	Sí
Yanniotis y Blahovec	0,9953	0,9951	0,9768	Sí

SEE: error estándar de estimación.

La tabla 2 muestra los coeficientes de ajuste para el modelo de Peleg, cuya expresión queda como la ecuación 1.

$$CH=(15,5985*A_w)^{1,1447}+(40,9614*A_w)^{13,6213} \quad (1)$$

Donde:

CH=Contenido de humedad en base húmeda (%)

A<sub>w</sub>= Actividad de agua (decimal)

TABELA 2. Coeficientes de ajuste para el modelo de Peleg en equilibrio higroscópico de granos de cacao.

Constantes	Valor	SEE
b0	15,5985	0,7174
b1	1,1447	0,0886
b2	40,9614	0,7438
b3	13,6213	0,4361

SEE: error estándar de estimación.

La figura 1 muestra la representación gráfica del modelo.

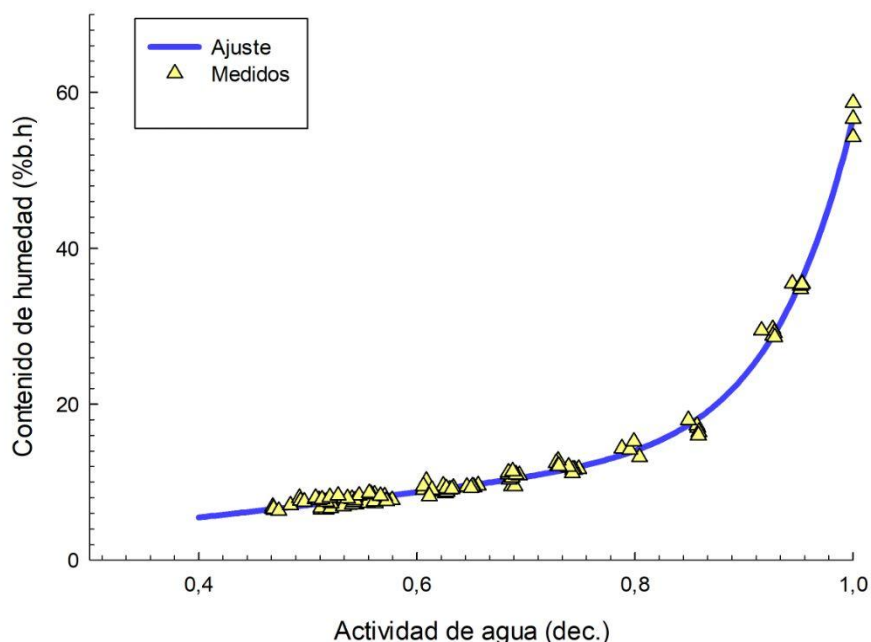


FIGURA 1. Curva de equilibrio higroscópico a 25°C, para el modelo de Peleg en granos de cacao fermentado durante 3 días.

La estimación del contenido de humedad usando la curva de equilibrio ajustada con el modelo de Peleg permitió obtener resultados significativamente similares (según ADEVA) a los del

horno de convección forzada. Esto permite desarrollar una curva de secado a partir de la medición de la actividad de agua en granos de cacao durante el proceso de secado (TABLA 3) y estimar rápidamente (2-3 minutos por muestra) el contenido de humedad de los granos, para decidir el momento en que alcanza un contenido seguro para su almacenamiento. Tejada et al. (2020) llegaron a conclusiones similares con diferentes materiales.

TABLA 3. Comparación entre el contenido de humedad medido directamente y el estimado.

Tiempo (h)	Contenido de humedad con horno (% base húmeda)	Contenido de humedad con modelo de Peleg (% base húmeda)
0	56,497 <sup>NS</sup>	56,502 <sup>NS</sup>
3,7	35,267 <sup>NS</sup>	35,379 <sup>NS</sup>
5,7	29,123 <sup>NS</sup>	28,449 <sup>NS</sup>
25,2	16,925 <sup>NS</sup>	17,990 <sup>NS</sup>
31,9	14,226 <sup>NS</sup>	13,886 <sup>NS</sup>
46,3	11,595 <sup>NS</sup>	11,841 <sup>NS</sup>
54,5	9,159 <sup>NS</sup>	9,277 <sup>NS</sup>
69,5	7,672 <sup>NS</sup>	7,455 <sup>NS</sup>
78,0	7,682 <sup>NS</sup>	7,079 <sup>NS</sup>

<sup>NS</sup>: no significativo (P<0,05).

**CONCLUSÕES:** La curva de equilibrio de humedad con el modelo de Peleg permitió estimar de forma indirecta la humedad de los granos de cacao durante el proceso de secado, mediante medición de la actividad de agua a 25°C.

La actividad de agua permite determinar el contenido de humedad de los granos de cacao durante el proceso de secado, siendo esta metodología rápida y con resultados significativamente similares a los obtenidos en un horno de convección forzada.

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

**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.

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](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.

TEJADA-ORTIGOZA, Viridiana e colab. **Estimating equilibrium moisture content from relatively short sorption experiments**. *Lwt*, v. 132, n. July, p. 0–6, 2020.