"APROXIMACIÓN DE LA HUMEDAD EN GRANOS DE CACAO POR MEDIO DE SU ACTIVIDAD DE AGUA"

GUILLERMO A. VARGAS-ELÍAS[1], VERÓNICA MORALES-GARCÍA[2], BRYAN BADILLA-MENA[3], DAVID R. VARGAS-GÓMEZ[4], PRISCILLA ALVARADO-MARENCO[5], ELBA CUBERO-CASTILLO[6]

[1] D. Sc., Ing. Agrícola. Profesor. CIGRAS - Universidad de Costa Rica,
[2] Estudiante de Ingeniería Agrícola y de Biosistemas. Universidad de Costa Rica, veronica.morales@ucr.ac.cr
[3] Estudiante de Agronomía, Universidad de Costa Rica,
[4] Estudiante de Dirección Empresas, Universidad de Costa Rica,
[5] Estudiante de Maestría en Ciencia de Alimentos. Universidad de Costa Rica,
[6] Ph. D., Ciencia y Tecnología de 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

RESUMEN: Los granos de cacao son considerados de interés económico y social en Costa Rica, para su almacenamiento y conservación de la calidad se debe medir el contenido de humedad para finalizar el secado. El objetivo de este trabajo fue establecer una relación entre el contenido de humedad del cacao y su actividad de agua para la determinación indirecta de la humedad. Los granos fueron fermentados por 3 días y secados en dos etapas, inicialmente con aire caliente a 40 °C y finalmente a baja temperatura en disolución saturada con $CaCl_2$. Se utilizó un molino comercial de aspas para la molienda del cacao y se usó un medidor de actividad de agua. El contenido de humedad se determinó en el horno de convección forzada a 105 °C, 24 h. El contenido de humedad fue desde 10 hasta 5 % y el coeficiente de variación máxima fue 6 %. El medidor de actividad de agua resultó en un equipo preciso con coeficiente de variación menor a 0,6 %, además de rápido tiene la ventaja de usar poca masa. La relación entre la actividad de agua y la humedad del cacao se ajustó al modelo propuesto con un coeficiente de determinación de 0,9948. La determinación de humedad en los granos de cacao se puede calcular indirectamente a partir de su actividad de agua.
PALAVRAS-CHAVE: Isoterma, *Theobroma cacao*, Actividad de agua.

INDIRECT MOISTURE CONTENT DETERMINATION BASED IN EQUILIBRIUM IN COCOA BEANS

ABSTRACT: The cocoa beans are considered of economic and social interest in Costa Rica, the grains storage and quality conservation require a low moisture content, then precisely measured to finish drying. The objective of this work was to establish an indirect method for the determination of cocoa moisture through its water activity. The grains were fermented for 3 days and dried in two stages, initially with hot air at 40 °C and finally at low temperature in a solution saturated with $CaCl_2$. A commercial blade mill was used to grind cocoa beans and a water activity meter was used. Moisture content was determined in an air forced convection oven at 105 °C, 24 h. The moisture content was from 10 to 5% and the maximum variation coefficient was 6%. The water activity meter resulted in a precise equipment with a

coefficient of variation less than 0.6%. It has two advantages, little mass and very fast determination. The relationship between water activity and cocoa moisture was adjusted to the proposed model with a coefficient of determination of 0.9948. Moisture determination in cocoa beans can be calculated indirectly from their water activity.

KEYWORDS: Isotherm, *Theobroma cacao*, Water activity.

INTRODUÇÃO: El cultivo de cacao fue declarado de interés nacional en 2018, su importancia radica en que influye desde la economía del país hasta un impacto social en los productores, así como en la alta calidad sensorial de sus variedades. La fermentación produce un sabor agradable y para preservarlo es necesario disminuir su alta humedad hasta niveles bajos desde 7 a 7,5 % b.h (DELGADO-OSPINA et al., 2020).
La actividad del agua está directamente relacionada con el contenido de humedad de los granos, la relación se describe como una isoterma en desorción (SINGH y TALUKDAR, 2020). La curva de equilibrio relaciona ambas humedades en una curva empírica y propia para cada producto agrícola.
Los medidores de actividad de agua tienen alta precisión debido a que se basan en latemperatura de punto de rocío y permiten obtener resultados rápidos y precisos.
El secado disminuye la humedad desde 55 hasta 7 % b.h. (VARGAS, 2019), por lo que, para detener el proceso es necesario conocer la humedad final; sin embargo, el método directo demora 24 h, lo que no es efectivo cuando se debe tomar la decisión de parar el proceso en el momento preciso. Por esta razón, la medición de humedad a partir de la actividad de agua puede ser una herramienta útil para la toma de decisión *in situ* e inmediata. El objetivo deeste trabajo fue ajustar una curva de equilibrio entre el contenido de humedad de los granos secos y su actividad de agua.

MATERIAL E MÉTODOS: Los granos fueron obtenidos de Upala, al norte de Costa Rica. La variedad utilizada fue un híbrido del cacao trinitario autóctono proveniente de Upala. Inicialmente los granos fueron secados con aire forzado a 40 °C en una secadora de flujo transversal y posteriormente fueron colocados en un desecador a temperatura ambiente con una disolución saturada de $CaCl_2$ con humedad relativa 35 % y el movimiento del aire en el interior se realizó con un ventilador axial de 5V según la Figura 1.

A) B) C)

FIGURA 1. Fruto de cacao (A) con secado de granos en desecador (B) y medidor de A_w (C)

La molienda de los granos se realizó en un molino pequeño comercial para granos de café 110V y 125W marca Hamilton Beach. La muestra molida y triplicada se colocó en recipiente de 7,5 mL dentro del medidor de actividad de agua (A_w) marca AQUALAB modelo 4TE.

Fueron colocadas submuestras molidas de 5,000 g en recipientes metálicos en 5 repeticiones dentro de un horno de convección forzada a 105 °C por 24 h (MAPA, 2009).
La ecuación 1 corresponde al modelo matemático de equilibrio higroscópico propuesto.

$$CH_e = \exp((\ln(\ln(1/(1-A_w)))+b)/a) \quad (1)$$

en que,

A_w - Actividad de agua (decimal)

CH_e - Contenido de humedad (% b.h.)

Los coeficientes de las ecuaciones fueron determinados por regresión no lineal en el programa SigmaPlot 14. La selección del modelo se basó en el alto valor del coeficiente de determinación (R^2) y el menor error estándar de estimación (VARGAS, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: El rango de humedad en los granos determinado en la estufa fue de 10,6 a 5,0 % b.h. La máxima desviación estándar entre las 5 repeticiones fue 0,5 % y el coeficiente de variación fue menor a 6,2 % b.h. La Figura 2 muestra el modelo de predicción para la relación entre las humedades de equilibrio del producto y del aire.

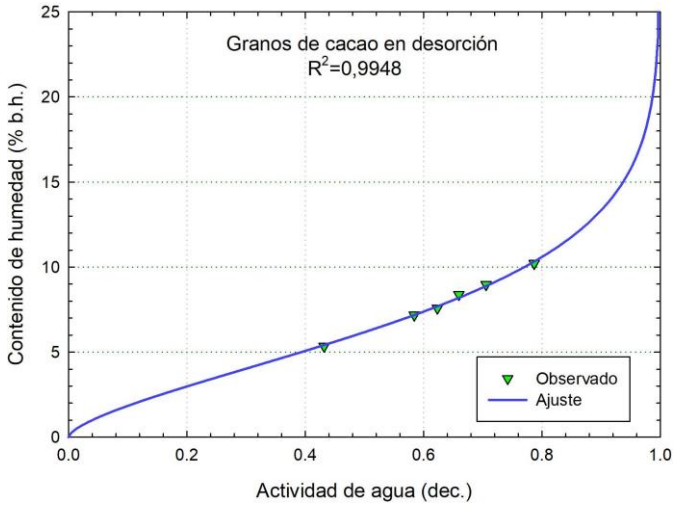

FIGURA 2. Relación de equilibrio entre la humedad del grano y la actividad de agua.

La relación entre la actividad de agua y la humedad del cacao se ajustó al modelo propuesto con un coeficiente de determinación de 0,9948 y con un error estándar de estimación de 0,1338. Las constantes *a* y *b* de la ecuación se determinaron en 1,5585 y 3,2029.

El ajuste permite la extrapolación en la actividad de agua menor a 0,4 y superior a 0,8. El contenido de humedad máximo calculado corresponde al 25 % b.h. similar a lo reportado por Vargas (2019) para los granos de cacao fermentados de la misma zona productora.

La medición de la actividad del agua requirió poca masa (2 g), su lectura fue rápida (2 min), presentó bajo coeficiente de variación entre las lecturas (menor que 0,6 %) y la máxima desviación estándar fue 0,0040, es decir; tuvo un alto nivel de precisión.

CONCLUSÕES: Se ajustó adecuadamente una curva de equilibrio entre el contenido de humedad de los granos secos y su actividad de agua. La medición de la actividad del agua requiere de poca masa, es de lectura rápida y además es precisa, lo que la hace una herramienta útil para la medición indirecta de la humedad del cacao.

AGRADECIMENTOS: Empresa Colibrí Organic Chocolates y al productor de cacao Mario Marín de la subvariedad upaleña.

REFERÊNCIAS:

DELGADO-OSPINA, Johannes et al. 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.

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>.
MAPA. **Regras para análise de sementes**: Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília: MAPA/ACS. 2009.
OLIVEIRA GHH, CORRÊA PC, SANTOS E DE S, TRETO PC, DINIZ MDMS. Evaluation of thermodynamic properties using GAB model to describe the desorption process of cocoa beans. **International Journal Food Science Technoly.** 2011;46(10):2077-84. https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2621.2011.02719.x .
SINGH, Punit e TALUKDAR, Prabal. Determination of Desorption Isotherms of Potato Using Gravimetric Method and Fast Isotherm Method. **Heat Transfer Engineering**, v. 41, n. 6–7, p. 513–521, 2020.

RESUMO: Os grãos de cacau são considerados de interesse econômico e social na Costa Rica, a causa de seu armazenamento e conservação da qualidade, deve medir-se o teor de umidade com precisão na finalização da secagem. O objetivo deste trabalho foi estabelecerum método indireto para a determinação da umidade do cacau através de sua atividade de água. Os grãos foram fermentados por 3 dias e secos em duas etapas, inicialmente com ar quente a 40°C e finalmente a baixa temperatura em solução saturada de $CaCl_2$. Para amoagem dos grãos foi usado um moinho de aspas comercial e para a medição da atividade de água um medidor de ponto de orvalho. O teor de umidade foi determinado na estufa a 105 °C,24 h. O teor de umidade foi de 10 a 5% e o coeficiente de variação máxima foi de 6%. O medidor de atividade de água resultou em um equipamento preciso com coeficiente devariação inferior a 0,6%, além de rápido tem a vantagem de utilizar pouca massa. A relação entre atividade de água e umidade do cacau foi ajustada ao modelo proposto com coeficiente de determinação de 0,9948. A determinação da umidade em grãos de cacau pode ser calculadaindiretamente a partir de sua atividade de água.

PALAVRAS-CHAVE: Isoterma, *Theobroma cacao*, Actividade de água.

HENDERSON $$CHE = \left[\frac{\ln(1 - HRE)}{-a*(T+c)}\right]^{\frac{1}{b}}. \quad (2)$$

HALSEY $$CHE = \left(\frac{-1}{b}\right)*\ln\left[\frac{-(T+c)}{a}*\ln(HRE)\right] \quad (3)$$

GAB $$CHE = \frac{M_n*Y*K*HRE*100}{[(100-K*HRE)*(100-K*HRE+Y*K*HRE)]} \quad (4)$$

Tamaño N°	a (T_1) **(°C)**	b (T´) (°C /min)	c (T_2) (°C)	k (min^{-1})	R^2 dec.	SEE **(°C)**
1	1,5585	3,2029	-	-	0,9948	0,1338
2	159,0118	6,7430	120,4920	0,7667	0,9962	1,1542
3	159,0118	6,7430	120,4920	0,7667	0,9962	1,1542
4	159,0118	6,7430	120,4920	0,7667	0,9962	1,1542
5	156,2833	7,2145	127.0284	0,7317	0,9920	1,7653

SEE: error estándar de estimación