

CURVA DE EQUILIBRIO ENTRE LA ACTIVIDAD DE AGUA Y EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA PIMIENTA BLANCA (*PIPER NIGRUM L*)

KRISTAL CORDERO-ZÚÑIGA¹, GUILLERMO VARGAS-ELÍAS², JAFET ALVARADO-FALLAS³, BEATRIZ MAZÓN-VILLEGAS⁴

¹ Estudiante de Ingeniería Agrícola y de Biosistemas, Universidad de Costa Rica (UCR), kristal.cordero@ucr.ac.cr

² D. Sc., Ing. Agrícola, Profesor. Centro de Investigación en Granos y Semillas, guillermo.vargaselias@ucr.ac.cr

³ Estudiante de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Estatal a Distancia, jafet.alvarado@uned.cr

⁴ Ph.D., Ingeniería de Biosistemas, Profesora. Escuela de Ingeniería de Biosistemas, UCR, beatriz.mazon@ucr.ac.cr

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

RESUMEN: Para mantener la calidad y asegurar mayores tiempos de almacenaje, la pimienta debe tener un contenido de humedad de 11 a 15 % b.h. Artesanalmente, el secado de la pimienta se realiza al sol, en consecuencia, la homogeneidad y los tiempos de secado dependen del clima. Por esto, el secado por flujo o aire forzado se ha vuelto una alternativa. El objetivo se basó en el desarrollo de una curva de equilibrio de pimienta mediante dos tipos de secado para proporcionar una herramienta precisa a productores. Se recolectaron 25 g de pimienta en cada muestra durante ambos métodos de secado. El contenido de humedad partió de 26,33 %bh hasta alcanzar 11,41 %bh en secado por radiación solar. Para aire forzado inició en 39,33 %bh hasta llegar a 11,82 %bh. La humedad del aire se determinó con un medidor de actividad de agua (A_w) y el contenido de humedad transcurridas 24 horas en un horno de convección forzada (105 °C). Los datos se ajustaron con tres modelos matemáticos: Smith, Oswin y Chung-Pfost. Las ecuaciones de Chung-Pfost ($R^2 = 0,9997$) y Oswin ($R^2 = 0,9992$) dieron el mejor ajuste para radiación solar y aire forzado, respectivamente. La relación de equilibrio es independiente del método de secado para la actividad de agua entre 0,40 y 0,85.

PALABRAS CLAVE: ajuste, equilibrio higroscópico, modelos matemáticos.

EQUILIBRIUM CURVE BETWEEN WATER ACTIVITY AND MOISTURE CONTENT OF WHITE PEPPER (*PIPER NIGRUM L*)

ABSTRACT: To maintain quality and ensure longer storage times, pepper should have a moisture content of 11 to 15% db. Traditionally, pepper drying is done in the sun; consequently, the uniformity and drying times depend on the weather. For this reason, forced air drying has become an alternative. The objective was to develop a pepper equilibrium curve using two drying methods to provide a precise tool for producers. 25 g of pepper were collected in each sample during both drying methods. The moisture content started at 26,33% db and reached 11,41% db with solar radiation drying. For forced air drying, it started at 39,33% db and reached 11,82% db. Air moisture was determined using a water activity meter (A_w), and moisture content after 24 hours in a forced convection oven (105°C). The data were fitted with three mathematical models: Smith, Oswin, and Chung-Pfost. The Chung-Pfost ($R^2 = 0,9997$) and Oswin ($R = 0,9992$) equations provided the best fit for solar radiation and forced air, respectively. The equilibrium relationship is independent of the drying method for water activity between 0,40 and 0,85.

KEYWORDS: fitting, hygroscopic equilibrium, mathematical models.

INTRODUCCIÓN: La pimienta (*Piper nigrum L.*) es una planta trepadora perteneciente al género Piper, es originaria de la India y una vez procesada, es la especia más consumida a nivel mundial (ARAÚJO et al., 2023). La planta necesita un soporte por lo que se utilizan árboles de poró (*Erythrina poeppogiana*) ya que, no generan competencia con el cultivo. En la Finca Agrícola el Rocío ubicada en la región del Pacífico Central de Costa Rica se cuenta con un área de 0,2 hectáreas para cosecha de pimienta y se procesa de forma artesanal. Cuando el grano verde está sazón se cosecha, posteriormente, el proceso de fermentación da inicio, este se realiza por medio de un recipiente cerrado y hermético durante 14 días. Una vez transcurrido este tiempo, la separación entre la vaina y el grano se realiza manualmente mediante un lavado, que permite desprender el pericarpio de la semilla (VALERIO, 2019). El secado de la pimienta ya sea por radiación solar o aire forzado es una operación unitaria clave del proceso poscosecha, estos permiten un correcto almacenamiento del grano durante periodos prolongados sin disminuir la calidad (DO REGO, et al. 2020). Los pequeños productores generalmente utilizan el método de secado al sol, el cual puede tardar de 2 a 3 días para alcanzar contenidos de humedad de 15 % b.h. (HARTULISTIYO et al., 2019). Una curva de equilibrio entre la actividad de agua y el contenido de humedad es de suma importancia para la conservación, el almacenamiento del grano y la planificación del proceso de secado (DO REGO, et al. 2020). El objetivo de este estudio fue ajustar un modelo de equilibrio entre el contenido de humedad y la actividad de agua en muestras de granos de pimienta obtenidas del secado con aire forzado y por radiación solar.

MATERIALES Y MÉTODOS: Los granos de pimienta fueron donados por el productor Jacob Alvarado Baldelomar de la Finca Agrícola el Rocío, ubicada en Naranjito, Quepos, Costa Rica. Se realizaron dos tipos de secado: el de radiación solar y el intermitente de aire forzado. En la finca de estudio se hizo un ensayo colocando los granos hasta formar una capa delgada sobre una malla fina en contacto con el suelo para recibir la energía directa del sol durante las primeras 4 horas. Luego, el producto se pasó a una mesa elevada ubicada en un invernadero abierto para continuar con un secado por radiación solar indirecta. El secado intermitente de flujo forzado se desarrolló en el Laboratorio de Procesamiento Agrícola del Centro de Investigación en Granos y Semillas (CIGRAS) por medio de una secadora de flujo transversal a una velocidad constante de 3,9 m/s y una temperatura de 40 °C. Durante ambos procesos de secado, se extrajeron 25 g en cada muestra para la obtención de la actividad de agua y el contenido de humedad. La actividad de agua se determinó con un medidor A_w (AQUALAB 4TE, Estados Unidos). En total se colocaron 5 repeticiones de aproximadamente 5 g en cada muestra, posteriormente se colocaron en un horno de convección forzada a 105 °C durante 24 horas. La ecuación 1 permite obtener el contenido de humedad (CH_{bs}). Se realizó un análisis con tres modelos matemáticos de equilibrio higroscópico en granos (COLLAZOS et al., 2020). Los modelos Chung-Pfost (ecuación 2), Oswin (ecuación 3) y Smith (ecuación 4) se ajustaron con el programa SigmaPlot 15.0. Se seleccionó el que presentó un mejor ajuste tomando como criterios de selección el mayor R^2 , R^2 ajustado y el menor error estándar de estimación (ESS).

Contenido de humedad en base seca:

$$CH_{bs} = \frac{m_i - m_f}{m_f} * 100 \quad (1)$$

en que,

m_i masa inicial de la pimienta (g).

m_f - masa final de la pimienta deshidratada (g).

Modelo de CHUNG-PFOST

$$H = b_1 + b_2 * \ln(-\ln(a_w)) \quad (2)$$

Modelo de OSWIN

$$H = b_1 * \left(\frac{a_w}{1-a_w}\right)^{b_2} \quad (3)$$

Modelo de SMITH

$$H = b_1 + b_2 * \ln(1-a_w) \quad (4)$$

en que,

A_w - Actividad de agua (decimal).

b_1 y b_2 - Parámetros estadísticos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

Los coeficientes calculados y parámetros estadísticos obtenidos de los tres modelos se observan en la tabla 1. El modelo de Oswin ajustó adecuadamente la relación de equilibrio para las muestras obtenidas en el secado de aire forzado y el de Chung-Pfost para el proceso de radiación solar. Los coeficientes de determinación ajustados fueron del orden de 0,999 y obtuvieron el menor error estándar de estimación (SEE).

TABLA 1. Coeficientes y parámetros estadísticos obtenidos de los modelos matemáticos utilizados en los ajustes de la curva de equilibrio de pimienta blanca para dos procesos de secado.

Tipo de Secado	Modelo	b_1	b_2	R^2	R^2 adj	SEE
Radiación Solar	SMITH	10,3509	-5,6130	0,9975	0,9968	0,4597
Radiación Solar	OSWIN	14,8635	0,1967	0,9901	0,9876	0,9106
Radiación Solar	CHUNG PFOST	12,0053	-5,1701	0,9997	0,9996	0,1564
Aire forzado	SMITH	5,4115	-10,3579	0,9892	0,9870	2,0655
Aire forzado	OSWIN	14,0831	0,2715	0,9992	0,9991	0,5569
Aire forzado	CHUNG PFOST	8,2270	-9,7504	0,9806	0,9767	2,7640

SEE: error estándar de estimación.

Se observa en la figura 1 que los modelos de equilibrio ajustaron adecuadamente la relación entre el contenido de humedad en los granos y su actividad de agua, en ambos tipos de secado.

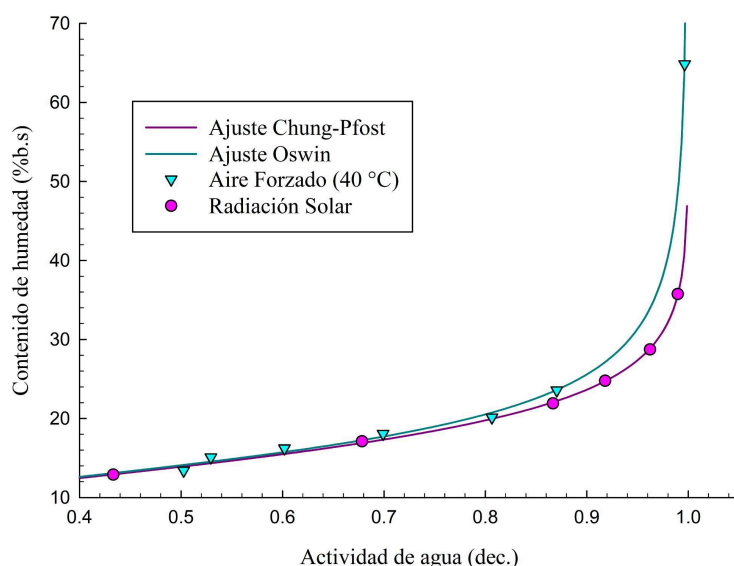


FIGURA 1. Curva de equilibrio higroscópico para los granos de pimienta blanca a 25 °C. La segmentación de la curva de equilibrio indica que la actividad de agua mayor que 0,90 genera cambios significativos en el contenido de humedad y por lo tanto, el agua puede removerse fácilmente de la superficie de los granos por cualquier método de secado. Se observa que tanto las muestras secadas por medio de aire forzado como por radiación solar presentaron la misma tendencia para una actividad de agua menor a 0,85. Es decir; en el ámbito de 0,40 a 0,85 la relación de equilibrio fue independiente del método de secado. La aplicación de la curva de equilibrio en el almacenamiento indica que la actividad de agua es menor que 0,65 y el contenido de humedad máximo es 17 % b.s. (14,6 % b.h.); con el cumplimiento de esta condición se evita el desarrollo de microorganismos en los granos de pimienta blanca (VALERIO, 2019).

CONCLUSIONES: El modelo que mejor ajustó la curva de equilibrio higroscópico fue el Oswin para el secado por aire forzado y el de Chung-Pfost para el de radiación solar.

AGRADECIMIENTOS: A la Finca Agrícola el Rocío por la donación de la pimienta para este estudio.

REFERENCIAS:

- ARAÚJO, M. et al. **Eficiência de Secagem da Pimenta-Do-Reino (*Piper Nigrum L.*) em Dois Modelos de Terreiro Suspenso na Região Amazônica.** Revista Científica Faema. Ariquemes, v. 14, n. 2, p. 170-183, 2023.
- COLLAZOS-ESCOBAR, G; GUTIÉRREZ-GUZMÁN, N; VÁQUIRO-HERRERA, H; AMOROCHO-CRUZ, C. **Moisture dynamic sorption isotherms and thermodynamic properties of parchment specialty coffee (*Coffea arabica L.*)**. Coffee Science. 2020.
- DO REGO, J; BRASIL, D; QUEIROZ, R; FURTADO, S; SANTANA, E; DA COSTA, R; PEREIRA, G. **Análise isotérmica da atividade de água (aw) de sementes de pimenta-do-reino (*Piper nigrum, L.*) em câmara de secagem.** Universidade Federal do Pará, Belém Pará. 2020.
- HARTULISTIYO, E; PURWANTO, YA; MUJHLIS, AMA. **Spouted Bed Drying of White Pepper (*Piper nigrum L.*) with Microwave Preheating Treatment.** Materials Science and Engineering. 2019.
- VALERIO, A. **Evaluación de las condiciones de elaboración de la pimienta negra y blanca en una empresa productora de pimienta para la mejora de sus procesos.** [Tesis] Universidad de Costa Rica, San José. 2019.