

## CINÉTICA DE SECADO DE LOS GRANOS DE PIMIENTA BLANCA (*PIPER NIGRUM L.*) PARA PRESENTACIÓN MOLIDA Y ENTERA

KRISTAL CORDERO-ZÚÑIGA<sup>1</sup>, GUILLERMO VARGAS-ELÍAS<sup>2</sup>, JAFET ALVARADO-FALLAS<sup>3</sup>, BRYAN BADILLA-MENA<sup>4</sup>, OSCAR DURÁN-GAMBOA<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Estudiante de Ingeniería Agrícola y de Biosistemas, Universidad de Costa Rica (UCR), [kristal.cordero@ucr.ac.cr](mailto:kristal.cordero@ucr.ac.cr)

<sup>2</sup> D. Sc., Ing. Agrícola, Profesor. Centro de Investigación en Granos y Semillas,

<sup>3</sup> Estudiante de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Estatal a Distancia (UNED),

<sup>4</sup> Bach. Ing. Agrónomo, Universidad de Costa Rica (UCR),

<sup>5</sup> Estudiante de Ingeniería Agrícola y de Biosistemas, Universidad de Costa Rica (UCR),

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

**RESUMEN:** La pimienta es una de las principales especias a nivel mundial, su adecuado procesamiento contribuye a mantener su calidad y la vida útil del grano. El secado de la pimienta blanca puede realizarse tanto en condiciones naturales como artificiales para reducir el crecimiento de microorganismos. El objetivo fue determinar la cinética del secado para los granos de pimienta blanca en dos métodos, secado por radiación solar y por aire forzado en secadora para dos presentaciones: molida y entera. Se colocaron 5 recipientes para cada muestra, cada uno con 5 g de producto entero y 2 g de molido, en un horno de convección forzada a 105 °C por 24 horas. El secado por aire forzado presentó el mejor ajuste con el modelo de Henderson y Pabis modificado, con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0,9966 y 0,9968 para molida y entera, respectivamente. Mientras que el secado con radiación solar presentó un mejor ajuste con el modelo de Page, con un  $R^2$  de 0,983 y 0,986 para pimienta molida y entera, respectivamente.

**PALABRAS CLAVE:** aire forzado, proceso de secado, radiación solar.

## DRYING KINETICS OF WHITE PEPPER GRAINS (*PIPER NIGRUM L.*) FOR GROUND AND WHOLE PRESENTATIONS

**ABSTRACT:** Pepper is one of the main spices worldwide, and its proper processing contributes to maintaining its quality and the shelf life of the grain. The drying of white pepper can be carried out under both natural and artificial conditions to reduce microbial growth. The aim was to determine the drying kinetics for white pepper grains using two methods: solar radiation drying and forced air drying in a dryer for two presentations: ground and whole. Five containers were placed for each sample, each with 5 g of whole product and 2 g of ground, in a forced convection oven at 105 °C for 24 hours. The forced air drying showed the best fit with the modified Henderson and Pabis model, with a determination coefficient ( $R^2$ ) of 0,9966 and 0,9968 for ground and whole, respectively. Meanwhile, solar radiation drying presented a better fit with the Page model, with an  $R^2$  of 0,983 and 0,986 for ground and whole pepper, respectively.

**KEYWORDS:** forced air, drying process, solar radiation.

**INTRODUCCIÓN:** La planta de pimienta es una enredadera originaria de la India y es la especia más común a nivel mundial (DO REGO., et al. 2020). Dependiendo del procesamiento que se realice al grano, se puede obtener de ella distintos tipos de pimienta como la negra, blanca, verde y roja. Para la pimienta blanca se desarrollan dos procedimientos: con flujo de agua o en reposo dentro de recipientes herméticos. En el primero se colocan los granos dentro de sacos y se sumergen en tanques con un flujo constante de agua (MEGAT, et al. 2021). En el segundo proceso, se utiliza un recipiente grande, cerrado y oscuro para disminuir el intercambio con el medio, en este se agregan los granos junto con agua limpia generando el desarrollo enzimático de pectinas y celulasas que suavizan la capa externa del grano (cáscara) para que esta se desprenda de forma sencilla por medio de un lavado (VALERIO, 2019). Luego de aplicar alguno de los dos procedimientos anteriores, se somete a la etapa de secado, que puede ser en el campo, colocando los granos en lonas y extendiendo para secar directamente al sol (DO REGO et al., 2020), o bien por medio de secadores industriales como el de bandeja que funciona mediante el régimen intermitente y puede ser de flujo transversal u horizontal. Cada bandeja se monta una encima de otra permitiendo la circulación de aire caliente entre ellas mediante un ventilador (MAUPOEY et al., 2016). Cuando este proceso finaliza deben obtenerse granos de pimienta blanca con una humedad de 14 % según la *American Spice Trade Association* [ASTA] para evitar el crecimiento de microorganismos (VALERIO, 2019).

**MATERIALES Y MÉTODOS:** Los granos lavados de pimienta blanca fueron donados por el productor de la Finca Agrícola el Rocío. Se emplearon dos métodos de secado, el primero se realizó mediante la técnica de bandejas con aire forzado en el Laboratorio de Procesamiento Agrícola del Centro de Investigación en Granos y Semillas (CIGRAS). Los granos fueron depositados en 4 bandejas, que se colocaron verticalmente en un secador de flujo transversal de aire a una velocidad de 3,9 m/s y una temperatura de 40 °C. El segundo experimento se desarrolló bajo el método de radiación solar en la finca de estudio ubicada en el distrito de Naranjito en Quepos. La pimienta se colocó en una malla fina en contacto con el suelo y se extendió hasta formar una capa delgada, posteriormente, se dejó al sol durante 4 horas haciendo movimientos cada hora para obtener un secado uniforme y luego, se pasó el producto a mesas elevadas dentro de un invernadero abierto, recibiendo sol indirecto. Durante ambos tipos de secado se fueron extrayendo muestras de 40 g para obtener el contenido de humedad en pimienta blanca entera y molida. En recipientes se agregaron aproximadamente 5 g de pimienta entera y 2 g de molida, realizando 5 repeticiones para cada presentación. Estos recipientes fueron colocados en un horno de convección forzada a 105 °C durante 24 horas. Una vez obtenidos los datos se calculó la razón de humedad (Ec 1) y mediante el software SigmaPlot 15.0 se ajustaron los modelos matemáticos de Page (Ec 2), Hemderson y Pabis modificado (Ec 3) y la de Hii (Ec 4).

$$Rx = \frac{x_t - x_e}{x_i - x_e} \quad (1)$$

$$Rx = \exp(-k * t^n) \quad (2)$$

$$Rx = a * \exp(-k_1 * t) + b * \exp(-k_2 * t) + c * \exp(-k_3 * t) \quad (3)$$

$$Rx = a * \exp(-k * t^n) + c * \exp(-b * t^n) \quad (4)$$

donde,

$x_i$  - Contenido de humedad inicial (dec. b.s)

$x_e$  - Contenido de humedad en equilibrio (dec. b.s)

$x_t$  - Contenido de humedad durante el secado (dec. b.s)

t - Tiempo (días)

a, b, c, k, n, k<sub>1</sub>, k<sub>2</sub> y k<sub>3</sub> - Coeficientes de las ecuaciones.

Para determinar el mejor ajuste se tomó en consideración el máximo valor del coeficiente de determinación (R<sup>2</sup> y R<sup>2</sup> ajustado) así como el menor error estándar de estimación (ESS).

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN:** El secado se ajustó a un modelo exponencialmente decreciente en ambos métodos. En la tabla 1 se observan los valores de los parámetros estadísticos tras el ajuste de las tres ecuaciones.

TABLA 1. Parámetros estadísticos obtenidos de los modelos matemáticos utilizados en los ajustes de la curva de secado para las presentaciones molida y entera.

Secado	Muestra	Método	a	b	c	k	n	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> adj	SEE
Aire forzado	Molida	Ec 2	-	-	-	2,873	0,326	-	-	-	0,996	0,995	0,024
		Ec 3	0,3950,396	0,208	-	-	14,904	14,904	1,223	0,997	0,979	0,050	
		Ec 4	0,4992,834	0,500	2,834	0,327	-	-	-	0,995	0,986	0,042	
	Entera	Ec 2	-	-	-	2,834	0,327	-	-	-	0,995	0,994	0,026
		Ec 3	0,3790,3920,2296	-	-	-	129,857	1993,204	1,280	0,997	0,981	0,049	
		Ec 4	0,5002,8730,5000	2,873	0,363	-	-	-	-	0,996	0,988	0,039	
Natural	Molida	Ec 2	-	-	-	0,606	1,612	-	-	-	0,983	0,979	0,052
		Ec 3	0,3490,3490,3488	-	-	-	0,747	0,747	0,747	0,943	-	-	
		Ec 4	0,5010,6100,5016	0,610	1,607	-	-	-	-	0,983	0,916	0,103	
	Entera	Ec 2	-	-	-	0,577	1,707	-	-	-	0,986	0,983	0,048
		Ec 3	0,3510,3510,3509	-	-	-	0,736	0,737	0,736	0,936	-	-	
		Ec 4	0,5010,5800,5016	0,580	1,701	-	-	-	-	0,986	0,931	0,095	

SEE: error estándar de estimación.

En la figura 1 (figura 1A) se evidencia que a partir de los 0,7 días el secado por aire forzado sin importar la presentación tiene una tendencia similar, lo que ocurre hasta el segundo día en secado por radiación solar (figura 1B). El contenido de humedad disminuyó significativamente en las primeras 12 horas en ambas figuras, lo mismo ocurre en el secado de pimienta negra por aire forzado a una temperatura de 22° C (DO REGO et al., 2020).

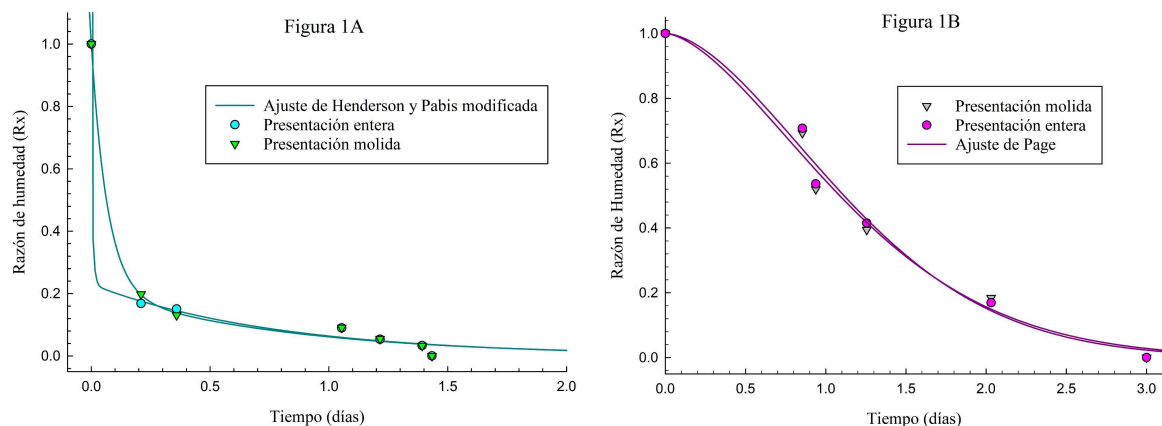


FIGURA 1. Curvas de secado para pimienta blanca molida y entera, en secador con aire forzado (Figura 1A) y secado natural por radiación solar (Figura 1B).

En la figura 2 se evidencia que la duración del secado por aire forzado tardó 1,5 días menos que por radiación solar. Al tercer día ambos tipos de secado tendrían una tendencia similar. Durante el secado la pimienta entera presenta un porcentaje de humedad (b.s) menor que la

molida, en el experimento el secado por radiación solar inició con 35,74 % y 35,39 % hasta llegar a 17,10 % y 14,46 % en molida y entera de forma respectiva. En el caso de aire forzado inicia con 64,85 % y 64,56 % hasta llegar a 13,41 % y 11,48 % en molida y entera respectivamente. Esto se debe a que la pimienta entera tiene menor capacidad de retención de humedad superficial a largo plazo comparado con la molida (DO REGO, 2020).

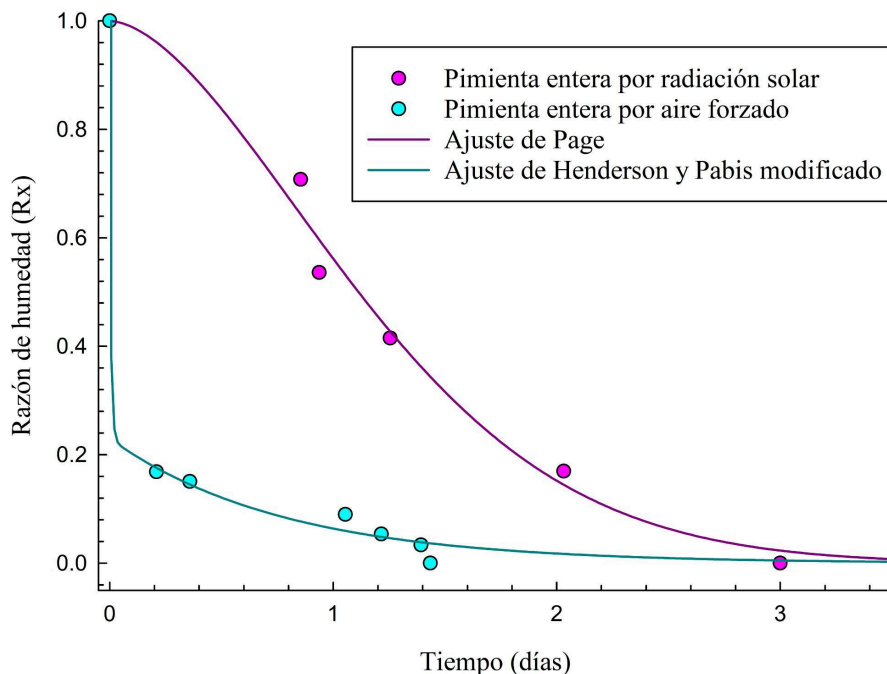


FIGURA 2. Curva de secado por aire forzado y radiación solar para la pimienta blanca entera.

El secado se puede representar con los modelos matemáticos de capa delgada. El artificial con aire forzado a 40 °C fue dos veces más rápido que el natural con radiación solar, esto en las condiciones ambientales del experimento. El secado artificial con gel de sílice a 22° C tarda 7,5 días más que el de artificial a 40 °C (DO REGO, 2020)

**CONCLUSIONES:** El secado de pimienta blanca con aire forzado se ajustó mejor con el modelo de Henderson y Pabis Modificado y el secado natural con radiación solar se ajustó mejor al modelo de Page. Esto fue similar para las presentaciones de grano entero y molido.

**AGRADECIMIENTOS:** Agradecimiento especial a la Finca Agrícola el Rocío por proporcionar la pimienta requerida en el desarrollo de este estudio.

#### REFERENCIAS:

- 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. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, 14 (1), 2983-2994. 2020.
- MAUPOEY, P; ANDRÉS, A; BARAT, J; ALBORS, A. **Introducción al secado de alimentos por aire caliente**. España: Universitat Politècnica de Valencia. 2016.
- MEGAT-AHMAD, P; SHAMSUDIN, R; CHE MAN, H; YA'ACOB, M. Effects of Flowing Water on Soaking Water Quality During the Retting Process of Pepper Berries (*Piper Nigrum* L.). **Advances in Agricultural and Food Research Journal**, 13(1), 1-10, 2021.
- 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