

SECADO DE SEMILLAS DE AHUYAMA (*cucurbita moschata*) POR LA TÉCNICA DE VENTANA DE REFRACTANCIA

Data de submissão: 23/10/2022

Data de aceite: 01/12/2022

Mónica Jimena Ortiz-Jerez

Universidad de Antioquia, Departamento
de Alimentos
Medellín-Antioquia
<https://orcid.org/0000-0001-9175-4040>

José Edgar Zapata Montoya

Universidad de Antioquia, Departamento
de Alimentos
Medellín-Antioquia
<https://orcid.org/0000-0003-2733-1515>

Angie Franco Sánchez

Universidad de Antioquia, Departamento
de Alimentos
Medellín-Antioquia
<https://orcid.org/0000-0001-7647-9589>

semillas de ahuyama deshidratadas por ventana de refractancia (VR) y secado convectivo (SC). El secado VR se llevó a cabo en un hidrosecador a escala de laboratorio y el SC se llevó a cabo en un secador con circulación de aire caliente; ambos a una temperatura de 80 ± 2 °C. La aceptación sensorial (color, olor, sabor y textura) fue evaluada en una prueba de preferencia con una escala hedónica de 1 a 5 con un total de 60 panelistas. Las curvas de secado se ajustaron a 4 modelos cinéticos: Newton, Logarítmico, Page y Midilli et al. El mejor modelo para ajustar el secado por VR fue Logarítmico ($R^2 = 0.9985$) seguido por Midilli et al. con mínimas diferencias ($R^2 = 0.9984$), mientras que para SC fue Midilli et al. ($R^2 = 0.9982$) seguido por Page ($R^2 = 0.9981$). El modelo de Midilli et al. ajusta en alto grado los datos de ambos secados. La D_{ef} se determinó con la solución de la segunda ley de Fick y presentó valores en el mismo el mismo orden de magnitud para ambos métodos. Las semillas secas por VR obtuvieron una aceptación general de 3.82, comparado con un 3.63 por parte de SC. Los resultados permiten concluir que, entre ambos métodos, no hay una diferencia estadística significativa, en términos de características de deshidratación y

RESUMEN: La actual importancia de la ahuyama (*cucurbita moschata*) en la seguridad alimentaria nacional ha fomentado progresivamente la investigación en esta fruta, proyectándola hacia nuevas aplicaciones. En este contexto las semillas surgen como una materia prima potencial para obtener productos deshidratados para su consumo directo. En esta investigación, se compararon la cinética de secado, la difusividad efectiva (D_{ef}) y la percepción sensorial de un panel no entrenado de

aceptación sensorial, por lo cual el secado por VR se convierte en un método alternativo para obtener semillas deshidratadas de ahuyama para su consumo directo.

PALABRAS CLAVE: Modelos cinéticos, ventana de refractancia, semillas de ahuyama, características sensoriales.

DRYING OF PUMPKIN (*cucurbita moschata*) SEEDS BY REFRACTANCE WINDOW TECHNIQUE

ABSTRACT: The current importance of pumpkin (*cucurbita moschata*) in national food security has progressively encouraged research on this fruit, projecting it towards new applications. In this context, the seeds emerge as a potential raw material to obtain dehydrated products for direct consumption. In this investigation, the drying kinetics, effective diffusivity (D_{ef}) and sensory perception of an untrained panel of dehydrated pumpkin seeds by refractance window (RW) and convective drying (CA) were compared. RW drying was carried out in a laboratory-scale hydro-dryer and CA drying was carried out in a hot-air circulating dryer; both at a temperature of 80 ± 2 °C. Sensory acceptability (appearance, aroma, taste and texture) was evaluated by an affective test on a hedonic scale from 1 to 5 with 60 panelists. The drying curves (MR vs t) were fitted to four kinetic models: Newton, Logarithmic, Page and Midilli et al. The best model to adjust RW drying was Logarithmic ($R^2 = 0.9985$) followed by Midilli et al. with minimal differences ($R^2 = 0.9984$), while for CA drying it was Midilli et al. ($R^2 = 0.9982$) followed by Page ($R^2 = 0.9981$). The model of Midilli et al. fits the data of both dryings to a high degree. The D_{ef} was determined by second Fick's Law solution and presented values in the same order of magnitude for both methods. Dry seeds by RW obtained a general acceptance of 3.82, compared to 3.63 by CA drying. Results allow us to conclude that, between both methods, there is not statistically significant differences, in terms of dehydration characteristics and sensory acceptability, constituting RW drying as an alternative method for obtain dehydrated pumpkin seeds for direct consumption.

KEYWORDS: Kinetic models, refractance window, pumpkin seeds, sensory characteristics.

1 | INTRODUCCIÓN

La ahuyama es un producto vegetal perteneciente a la familia de las cucurbitáceas. En Colombia para el año 2017 su producción fue de 124,001 ton (Correa et al., 2019), siendo la *curcubita moschata* la especie predominante cuyo tallo es largo, delgado y anudado. La fruta es de un tamaño mediano con cáscara suave y semillas de coloración oscura, características que varían según la variedad. La fruta puede presentarse en diferentes formas: esférica, elipsoidal, ovalada, en forma de pera, recta o curvada en forma de botella (León, 2000). Además de su alto contenido en macro y micronutrientes, la ahuyama es rica en fito-constituyentes y antioxidantes, con propiedades antifúngicas, antiinflamatorias y anticancerígenas (especialmente contra el cáncer de pulmón y colon) (Yadav et al., 2010). Fisiológicamente, una ahuyama de compone de 4 partes: pulpa, cáscara, semillas y entrañas (Figura 1), todas ellas comestibles, ya sea de forma directa en fresco o procesadas como forma de enriquecer alimentos; por ejemplo, en sopas, cremas, dulces y productos de

panadería caseros con sustitución parcial con harina de ahuyama, igualmente puede ser consumida como snack de pulpa y semillas (Syam et al., 2020).



Figura 1. Imagen de la Ahuyama (*Cucurbita moschata*).

Las semillas de ahuyama tienen un alto contenido nutricional. Están constituidas por proteínas (entre 274.85 y 308.92 g/kg), carbohidratos (entre 122.2 y 140.19 g/kg), lípidos (entre 439.88 y 524.34 g/kg) y cenizas (entre 44.22 y 55.02 g/kg) según la variedad (Mi et al., 2012). Se puede apreciar que este producto representa una alternativa de solución a la problemática de seguridad alimentaria nacional o global, no solo por su valor nutricional, sino también por la diversidad de formas de consumo y usos, desde harinas para el enriquecimiento de productos de panadería, aceites, snacks listos para consumir, ya sean tostados o deshidratados, hasta la producción de barras de cereales (Silva et al., 2014).

El secado por ventana de refractancia (VR) es un método de secado innovador y eficiente para el secado de materiales delgados (Ortiz-Jerez et al., 2015). Este tipo de secado está basado teóricamente en tres formas de transferencia de calor: conducción, convección y radiación, empleando agua como medio calefactor (Nindo & Tang, 2007). El agua, a condiciones de presión atmosférica y temperaturas menores a su punto de ebullición, transfiere energía térmica al producto a través de una película plástica transparente a la radiación infrarroja (e.g. Mylar™) (Ochoa-Martínez et al., 2012).

Para garantizar la eficiencia energética, el agua caliente es reciclada y reutilizada, reduciendo el costo al menos a la mitad, cuando se compara con métodos de secado como la liofilización (Puente-Díaz et al., 2020). Adicionalmente, el secado por VR provee beneficios en términos de preservación de las características de calidad de los alimentos deshidratados, una mejor eficiencia energética e inactivación de bacterias patógenas presentes en los vegetales (Waghmare, 2021).

El modelado matemático de los procesos de secado es útil para diseñar nuevos sistemas de secado que mejoren los existentes o que incluso controlen el proceso mismo

(Doymaz, 2007). Estos cobran importancia cuando explican el comportamiento del proceso y permiten la extrapolación a condiciones de operación diferentes. Algunos modelos se han ajustado exitosamente a las condiciones de secado de semillas de productos agrícolas, en la literatura se encuentran los modelos empíricos o semi-teóricos de Page, Lewis y Henderson-Pabis para el secado convectivo de semillas de uvas (Roberts et al., 2008), Henderson-Pabis para el secado convectivo de semillas de naranja (Penteado-Rosa et al., 2015), Wang & Singh, Midilli et al., Logarítmico y Aproximación de difusión, para el secado convectivo de semillas de sandía (Dhurve et al., 2022). Modelo Logarítmico para el secado convectivo de semillas de ahuyama sin cáscara (Sacilik, 2007), y el modelo de Page para el secado de un lecho fluidizado de semillas de ahuyama (Mujaffar & Ramsumair, 2019).

Para deshidratar semillas de ahuyama, se han empleado múltiples técnicas, tales como lecho fluidizado con temperaturas entre los 50 y 80 °C (Mujaffar & Ramsumair, 2019), secado por túnel solar (Sacilik, 2007), y el tradicional secado por aire caliente (Can, 2007; Sacilik, 2007). Sin embargo, existe poca información sobre el modelado en capa delgada del secado de semillas de ahuyama. Es por esto que surge la necesidad de estudiar el modelado de capa delgada de las semillas de ahuyama para entender el proceso de secado. Actualmente, no existen reportes en la literatura para el secado VR de semillas de ahuyama (*C. moschata*), que evalúen el efecto sobre el sabor y aceptabilidad preferencial de los consumidores para este producto, información importante para conocer sobre su uso potencial en el mercado, haciendo necesario aplicar un análisis sensorial por el método conocido como prueba orientada al consumidor (POC) (Lawless & Heymann, 2010).

El objetivo de esta investigación es estimar la difusividad efectiva y determinar el modelo cinético de capa delgada más apropiado para el secado por ventana de refractancia (VR) de semillas de ahuyama (*C. moschata*), y evaluar la percepción sensorial de muestras deshidratadas de diferentes atributos a través de un panel de consumidores no entrenados.

2 | MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Muestreo y pretratamientos del material vegetal

La ahuyama (*C. moschata*) fue obtenida de un mercado local en la ciudad de Medellín (Colombia). Fue desinfectada, pelada y cortada por su línea del ecuador, posteriormente, las semillas fueron separadas de las entrañas y lavadas para remover residuos. Para este estudio, las semillas enteras fueron utilizadas sin aplicar pretratamientos para remover la cáscara de la semilla. Estas fueron almacenadas a condiciones ambientales (HR = 68% y T = 25°C) hasta el momento de su análisis. La humedad inicial de las muestras fue determinada por el método de balanza de calentamiento infrarrojo progresivo con una termobalanza (Shimadzu, modelo ATX224, Japón).

2.2 Secado de semillas de ahuyama

El secado por ventana de refractancia (VR) se llevó a cabo en un hidrosecador no comercial a escala de laboratorio, empleando un baño termostático de 5 L (Thermo Scientific, modelo TSGP05, USA) con agua a temperatura constante de 80 ± 2 °C, cubierta con una película plástica transparente a radiación infrarroja, en la cual se dispuso aproximadamente 25 g de muestra, distribuida de manera uniforme para cada prueba (Figura 2). La película plástica está hecha de tereftalato de polietileno (polietileno de baja densidad) transparente a radiación infrarroja conocida como Mylar® (Puente-Díaz et al., 2020).

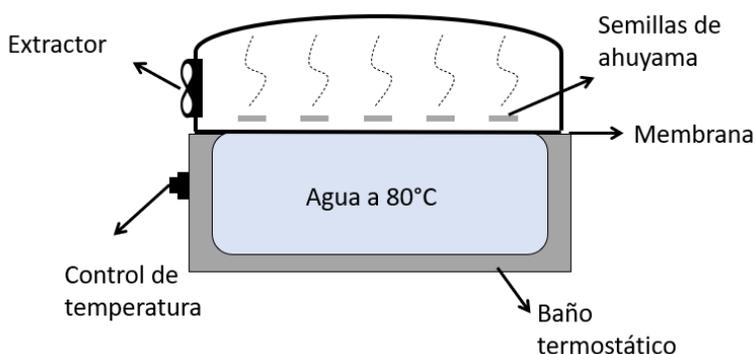


Figura 2. Esquema del secado de semillas de ahuyama (*C. moschata*) por ventana de refractancia (VR).

La temperatura del baño se determinó con base en estudios previos, en los cuales se observó que, temperaturas por encima de los 80°C generaban turbulencias y burbujas de aire en el baño de agua, lo cual interfiere con la transferencia de energía a través de la película (Clarke, 2004). De acuerdo a la revisión de la literatura, esta temperatura es eficiente para el proceso de secado mientras permite una mejor retención de color y contenido de antioxidantes en el procesado de alimentos (Bernaert et al., 2019). Para el secado por aire caliente (SC), se utilizó un horno convectivo (Thermo scientific, modelo PR305225M, USA), a una temperatura constante de 80°C y una velocidad de aire de 0.8 m/s. En cada prueba, una sola capa de semillas fue distribuida en el área de secado disponible. Todos los ensayos se realizaron por triplicado.

2.3 Análisis sensorial

Las pruebas orientadas al consumidor (POC) (Lawless & Heymann, 2010) de preferencia (i. e., prueba de comparación) y de aceptación (i. e., escala hedónica) son de fácil realización. Esta última es una prueba que mide la aceptación subjetiva del producto

y la preferencia del consumidor. Consiste en la entrega de muestras del producto a los catadores y cuestionarles a través de una encuesta sobre sus observaciones según una escala establecida (Toscano-Palomar et al., 2020). En la escala hedónica, el catador expresa su aceptación del producto siguiendo una escala preestablecida. La cual varía gradualmente con la intensidad de los atributos (Cordero-Bueso, 2017).

Las características sensoriales de los productos deshidratados fueron evaluadas según la percepción de un panel no entrenado y una escala hedónica de 1 a 5, donde 1 corresponde a “me disgusta mucho” y 5 “me gusta mucho”. Aplicada a los atributos de color, olor, sabor y textura. 60 panelistas de ambos sexos, entre los 25 y los 60 años, pertenecientes a diferentes sectores de la ciudad de Medellín participaron en la prueba. Para todos los atributos, las medias y desviaciones estándar fueron calculadas para cada tratamiento. Un análisis de varianza (ANOVA) se llevó a cabo utilizando el complemento estadístico de Excel (Microsoft, versión 2019). Siguiendo con los protocolos de consentimiento informado.

2.4 Modelo de cinética de secado

Los datos de humedad del producto (X_t) se tomaron cada 5 min durante 60 min, los cuales se utilizaron para calcular la razón de humedad adimensional (MR) (ecuación 1).

$$MR = \frac{X_t - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} \quad (1)$$

donde, X_t , es el contenido de humedad en cualquier tiempo t , X_0 , el contenido de humedad inicial y X_{eq} el contenido de humedad en el equilibrio, todos expresados en base seca (kg agua/kg sólido seco). Se consideró un X_{eq} de 0.005 kg agua/kg sólido seco (Can, 2007; Guiné & Barroca, 2012), que correspondió a la humedad alcanzada por las muestras en un periodo de tiempo muy prolongado, en el que se supone que se alcanzó el equilibrio con la humedad de los alrededores.

Las curvas experimentales (MR vs t) se ajustaron usando Excel (Microsoft, versión 2019), a cuatro modelos cinéticos de capa delgada usados frecuentemente para describir el secado de productos agrícolas (Tabla 1) La bondad de ajuste de los modelos empíricos se obtuvo con los parámetros estadísticos: R^2 (coeficiente de distribución), χ^2 (chi cuadrado) y RMSE (error medio cuadrático).

Modelo	Ecuación	Referencia
Newton	$MR = \exp(-kt)$	Lewis (1921)
Page	$MR = \exp(+ktn)$	Page (1949)
Logarítmico	$MR = a \cdot \exp(-kt) + c$	Sacilik (2007)
Midilli et al.	$MR = a \cdot \exp(-ktn) + bt$	Midilli et al. (2002)

Tabla 1. Modelos empíricos seleccionados para describir el secado de semillas de ahuyama

2.5 Estimación de la difusividad efectiva

La difusividad efectiva (D_{ef}) fue obtenida por la solución analítica de la segunda ley de Fick (ecuación 2) en coordenadas rectangulares, bajo la suposición de la migración de humedad en una sola dirección, con encogimiento y resistencias externas despreciables. Al resolver la ecuación 2, aplicando la solución de Crank (Crank, 1975), se obtiene como resultado la ecuación 3:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = Def \frac{\partial^2 X}{\partial z^2} \quad (2)$$

$$MR = \frac{X_t - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 F_0}{4}\right) \quad (3)$$

donde, el número de Fourier (F_0) está dado por $F_0 = D_{ef} \frac{t}{L^2}$ siendo L el espesor del producto (m).

3 | RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Muestreo y pretratamiento

Las muestras con un espesor de 2.9 ± 0.3 mm y una humedad inicial de 0.738 ± 0.013 kg agua/kg de solido seco (41.38 ± 3.12 % bh) fueron secadas hasta una humedad final de 0.0112 kg agua/kg de solido seco para VR y 0.0129 kg agua/kg de solido seco para CA, hasta no observar cambios en la masa. La figura 3 muestra que el método de secado SC parece ser más rápido que el VR. Al finalizar el secado, la razón de humedad (MR) obtuvo valores por debajo de 0.1 para ambas técnicas. Las muestras alcanzaron una razón de humedad de 0.07 para VR luego de 45 minutos y de 0.02 para SC luego de 60 minutos. Resultados similares muestran que VR tiene una gran capacidad para secar alimentos en menor tiempo cuando se compara con SC a la misma temperatura (Ochoa-Martínez et al., 2012; Jafari et al., 2015; Franco et al., 2019). Además, el secado VR ha sido sugerido como un método mas delicado que puede preservar los atributos sensoriales de los productos (Jafari et al., 2015).

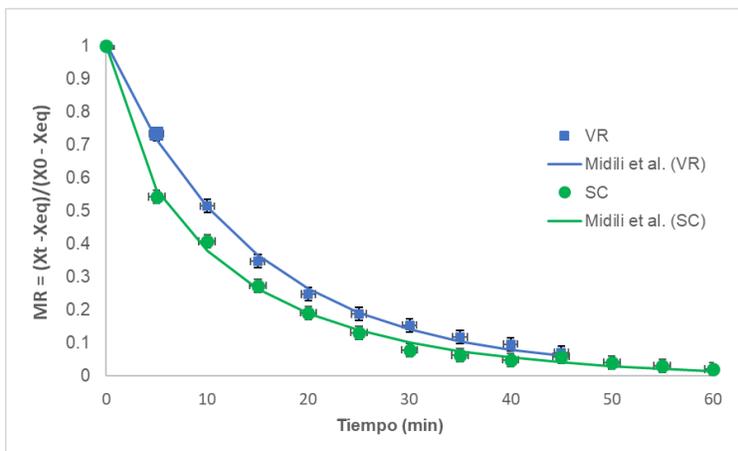


Figura 3. Curvas de secado experimental de semillas de ahuyama (*Cucurbita moschata*) mediante secado por ventana de refractancia (VR) y secado convectivo (SC), a 80 °C.

En el secado VR, la variación $\frac{\partial X}{\partial t}$ es únicamente decreciente, lo cual indica que el mecanismo predominante es la difusión de humedad, dado que la evaporación de agua en la superficie es inmediata gracias a la ventana de refractancia, haciendo el secado más rápido y eficiente (Nindo & Tang, 2007). Por otra parte, para el secado convectivo, las razones corresponden a dos zonas: constante y decreciente, controladas por los mecanismos evaporativos y difusionales, respectivamente. Una etapa difusional lenta puede extender el tiempo de secado debido a que la mayor parte del secado ocurre en esta, puesto que la humedad se difunde a través del estado sólido a una razón menor (Olawoye et al., 2017).

3.2 Modelado cinético

La tabla 2 presenta los parámetros de los modelos Newton, Logarítmico, Page y Midilli et al., así como la bondad de ajuste para los parámetros de cada modelo. Estos resultados indican que los cuatro modelos describen de forma satisfactoria las curvas de secado de las semillas de ahuyama a la temperatura estudiada, una vez que su coeficiente de distribución (R^2) obtuvo un valor por encima del 95% y su error medio relativo (RMSE) fue menor que 5% para ambos secados. Sin embargo, el modelo que mejor describe el comportamiento de los datos para el secado VR es el modelo Logarítmico, seguido muy de cerca por el modelo de Midilli et al. Recientemente, esto fue igualmente observado por Dhurve et al. (2022) en el secado convectivo de semillas de sandía. De forma similar, el modelo de Midilli et al. demostró el mejor ajuste para el SC, seguido de cerca por el modelo de Page. De modo similar, el modelo de Page tuvo el mejor ajuste en un estudio reciente sobre secado en lecho fluidizado de semillas de ahuyama (Mujaffar & Ramsumair, 2019).

Estos resultados indican que el modelo de Midilli et al. es un buen modelo para representar la cinética de secado para ambos métodos de estudio, como fue observado por Smaniotto et al. (2017), quien estudió once modelos de capa delgada para ajustar el secado

convectivo de semillas de girasol. En otra investigación, Sacilik (2007) estudió el secado de semillas de ahuyama sin cáscara (*Cucurbita pepo L*) secada a diferentes temperaturas con aire caliente, secado solar abierto y secado solar de túnel, y encontró que, para todos ellos el modelo Logarítmico es el que mejor representa la cinética de secado de capa delgada.

Todos estos estudios sobre secado de semillas de productos agrícolas con modelos de análisis de capa delgada derivan en buenos resultados con los modelos Logarítmico, Page y Midilli et al. principalmente. Siendo este último el más apropiado para el secado por VR de semillas de la variedad *C. Moschata*.

Modelo	Ventana de Refractancia					Secado convectivo			
	Parámetro	Valor	R ²	y ²	RMSE	Valor	R ²	y ²	RMSE
Newton	k	0.0657	0.9981	0.0003	0.0185	0.0896	0.9945	0.0014	0.0377
Logarítmico	k	0.0703	0.9985	0.0003	0.0162	0.1021	0.9957	0.0007	0.0265
	a	0.9847				0.9271			
	c	0.0223				0.0500			
Page	k	0.0731	0.9982	0.0003	0.0177	0.1626	0.9981	0.0003	0.0175
	n	0.9636				0.7772			
Midilli et al.	k	0.0680	0.9984	0.0003	0.0166	0.1645	0.9982	0.0003	0.0174
	a	1.0051				0.9974			
	b	0.0004				-1x10 ⁻⁴			
	n	1.0016				0.7690			

Tabla 2. Parámetros y bondad de ajuste de los modelos ajustados en la cinética de secado de semillas de ahuyama por ventana de refractancia y secado convectivo.

3.3 Estimación de la difusividad efectiva

Se ha reportado que los primeros tres términos de la ecuación 3 son suficientes para describir el proceso de secado de productos de semillas pequeñas (Can, 2007). Sin embargo, considerando una sola dirección de flujo de humedad y por tiempos lo suficientemente prolongados, el primer término de la serie infinita provee una buena estimación (Doymaz, 2007; Guiné & Barroca, 2012). La razón adimensional Fo fue optimizada usando Excel SOLVER (2019), truncando la serie infinita en el primer término. La pendiente lineal de la razón adimensional Fo vs tiempo se obtuvo por análisis de regresión lineal y fue usada para la difusividad efectiva del agua D_{ef} .

Los D_{ef} promedio de las semillas de ahuyama secas por ambas técnicas VR y SC a 80°C, fueron de 6.60×10^{-10} ($R^2=0.9927$) y 9.60×10^{-10} ($R^2=0.9928$), respectivamente. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los valores de D_{ef} de ambos métodos. Estos valores están en el mismo orden de magnitud que los reportados

en estudios de secado convectivo de semillas de melón a temperaturas entre 50 y 70°C (Almeida et al., 2020) y semillas de ahuyama en lecho fluidizado a diferentes temperaturas, incluyendo 80°C (Mujaffar & Ramsumair, 2019). En otro estudio, Sacilik (2007) observó que, la difusividad efectiva de semillas de ahuyama sin cascara esta en el orden de 10^{-11} a temperaturas de secado mas bajas (40-60°C). Esto fue igualmente observado por Smaniotto et al. (2017) durante el secado convectivo de semillas girasol en un amplio rango de temperatura (35-95°C). Estas variaciones ocurren ya que, a medida que la temperatura aumenta, la vibración de las moléculas de agua aumenta, contribuyendo a una difusión más rápida (Coradi et al., 2016). Esto también puede deberse a la diferencia en las reservas encontradas en las semillas, ya que, entre mayor sea el contenido de aceite al interior, menor será la energía requerida para la remoción de agua (Smaniotto et al., 2017). Es de notar que, el modelo basado en la determinación de la difusividad efectiva (D_{ef}) tiene ajustes inferiores que los modelos empíricos o semi-empíricos. Se debe considerar que este por ser un modelo fundamentado en los fenómenos de transferencia que gobiernan el proceso de secado, lo puede explicar mejor.

3.4 Análisis sensorial

La figura 4 muestra el resultado de la prueba para los 4 atributos (color, olor, sabor y textura) y la percepción general. El ANOVA indica que no hay una diferencia significativa entre los tratamientos de secado, con un nivel de significancia del 95% ($p < 0.05$). Las semillas secas por ambos métodos obtuvieron una aceptación general en el rango de 3-4, donde 3 corresponde a “me gusta poco” y 4 a “me gusta”. Ninguno de los valores cayó dentro de una categoría extrema de “me gusta mucho” o “me disgusta mucho”. Para ambos secados, VR y SC, el atributo con mayor puntuación fue la textura, mientras que el atributo con menor puntuación fue el olor, como se observa en la figura 4. Esto también puede corroborarse con la figura 5.

En un estudio reciente con panelistas entrenados, el perfil sensorial de las semillas de ahuyama fue evaluado, las cuales fueron irradiadas con haces de electrones de alta y baja intensidad. La intensidad de olor se reportó entre 4.2 y 4.5 y para sabor entre 6.0 y 6.3, en una escala 1 a 10, cuando la intensidad de radiación fue alta (Aisala et al., 2021), valores que están por debajo de los encontrados en este estudio. En otro estudio sobre semillas de girasol secadas por microondas y secado convectivo, de acuerdo a los jueces, la intensidad del olor se encontraba entre el 60 y el 70%, lo cual es similar a los resultados de olor encontrados en el presente estudio, aunque para el atributo de sabor estos fueron menores (Goszkiewicz et al., 2020).

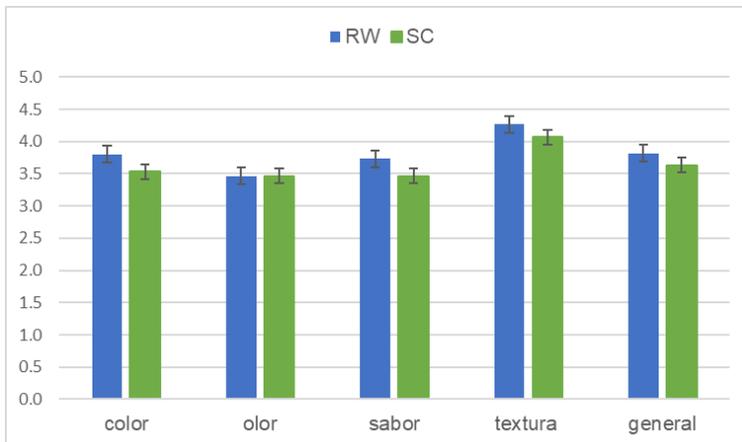


Figura 4. Análisis sensorial de semillas secas por Ventana de refractancia (VR) y Secado convectivo (SC) en escala hedónica de 1-5.

Después de la textura, el color y el sabor fueron los atributos mejor evaluados por los participantes. Como el color abarca visualmente toda la percepción sensorial de los alimentos, las ventajas de utilizar VR como método de secado, en términos de aspectos sensoriales, han sido ampliamente documentadas (Nayak et al., 2011; Jafari et al., 2015; Puente et al., 2020). Por presentar una ligera mayor aceptabilidad en el producto seco, el secado VR puede ser considerado como un método alternativo para obtener semillas deshidratadas de ahuyama listas para consumo.

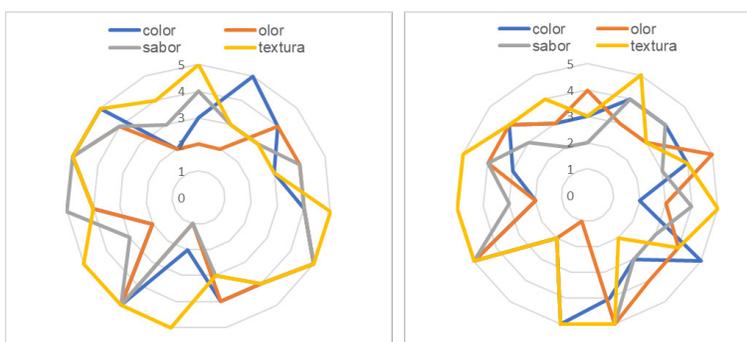


Figura 5. Análisis sensorial en gráfica radial para secado por (a) ventana de refractancia (VR) y (b) secado convectivo (SC) en escala hedónica de 1-5.

4 | CONCLUSIONES

Las características de cinética de secado de las semillas de ahuyama (*C. moschata*) se ven afectadas por el tipo de secado aplicado. La difusividad efectiva (D_{ef}) resultante para ambos secados se encuentran dentro del mismo orden de magnitud (10^{-10}) y están acorde

a los valores reportados para productos agrícolas similares. Los cuatro modelos cinéticos evaluados son útiles para ajustar las curvas de secado de las semillas de ahuyama, siendo Midilli et al. el mejor modelo de ajuste para el secado por ventana de refractancia (VR). La aceptabilidad sensorial del producto seco es la misma para ambos secados, VR y SC, siendo la textura el atributo mejor puntuado y el olor el peor. El secado VR es un método alternativo para obtener semillas de ahuyama deshidratadas para consumo directo (tipo snack).

REFERENCIAS

Aisala, H., Nygren, H., Seppänen-Laakso, T., Heinio, R.L., Kiećling, M., Aganovic, K., Waser, A., Kotilainen, H., Ritala, A., 2021. **Comparison of low energy and high energy electron beam treatments on sensory and chemical properties of seeds.** Food Res. Int. 148, 110575.

Almeida, R.L., Santos, N., Pereira, T., Silva, V., Ribeiro, V., Silva, L., Cordeiro Gomes, F., Moreira, F., Lima, S., Eduardo, R., 2020. **Cinetica de secagem de sementes de melão descrita por um modelo de difusão.** Research, Society and Development.

Bernaert, N., van Droogenbroeck, B., van Pamel, E., de Ruyck, H., 2019. **Innovative refractance window drying technology to keep nutrient value during processing.** Trends Food Sci. Technol. 84, 22–24.

Can, A., 2007. **An analytical method for determining the temperature dependent moisture diffusivities of pumpkin seeds during drying process.** Appl. Therm. Eng. 27 (2–3), 682–687.

Clarke, P.T., 2004. **Refractance window—Down under.** In: Proceedings of the 14th International Drying Symposium. IDS, pp. 813–820.

Coradi, P.C., Fernandes, C.H.P., Helmich, J.C., 2016. **Adjustment of mathematical models and quality of soybean grains in the drying with high temperatures.** Rev. Bras. Eng. Agrícola Ambient. 20 (4), 385–392.

Cordero-Bueso, G.A., 2017. **Análisis Sensorial de los Alimentos.** In: Tipos de pruebas de análisis sensorial, 1a ed. vol. 4. AMV Ediciones, Madrid (España), pp. 155–182.

Correa, E.M., Yacomelo, M.J., León, R.I., Orozco, A.R., Silva, G.E., Tamara, R.E., 2019. **Modelo productivo de ahuyama para la región caribe colombiana.** Siembra, p. 1.

Crank, J., 1975. **The Mathematics of Diffusion**, 2a ed. Oxford University Press, London, pp. 69–88.

Dhurve, P., Kumar Arora, V., Kumar Yadav, D., Malakar, S., 2022. **Drying kinetics, mass transfer parameters, and specific energy consumption analysis of watermelon seeds dried using the convective dryer.** Mater. Today Proc. 59, 926–932.

Doymaz, I., 2007. **The kinetics of forced convective air-drying of pumpkin slices.** J. Food Eng. 79, 243–248.

Franco, S., Jaques, A., Pinto, M., Fardella, M., Valencia, P., Núñez, H., Ramírez, C., Simpson, R., 2019. **Dehydration of salmon (Atlantic salmon), beef, and apple (Granny Smith) using Refractance window™: effect on diffusion behavior, texture, and color changes.** *Innovat. Food Sci. Emerg. Technol.* 52, 8–16.

Goszkiewicz, A., Kołodziejczyk, E., Ratajczyk, F., 2020. **Comparison of microwave and convection method of roasting sunflower seeds and its effect on sensory quality, texture and physicochemical characteristics.** *Food Struct.* 25, 100144.

Guiné, R.P., Barroca, M.J., 2012. Effect of drying treatments on texture and color of vegetables (pumpkin and green pepper). *Food Bioprod. Process.* 90 (1), 58–63.

Jafari, S.M., Azizi, D., Mirzaei, H., Dehnad, D., 2015. **Comparing quality characteristics of oven-dried and refractance window-dried kiwifruits.** *J. Food Process. Preserv.* 40 (3), 362–372.

Lawless, H.T., Heymann, H., 2010. **Sensory evaluation of food: principles and practices.** In: *Food Science Texts Series*, 2a ed.vol. 23. Springer, p. 596.

León, J. (Ed.), 2000. **Botánica de los cultivos tropicales**, 3a ed. Agroamerica. Lewis, W.K., 1921. The rate of drying of solid materials. *J. Ind. Eng. Chem.* 13, 427–432.

Mujaffar, S., Ramsumair, S., 2019. **Fluidized bed drying of pumpkin (Cucurbita sp.) seeds.** *Foods* 8 (5), 147.

Mi, Y.K., Eun, J.K., Young-Nam, K., Changsun, C., Bo-Hieu, L., 2012. **Comparison of the chemical compositions and nutritive values of various pumpkin (Cucurbitaceae) species and parts.** *Nutr. Res. Pract.* 6 (1), 21–27.

Midilli, A., Kucuk, H., Yapar, Z., 2002. **A new model for single layer drying.** *Dry. Technol.* 20, 1503–1513.

Nayak, B., Berrios, J.D.J., Powers, J.R., Tang, J., Ji, Y., 2011. **Coloured potatoes (Solanum tuberosum L.) dried for antioxidant-rich value-added foods.** *J. Food Process. Preserv.* 35, 571–580.

Nindo, C.I., Tang, J., 2007. **Refractance window dehydration technology: a Novel Contact drying method.** *Dry. Technol.* 25 (1), 37–48.

Ochoa-Martínez, C.I., Quintero, P.T., Ayala, A.A., Ortiz, M.J., 2012. **Drying characteristics of mango slices using the Refractance Window technique.** *J. Food Eng.* 109, 69–75.

Olawoye, B.T., Kadiri, O., Babalola, T.R., 2017. **Modelling of thin-layer drying characteristic of unripe Cardaba banana (Musa ABB) slices.** *Cogent Food Agric.* 3 (1).

Ortiz-Jerez, M.J., Gulati, T., Datta, A.K., Ochoa-Martínez, C.I., 2015. **Quantitative understanding of refractance Window™ drying.** *Food Bioprod. Process.* 95, 237–253.

Page, G.E., 1949. **Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers.** Purdue University, West Lafayette.

Penteado-Rosa, D., Cantú-Lozano, D., Luna-Solano, G., Polachini, T.C., Telis-Romero, J., 2015. **Mathematical modeling of orange seed drying kinetics.** *Cienc. E Agrotecnol* 39 (3), 291–300.

Puente-Díaz, L., Spolmann, O., Nocetti, D., Zura-Bravo, L., Lemus-Mondaca, R., 2020. **Effects of infrared-assisted refractance Window™ drying on the drying kinetics, microstructure, and color of Physalis fruit Puree.** *Foods* 9 (3), 343.

Puente, L., Vega-Galvez, A., Ah-Hen, K.S., Rodríguez, A., Pasten, A., Poblete, J., et al., 2020. **Refractance Window Drying of Goldenberry (Physalis Peruviana L.) Pulp: A Comparison of Quality Characteristics with Respect to Other Drying Techniques.** *LWT - Food Science and Technology*, p. 131.

Roberts, J.S., Kidd, D.R., Padilla-Zakour, O., 2008. **Drying kinetics of grape seeds.** *J. Food Eng.* 89 (4), 460–465.

Sacilik, K., 2007. **Effect of drying methods on thin-layer drying characteristics of hull-less seed pumpkin (Cucurbita pepo L.).** *J. Food Eng.* 79 (1), 23–30.

Silva, J.S., Marques, T.R., Simao, A.A., Correa, A.D., Pinheiro, A.C.M., Silva, R.L., 2014. **Development and chemical and sensory characterization of pumpkin seed flour-based cereal bars.** *Food Sci. Technol. (Campinas)* 34 (2), 346–352.

Smaniotto, T.A.D.S., Resende, O., Sousa, K.A.D., Oliveira, D.E.C.D., Campos, R.C., 2017. **Drying kinetics of sunflower grains.** *Rev. Bras. Eng. Agrícola Ambient.* 21 (3), 203–208.

Syam, A., Zainal, Kurniati, Y., Hardiyanti, Ulfasari, I., Ishak, A., Akhmar, A.M., 2020. **Preference test of biscuit products from pumpkin seeds (Cucurbita sp.).** *Enfermería Clínica* 30, 375–378.

Toscano-Palomar, L., García-Gomez, G., Gomez-Puentes, F.J., Beltrán-Gonzalez, G., Valenzuela-Espinoza, I.G., Armenta-Galvez, J.M., 2020. **Análisis de las propiedades físico-químicas y sensoriales de barra alimenticia a base de semillas y nueces sin componentes de origen animal.** *Rev. Espanola Nutr. Humana Dietetica* 24 (2), 143–153.

Waghmare, R., 2021. **Refractance window drying: a cohort review on quality characteristics.** *Trends Food Sci. Technol.* 110, 652–662.

Yadav, M., Jain, S., Tomar, R., Prasad, G., Yadav, H., 2010. **Medicinal and biological potential of pumpkin: an updated review.** *Nutr. Res. Rev.* 23 (2), 184–190

A

Ácaros depredadores 79, 80, 84, 91, 92
 Aislado proteico 2, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16
 Antimicrobiano 44, 48

B

Biodiversidad 32, 33, 34, 36, 39, 51, 52, 64, 94
 Bosque boreal 80, 83, 86

C

Características sensoriales 66, 70
 Conservación 17, 23, 33, 34, 54, 64, 103

E

Educación ambiental 33
 Educación Ambiental 50, 53, 64
 Engorda bovina 96
 Enseñanza 33, 34, 38, 39, 40, 41

G

GAM 79, 80, 81, 82, 83, 86
 Geoespacial 80

H

Health education 105

M

Mesostigma 80
 Metodologías activas 33, 40
 Modelo aditivo generalizado 79, 80, 81
 Modelos cinéticos 65, 66, 70, 76

P

Propiedades tecnofuncionales 1, 2, 4, 5, 13
 Propóleos chileno 44, 47, 48
 Proteína vegetal 2
 Public health 105, 114, 122

Q

Quinoa 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15

R

Rendimiento al desposte 95, 96, 97, 102

S

Semillas de ahuyama 65, 66, 67, 68, 69, 70, 72, 73, 74, 75, 76

V

Ventana de refractancia 65, 66, 67, 68, 69, 72, 73, 75, 76

Z

Zoonoses 104, 105, 106, 108, 109

CIENCIAS AGRARIAS:

ESTUDIOS SISTEMÁTICOS E INVESTIGACIÓN AVANZADA

-
-  www.atenaeditora.com.br
 -  contato@atenaeditora.com.br
 -  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
 -  www.facebook.com/atenaeditora.com.br

CIENCIAS AGRARIAS:

ESTUDIOS SISTEMÁTICOS E INVESTIGACIÓN AVANZADA

-
-  www.atenaeditora.com.br
 -  contato@atenaeditora.com.br
 -  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
 -  www.facebook.com/atenaeditora.com.br