

REHIDRATACIÓN DE DADOS DE CALABAZA (*Cucurbita moschata* Duch) SECADOS POR CONVECCIÓN

Amanda de la Caridad Cuadra-Perera^{1}, Claudia Ramírez-Alfonso¹ y Jorge A. Pino^{1,2}*

¹*Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia, Carretera al Guatao km 3 ½,
La Habana CP 17100, Cuba. E-mail: amanda.cuadra@iiaa.edu.cu*

²*Instituto de Farmacia y Alimentos, Universidad de La Habana, Cuba.*

Recibido: 02-04-2023 / Revisado: 25-04-2023 / Aceptado: 01-05-2023 / Publicado: 03-08-2023

RESUMEN

El comportamiento de la rehidratación a 100 ± 2 °C con una relación sólido:líquido (m/m) de 1:100 para dados de calabaza deshidratados por secado convectivo fue determinado por el modelo de Peleg. La rehidratación de los dados de calabaza deshidratados por convección a 50, 60 y 70 °C tuvieron un buen ajuste al modelo de Peleg, presentando el mejor ajuste los dados de calabaza secados a 60 °C. El volumen de los dados aumentó en el tiempo de rehidratación hasta recuperar su volumen inicial de 1 cm³.

Palabras clave: calabaza, *Cucurbita moschata*, rehidratación, secado convectivo.

ABSTRACT

Rehydration of pumpkin cubes (*Cucurbita moschata* Duch) dried by convection.

The rehydration behavior at 100 ± 2 °C with a solid:liquid ratio (m/m) of 1:100 for pumpkin cubes dehydrated by convective drying was determined by the Peleg model. The rehydration of the pumpkin cubes dehydrated by convection

at 50, 60 and 70 °C had a good fit to the Peleg model, with the pumpkin cubes dried at 60 °C presenting the best fit. The volume of the dice increased over the rehydration time until it recovered its initial volume of 1 cm³.

Keywords: pumpkin, *Cucurbita moschata*, rehydration, convective drying.

INTRODUCCIÓN

El secado es uno de los métodos más antiguos de conservación de alimentos. El secado se puede realizar mediante muchos métodos, incluido el secado por aire caliente o secado convectivo. El secado convectivo tiene un bajo costo de operación y fácil control del proceso; sin embargo, induce muchos cambios no reversibles. Pérdidas de calidad en el material como color, nutrientes, valor, contracción, textura, estructura densa, etc. (1). Los alimentos en forma de rodajas o de determinadas formas necesitan una rehidratación en una etapa anterior al consumo o procesamiento posterior y en la mayoría de los casos, la rehidratación puede provocar más efectos indeseables y cambios de calidad (2). Por tanto, la capacidad de rehidratación y la tasa que indica la calidad de

los productos secos se deben evaluar los productos instantáneos y las comidas listas para el consumo.

La rehidratación no es el proceso inverso a la deshidratación, ya que ambos fenómenos tienen mecanismos diferentes de transferencia de materia y dependen de factores distintos. La rehidratación constituye una medida del daño en el alimento ocurrido durante la deshidratación, considerándose como un complejo proceso que ayuda a restaurar las propiedades del alimento fresco (3).

Los alimentos deshidratados deben rehidratarse lo más rápido posible y mostrar las mismas características estructurales y químicas del alimento fresco, así como sus propiedades nutricionales y sensoriales (4). El medio de rehidratación más utilizado y simple es la inmersión en agua ya que la velocidad de rehidratación es mayor. También se pueden emplear soluciones azucaradas (glucosa, sacarosa) o salinas, leche, yogurt, jugos de frutas y verduras, entre otras. Estas últimas pueden transportar sólidos de importancia nutritiva al producto como vitaminas, proteínas y minerales, aunque la velocidad de rehidratación disminuye por la viscosidad que presentan (5, 6).

El objetivo de este estudio fue determinar la capacidad de rehidratación y cinética de rehidratación de dados de calabaza secos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las calabazas (*C. moschata*) fueron cosechadas en marzo de 2023 y se suministraron por la Cooperativa de Créditos y Servicio Fortalecida Roberto Negrín de La Lisa en La Habana. El color de la masa de las calabazas frescas fue amarillo intenso, mientras que el color de la cáscara fue anaranjado intenso con manchas verdes claras y amarillas. El contenido de sólidos solubles fue $4,5 \pm 0,5$ °Brix y contenido de humedad $87,37 \pm 1,07$ % m/m. Se utilizaron tres calabazas para cada corrida experimental, se lavaron adecuadamente con agua corriente, pelaron, eliminaron las semillas y cortaron en dados

con arista de 1 cm en una picadora SAMMIC S.L, modelo 20720 (Azkoitia, España).

Las muestras fueron secadas en una estufa de laboratorio Heraeus (Hanau, Alemania). Los dados de calabaza (100 g) fueron situados uniformemente sobre un tamiz. Las temperaturas del proceso de secado (50, 60 y 70 °C) fueron seleccionadas de acuerdo con Onwude y otros (2016). Se controló la pérdida de peso en las temperaturas, cada 15 min durante las dos primeras y luego cada 30 min las horas restantes, en una balanza técnica Ohaus (EE. UU.), hasta alcanzar la humedad deseada por registro del peso final de los dados de calabaza. El secado se realizó hasta que los dados presentaron un contenido de humedad de 5 % m/m. Las corridas experimentales se realizaron por triplicado.

A la calabaza fresca se le hicieron determinaciones de sólidos solubles se determinó por el método refractométrico (7) y contenido de humedad, por triplicado, mediante una termobalanza electrónica Sartorius AG, modelo MA35 (Göttingen, Alemania) a 105 °C. A los dados deshidratados se les determinó el contenido de humedad por el mismo procedimiento usado para la muestra fresca, solo que antes los dados fueron molidos en un molino para polvo modelo M20S3 (IKA, Alemania).

Los experimentos de rehidratación se hicieron en agua destilada a 100 ± 2 °C que fue constante durante todo el proceso. Las muestras de dados deshidratados se colocaron dentro de un vaso de precipitados y la relación sólido-líquido se ajustó como 1:100 (m:m). La muestra se retiró del agua, se escurrió, se midieron las tres aristas del dado para determinar una arista promedio para calcular el volumen del dado (cm^3), y se pesó en una balanza analítica Sartorius, modelo TE214S (Alemania). Este procedimiento se realizó cada 1 min durante los primeros 5 min, cada 10 min por los 30 min restantes y cada 30 min hasta completar las 2 h. Los experimentos se realizaron por triplicado y se reportaron los valores promedios (8). Además, la relación de rehidratación se calculó con la ecuación 1.

$$\text{Relación de rehidratación} = \frac{\text{Peso de muestra rehidratada}}{\text{Peso de muestra seca}} \quad (\text{ec. 1})$$

Se realizó un estudio modelado para obtener los parámetros para el comportamiento de rehidratación (8, 9). La modelación de los datos de rehidratación se hizo de acuerdo con el modelo de Peleg, que toma la forma lineal según la ecuación 2.

$$\frac{t}{Mt - M_0} = k_1 + k_2 t \quad (\text{ec. 2})$$

Donde M_t : contenido de humedad en tiempo t ; M_0 : contenido de humedad inicial; t : tiempo de rehidratación; k_1 : constante cinética; k_2 : constante característica para cada producto.

Además, se siguió el aumento del volumen de los dados deshidratados (cm^3), a cada temperatura, en el tiempo de rehidratación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la determinación del comportamiento de rehidratación de los dados de calabaza se observaron los efectos de la temperatura de secado, el tiempo de rehidratación, la cantidad de agua y su temperatura. Se observó que la absorción de agua era alta al inicio del proceso debido al llenado de capilares libres en la superficie de las muestras. Luego disminuyó gradualmente hasta que el contenido de humedad alcanzó un equilibrio y se hizo constante, es decir, que todos los espacios intercelulares quedaron saturados con agua. De esta manera la absorción de agua por parte de los tejidos del alimento deshidratado aumentó sucesivamente el volumen del mismo, junto con una salida de los sólidos desde el interior de estos tejidos. Estos resultados fueron consistentes con otras investigaciones (10-12). Los experimentos de rehidratación fueron terminados después de 2 h debido a la deformación estructural de los dados, observándose como a medida que aumenta el tiempo de rehidratación aumenta el contenido de humedad en los dados (Fig. 1). De acuerdo con la temperatura del medio rehidratante influye sobre la velocidad de rehidratación (8). Es decir, a mayor temperatura de rehidratación, más rápido aumenta el contenido de humedad

debido al gradiente de calor entre el interior del alimento y el líquido de inmersión.

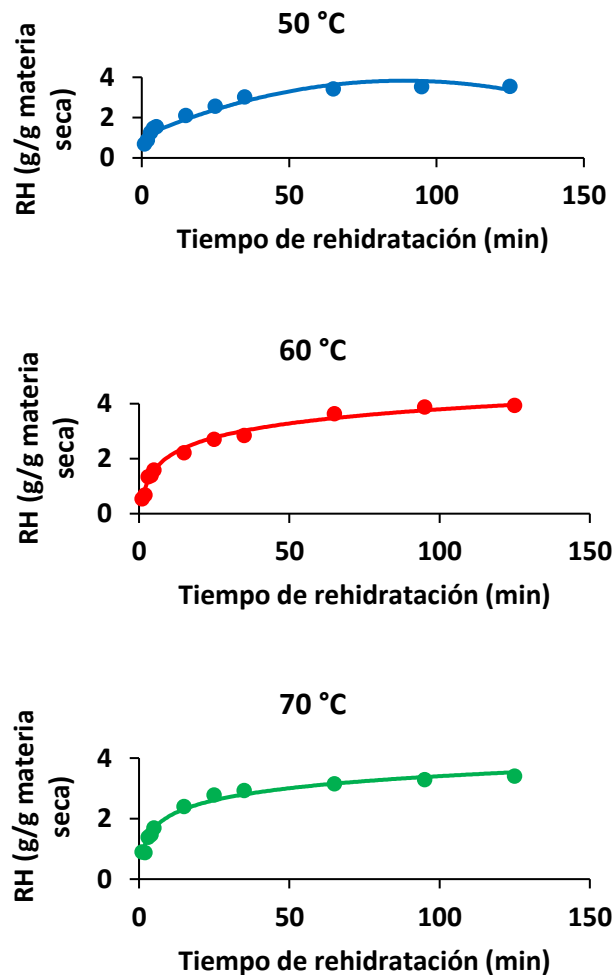


Fig. 1. Comportamiento de la rehidratación en el tiempo para las muestras secadas a distintas temperaturas.

La ecuación de Peleg es una ecuación de dos parámetros, no exponencial. Es un modelo empírico basado en la segunda ley de Fick para la descripción de las curvas de absorción de humedad (13). Este modelo ha sido utilizado debido a su simplicidad y su poder para describir adecuadamente la hidratación de varios alimentos. Las constantes de la ecuación del modelo de Peleg y los resultados estadísticos aparecen en la Tabla 1. El parámetro k_1 , es la constante cinética del modelo de Peleg, que es representativo de la tasa de absorción de agua

en la fase temprana del proceso de rehidratación. Los valores de k_1 mostraron que los experimentos de rehidratación más rápidos fueron los correspondientes a los datos secados a 60 °C. El parámetro k_2 se considera la capacidad característica del producto (14) y fue menor a 60 °C. Ha sido sugerido que este parámetro es inversamente proporcional a la capacidad de absorción de los alimentos o al equilibrio del contenido de humedad (15).

Tabla 1. Valores de los parámetros del modelo de Peleg

T (°C)	k_1	k_2	R^2	R^2_{adj}	SE
50	2,021	0,262	0,959	0,954	0,149
60	2,325	0,152	0,996	0,995	0,059
70	1,457	0,294	0,981	0,978	0,066

T: Temperatura. k_1 y k_2 son parámetros del modelo.

R^2 : coeficiente de determinación, R^2_{adj} : coeficiente de determinación ajustado.

SE: error estándar de la regresión.

De acuerdo con los datos de la Tabla 2 se observa que los experimentos de rehidratación de los dados de calabaza deshidratados por convección a 50, 60 y 70 °C tuvieron un buen ajuste al modelo de Peleg, confirmando que a medida que aumenta el tiempo de rehidratación incrementa el contenido de humedad. Los datos secados a 60 °C presentaron un mejor ajuste con $R^2 = 0,996$, por tanto, son los que presentan mayor capacidad de rehidratación (Fig. 2).

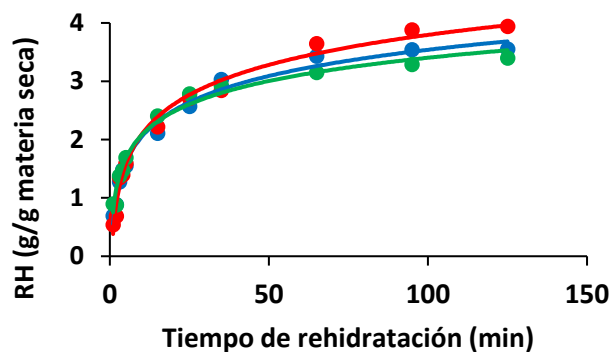


Fig. 2. Comportamiento de la rehidratación entre las tres temperaturas de secado a 50 °C (azul), 60 °C (rojo) y 70 °C (verde).

Estas diferencias de rehidratación entre los dados deshidratados pueden estar relacionadas con el daño celular, debido a que la temperatura y el tiempo pueden ser variables operacionales del secado que afectan significativamente la calidad final del producto rehidratado, dígame la estructura, el tejido y la capacidad de mantener el agua absorbida por el alimento (3). En este caso, a 50 °C el producto se somete a una temperatura menor de secado, pero durante más tiempo hasta llegar al porcentaje de humedad necesario para su conservación. Por el contrario, a 70 °C se somete a una mayor temperatura, pero a un menor tiempo de secado. Sin embargo, a 60 °C se observa como la temperatura y el tiempo de secado tienen una menor afectación en la rehidratación del dado.

Merece señalarse que los valores de k_1 y k_2 calculados en este estudio fueron superiores a los reportados ($k_1 = 0,557$ y $k_2 = 0,147$) para rodajas de calabaza *C. moschata* en secado convectivo a 80 °C (8). Estas diferencias pueden ser explicadas por lo discutido anteriormente.

En el proceso de la rehidratación existen tres procesos simultáneos: absorción de agua dentro del material deshidratado, lixiviación de solutos e hinchamiento del material, donde el volumen del producto deshidratado es proporcional a la cantidad de agua absorbida, aumentando o recuperando su volumen inicial (3).

La Fig. 3 muestra el aumento del volumen de los dados de calabaza deshidratados a 50, 60 y 70 °C en el tiempo de rehidratación. Cada punto representa el volumen del dado para las tres temperaturas de secado. Al final de los experimentos de rehidratación los dados alcanzaron un volumen de 1 cm³, por lo que volvieron al volumen inicial del producto fresco.

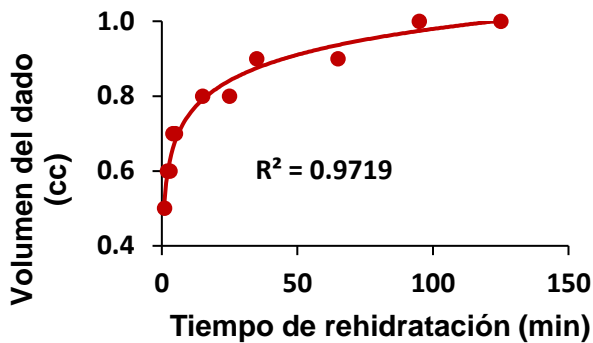


Fig. 3. Variación del volumen de los dados deshidratados en función del tiempo de rehidratación.

CONCLUSIONES

La rehidratación de los dados de calabaza deshidratados por convección a 50, 60 y 70 °C tuvieron un buen ajuste al modelo de Peleg, presentando el mejor ajuste los dados de calabaza secados a 60 °C. El volumen de los dados aumentó en el tiempo de rehidratación hasta recuperar su volumen inicial de 1 cm³.

REFERENCIAS

- Ratti C. Hot air and freeze-drying hot-value foods: a review. *Jour Food Eng* 2001; 49:311-9.
- Marabi A, Jacobson M, Livings SJ, Saguy IS. Effect of mixing and viscosity on rehydration of dry food particulates. *Euro Food Res Techn* 2004; 218:339-4.
- Marín EB, Lemus RM, Flores VM, Vega AG. La rehidratación de alimentos deshidratados. *Rev Chil Nutr* 2006; 33(3):527-38.
- Vega A, Lemus R. Modelado de la cinética de secado de la papaya chilena (*Vasconcellea pubescens*). *Rev Inform Tecn* 2006; 27(3):23-31.
- Vega A. Estudio de la deshidratación y rehidratación del pimiento rojo (*Capsicum annuum* L.) (tesis doctoral). Departamento de Tecnología de los Alimentos, Universidad Politécnica de Valencia, España; 2003.
- Panato K, Olivera C. (2021). Drying kinetics and physicochemical and technological properties of pumpkin purée flour dried by convective and foam-mat drying. *Jour Food Proc Preser* 2021; 46(2):1-14.
- NC-ISO 2173. Productos de frutas y vegetales. Determinación del contenido de sólidos solubles. Código refractométrico, Cuba; 2001.
- Caliskan G, Dirim SN. Drying characteristics of pumpkin (*Cucurbita moschata*) slices in convective and freeze dryer. *Heat Mass Trans* 2017; 53(6):2129-41.
- Almazán V. Aprovechamiento de la calabaza de castilla (*Cucurbita moschata*) para la elaboración de productos alimenticios. Ciudad de México: Instituto Politécnico Nacional, 2019.
- Meda L, Ratti C. Rehydration of freeze-dried strawberries at varying temperatures. *Jour Food Proc Eng* 2005; 28(3):233-46.
- Marques L, Prado M, Freire J. Rehydration characteristics of freeze-dried tropical fruits. *LWT Food Scie Techn* 2009; 42:1232-7.
- Balasubramanian S, Sharma R, Gupta R, Patil R. Validation of drying models and rehydration characteristic of betel (*Piper betel* L.) leaves. *Jour Food Scie Techn* 2011; 8(6):685-91.
- Goula A, Adamopoulos K. Modeling the rehydration process of dried tomato. *Dry Techn* 2009; 27(10), 1078-88.
- Peleg M. An empirical model for the description of moisture sorption curves. *Jour Food Scie* 1988; 53:1216-9.
- Solomon W. Hydration kinetics of lupin (*Lupines albus*) seeds. *Jour Food Proc Eng* 2007; 30:119-30.