

ARTÍCULO 3

Recibido: 22/4/2022

Aprobado: 6/6/2022

Determinantes del tiempo y humedad de equilibrio en la deshidratación osmótica de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.)

*Determinants of time and moisture equilibrium in the osmotic dehydration of aguaymanto (*Physalis peruviana* L.)*

Oliver Taype Landeo (<http://orcid.org/0000-0003-4197-1164>)¹, Peter Llimpe Perez (<http://orcid.org/0000-0003-2422-6250>)², Sandy Vialid Yauricasa Tornero (<http://orcid.org/0000-0002-2793-5522>)³, Estephany Katterine Crisanto Soto (<http://orcid.org/0000-0002-1790-7552>)⁴

^{1,2,3} Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial/Facultad de Ciencias Agrarias/Universidad Nacional de Huancavelica/Común Era-Acobamba-Huancavelica.

⁴ Ingeniería Agroindustrial e Industrias Alimentarias/Facultad de Ingeniería Industrial/Universidad Nacional de Piura/Piura.

Correspondencia del autor(es): oliver.taipe@unh.edu.pe¹.

Resumen

El aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) es un fruto exótico de los andes del Perú, muy apreciada por su sabor característico propia y sus compuestos biofuncionales. El objetivo fue determinar el tiempo de equilibrio de pérdida de humedad durante la deshidratación osmótica de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.). Metodología fue caracterizar fisicoquímica, anunciando el modelo de Peleg sobre pérdida de humedad en %H versus los tiempos t , ajuste de modelo polinómico cuadrático. Resultados, el modelo polinómico de pérdida de humedad en %H para un tiempo t , con mayor ajuste fue 60 °Brix y 40 °C ($R^2 > 0,8296$). La ecuación de Peleg se ajustó a ($R^2 > 0,9805$) pérdida de humedad en %H versus los tiempos t , con los coeficientes K_1 y K_2 de Peleg se obtuvo la mayor velocidad inicial de transferencia de agua ($1/K_1$) con un valor de 1,784 min/% a 60 °Brix y 50 °C y la menor humedad de equilibrio ($H_0 + 1/K_2$) con 22,76% a 60 °Brix y 50 °C. Concluyendo la determinación de tiempo de equilibrio y la humedad de equilibrio presentó significativamente con la aplicación del modelo de Peleg siendo muy práctico en establecer la temperatura que influye en tiempo de equilibrio y humedad de equilibrio, en la deshidratación osmótica.

Palabras clave: Carotenoides, Humedad de equilibrio, Modelo Peleg, Temperatura.

Abstract

Aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) is an exotic fruit from the Andes of Peru, highly appreciated for its own characteristic flavor and its biofunctional compounds. The objective was to determine the equilibrium time of moisture loss during osmotic dehydration of aguaymanto (*Physalis peruviana* L.). Methodology was to characterize physical chemistry, announcing Peleg's model on moisture loss in %H versus times t , adjustment of quadratic polynomial model. Results, the polynomial model of moisture loss in %H for a time t , with the best fit was 60 °Brix and 40 °C ($R^2 > 0.8296$). Peleg's equation was adjusted to ($R^2 > 0.9805$) moisture loss in %H versus times t , with Peleg's K_1 and K_2 coefficients, the highest initial water transfer rate ($1/K_1$) was obtained with a value of 1.784 min/% at 60 °Brix and 50 °C and the lowest equilibrium humidity ($H_0 + 1/K_2$) with 22.76% at 60 °Brix and 50 °C. Concluding the determination of equilibrium time and equilibrium humidity, it was significantly presented with the application of the Peleg model, being very practical in establishing the temperature that influences equilibrium time and equilibrium humidity, in osmotic dehydration.

Key words: Carotenoids, Equilibrium Humidity, Peleg Model, Temperature.

1. Introducción

El aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) es una fruta tropical exótica de los Andes Sudamericanos; conocida también por los pobladores de Acobamba – Huancavelica, con la denominación de Puchi puchi (*Physalis peruviana* L.) a este fruto exótico andino, que es considerada delicatessen y muy admitida por los consumidores, tienen propiedades compuestas, especialmente en el comercio internacional que conducen a un precio alto, gracias a sus bondades, aceptabilidad y valor nutritivo, como el ácido ascórbico (vitamina C), el β -caroteno (provitamina A), el complejo B, la fibra, la fructosa y el fenólico, presentan efectos anticancerígenos al atrapar los radicales libres, mejorando la protección antioxidante celular (Encina et al., 2007; Leites, 2013; Peña, et al., 2013; Ramadan, 2011; Guevara, et al., 2018) una elección excelente para los alimentos biofuncionales gracias a una composición de minerales y vitaminas, mejorando el valor nutritivo (Peña, et al., 2013). El aguaymanto es el principal cultivo de exportación que está ubicado en el segundo lugar agroexportable (Ramadan, 2011).

Es importante que las empresas de alimentos conozcan el tiempo de deshidratado en términos de humedad y tiempo de equilibrio, ya que esta información ayudaría a las empresas de alimentos en comprender la optimización del secado y sus beneficios, así como la osmodeshidratación y el secado por aire caliente.

El deshidratado es un método osmótico ampliamente utilizado y es un paso importante para reducir la menor pérdida de nutrientes y mejorar la calidad del producto final (Tonon et al., 2007; Hui et al., 2012).

El deshidratado osmótico prolongado con solución hipertónica conduce a un aumento en el volumen de frutas y verduras, que es directamente proporcional al tiempo de la inmersión. Este proceso osmótico degrada mínimamente favoreciendo en mantener el color original de la fruta (Urfalino, D. 2014). Este proceso implica sumergir entera

o trozos la fruta en una solución concentrada de la sustancia compatible procesado, estableciendo dos flujos en contra corriente (agua y solvente) que de alguna manera absorben el agua de las células para eliminar de la fruta, haciendo el ingreso de sacarosa al tejido celular y expulsando el agua hasta alcanzar el equilibrio en el sistema (Osorio et al., 2007; Nowacka et al., 2014).

Al aumentar la concentración de la solución osmótica preparada y mantener una temperatura estable, la humedad de equilibrio disminuye, por lo tanto, la humedad de equilibrio es mixta por los efectos de la temperatura (Corzo & Bracho, 2006).

La ecuación de Peleg es un modelo de predicción del contenido de humedad y peso de frutos deshidratados bajo la acción osmótica de la sacarosa concentrada a 40 °Brix y 50 °Brix así mismo a una temperatura de 40 °C y 50 °C. Aunque el efecto osmótico es estable, la resistencia al agua y las diferentes presiones según el Modelo de Arrhenius. El contenido de humedad y el peso en equilibrio, determinados a partir del Modelo de Peleg, se pueden predecir mediante una función de la concentración y la temperatura de la solución osmótica. De manera similar utilizaron el Modelo de Peleg para mostrar no existe estudios de fluido osmótico y la fruta empleando la técnica de Modelo de Peleg (Corzo, et al., 2008). El objetivo del presente trabajo fue determinar el tiempo de equilibrio en la deshidratación osmótica de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.)

2. Materiales y métodos

2.1. Ámbito de estudio

La fruta de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) se adquirieron de la provincia de Acobamba - Huancavelica, realizándose la caracterización fisicoquímica, el proceso de deshidratación osmótica, la determinación de tiempo de equilibrio y la humedad de equilibrio. Todos los análisis se realizaron en el Laboratorio de Procesos Agroindustriales.

triales 01 de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, de la Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de Huancavelica.

2.2. Selección y preparación del material vegetal

Los aguaymantos (*Physalis peruviana* L.) se recolectaron en condición maduro, se sometió a descapulado, lavado, pesado en 4000 mg, medido en diámetros de 17 mm, pelado.

Los aguaymantos se pesaron cada uno empleando el uso de una balanza analítica (Marca Mettler Toledo, Modelo: PB4002-S, precisión $\pm 0,001$ g). Para determinar el diámetro de cada aguaymanto, se realizó por medida de un pie de rey en una unidad de medida de mm. Ambos análisis se realizaron a una temperatura ambiental de $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

Mientras la caracterización fisicoquímica (Tabla 1) se determinó mediante la técnica de AOAC (1990)

Características	Valor	Unidades
Humedad	78,1	%
Solidos Solubles	14,7	°Brix
Diámetro	17,0	mm

Tabla 1. Composición fisicoquímica de la esfera de aguaymanto.

*Valor determinado de 5 promedios

2.3. Tratamientos

Se realizaron cuatro tratamientos, que se manejan concentraciones de jarabe preparada a 40 °Brix y 60 °Bx con refractómetro digital (Marca: HANNA, Modelo: HI96801, Escala 0 a 85 °Brix) y las temperaturas de 40 °C y 50 °C verificado con termómetro digital (termómetro de mercurio con rango de menos 10 a más 420 °C), realizándose

se la inmersión en el jarabe (solución de sacarosa) a las esferas de aguaymanto en un deshidratador osmótico diseñado y controlando el tiempo de inmersión (5 minutos, 10 minutos).

2.3.1. Deshidratación osmótica

Luego fueron deshidratadas en una relación de fruta y jarabe equivalente a 1:3 (aguaymanto: jarabe).

En el proceso de deshidratación osmótica se seleccionaron al azar las esferas de aguaymanto para determinar el peso y la humedad; de cada grupo experimental se extrajo cada 20 minutos. La solución osmótica se almacenó en un equipo de deshidratador osmótico circular con adjunto del motor en la tapa superior para la agitación con 200 rpm, con el fin de mantener constante y homogénea la solución osmótica durante el proceso de deshidratación osmótica y verificando los °Brix de la concentración de sacarosa con el refractómetro digital (Marca: HANNA, Modelo: HI96801, Escala 0 a 85 °Brix).

Para el siguiente experimento se bajó las revoluciones y los voltios, trabajándose con 110 V y con una agitación constante de 406 rpm. Se utilizaron diferentes temperaturas (40 y 50 °C) y concentraciones de solución osmótica (40 y 60 °Brix).

Para determinar cada tratamiento el tiempo de equilibrio y Modelo de Peleg se realizó con dos repeticiones y como se indica a continuación:

2.3.1.1. Tiempo de equilibrio:

Se determinó derivando las ecuaciones polinómicas de evolución de la humedad (Ecuación 1).

$$\%H = a - bt + ct^2 \quad \text{Ec. (1)}$$

Ecuación 1.

Donde: %H = Pérdida de humedad; t = Tiempo; a, b y c = Coeficiente del polinomio, respectivamente.

2.3.1.2. *Modelo de Peleg:*

La pérdida de humedad en el producto se modeló mediante la ecuación propuesta por Peleg (1988).

$$\frac{t}{H_w - H_{w0}} = K_1 + K_2 t \quad \text{Ec. (2)}$$

Ecuacion 2.

Donde: t = Tiempo de deshidratación osmótica; H_w = Contenido de humedad a tiempo t; H_{w0} = Contenido de humedad inicial; K_1, K_2 = Parámetros del modelo.

2.3.1.3. Humedad de equilibrio de Peleg:

Mediante el Modelo de Peleg se determinó la humedad de equilibrio haciendo y se encontró la relación con K_2 .

$$H_{we} = H_{w0} \pm \frac{1}{K_2} \quad \text{Ec. (3)}$$

Ecuacion 3.

Donde: H_{we} = Humedad de equilibrio; H_{w0} = Humedad inicial.

3. Resultados y discusiones

3.1. Tiempo de equilibrio en la pérdida de humedad en aguaymanto.

En la Tabla 2, se muestra el resumen de los valores del tiempo de equilibrio para cada tratamiento donde se observa un tiempo mínimo de 318 minutos del T3 (60 °Brix y 40 °C), seguido de 349 minutos del T4 (60 °Brix y 50 °C) respectivamente. Esto indica que cuanto mayor sea la temperatura y la consistencia de la solución osmótica, el tiempo de deshidratación será en menor tiempo (Arreola, & Rosas, 2007; Genina, & Altamirano, 2005).

Concentración	temperatura	Modelo Matematico	tiempo (min)	%H
60° Brix	50°C	%H=60,61-02092t+3x10 ⁻⁴ t ²	349	24,1435
	40°C	%H=61,496-0,1907t+3x10 ⁻⁴ t ²	318	31,1906
40° Brix	50°C	%H=67,23-0,1432t+2x10 ⁻⁴ t ²	358	41,5972
	40°C	%H=69,238-0,1206t+1x10 ⁻⁴ t ²	603	32,8771

Tabla 2. Tiempo de equilibrio de pérdida de humedad.

3.2. Parámetros del modelo de Peleg.

En la Tabla 3, se presentan valores de K_1 y K_2 de los valores experimentales ajustados al Modelo Peleg.

Cuando se aplicó el Modelo de Peleg para T2 (40°Brix y 50°C) con valores de R2 superiores a 0,9731 y 0,9287, se obtuvieron resultados positivos, indicando que se utilizaron para corte de papa. Valores de R2 de 0,9714 a 30% sacarosa y 10% sal, 0,9934 a 20% sacarosa y 10% sal (Della, 2010). La deshidratación osmótica de rodajas de Manzana presentó un buen ajuste al aplicar el Modelo de Peleg con valor de R² = 0,99 (Contreras, C. 2007). El Modelo de Peleg es mejor en el modelamiento con resultados significativos de R² = 0,98, que es un buen modelo para todos los procesos en salida del agua (Moreira, & Xidieh, 2004). El componente de deshidratación osmótica de la lámina de Mamey el contenido de humedad y el peso en concentraciones osmóticas de 40 a 50 °Brix y una temperatura de 40 a 50 °C. El valor del coeficiente de diagnóstico (R²) oscila entre 0,987 y 0,999 con un valor de p menor a 0,0001 (Corzo, et al., 2008).

Concentración	temperatura	K ₁ (%/min)	K ₂ (1/%)	R ²
60° Brix	50°C	-0,5062	-0,0104	0,9287
	40°C	-0,5183	-0,0032	0,8296
40° Brix	50°C	0,5145	-0,007	0,9731
	40°C	0,3891	-0,0023	0,8735

Tabla 3. Parámetros del Modelo de Peleg para la pérdida de humedad.

3.3. Velocidad inicial de transferencia de agua y humedad de equilibrio.

Con la aplicación del modelado de Peleg, se ajusta mejor el tiempo de equilibrio sobre la pérdida de humedad en 24,1435% a 60 °Brix y 50 °C de T4, respecto a la humedad de equilibrio.

La humedad de equilibrio con ajustes experimentales es de 70°C, lo que proporciona un conjunto de datos para la prueba de 70° Brix. La comparación lineal de datos suele dar resultados satisfactorios superiores a 0,9. Los modelos Rastogi y Raghavarao también se han utilizado ampliamente para determinar el equilibrio de humedad (Leites, C. 2013). En la deshidratación osmótica, determinado la humedad de equilibrio a una concentración de 50 °Brix y temperatura de 50 °C, una humedad de equilibrio de 1,106 (g/g db) en láminas de mamey. Mediante la concentración y la temperatura de la solución osmótica se puede anunciar el contenido de humedad y el peso en equilibrio, concluyentes a partir del Modelo de Peleg (Corzo, *et al.*, 2008).

Los modelos de Peleg y Page mostraron un mejor ajuste para pérdida de difusión de agua y ganancia de difusión de sólidos solubles con valores de R² superiores a 0,98 y 0,87 respectivamente. Se determinaron los valores de difusividad y energía de activación para pérdida de difusión de agua y ganancia de difusión de sólidos solubles (Guevara, *et al.*, 2018).

Concentracion	temperatura	1/K ₁ (min/%)	H _e (%)
60° Brix	50°C	1,784	22,76
	40°C	1,616	26,42
40° Brix	50°C	1,222	40,68
	40°C	0,744	41,88

Tabla 4. Velocidad inicial de transferencia de agua (1/K₁) y humedad de equilibrio (H_e).

4. Conclusiones

- ⊙ La determinación de tiempo de equilibrio y la humedad de equilibrio presentó significativamente con la aplicación del Modelo de Peleg siendo muy versátil en establecer la temperatura que influye en tiempo de equilibrio y humedad de equilibrio, en la deshidratación osmótica sobre las esferas de aguaymanto deshidratada osmóticamente a temperaturas de 40 °C y 50 °C y concentración de 40 °Brix y 50 °Brix.
- ⊙ La pérdida de agua de los tejidos vegetales del aguaymanto, hace la reducción de peso, debido a mayor temperatura, existe mayor ganancia de soluto, con la influencia de concentración de solución osmótica. Así mismo se recomienda comprobar otros modelos matemáticos en la deshidratación osmótica de frutas.

5. Bibliografía

- 📖 AOAC. (1990). Official Methods of Analysis. (15th ed.). Washington, D.C.: Association of Official Analytical Chemists.
- 📖 Arreola, S. & Rosas, M. (2007). Aplicación de Vacío en la Deshidratación Osmótica de Higos (*Ficus carica*). Revista Información Tecnológica. Vol. 18. Núm. 2. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. Estado de México.
- 📖 Contreras, C. (2007). Influencia del Método de Secado en Parámetros de Calidad Relacionados con la Estructura y el Color de Manzana y Fresa Deshidratada. [Tesis Doctoral]. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia – España.

- ◻ Corzo, O., & Bracho, N. (2006). Application of Peleg Model to Study mass Transfer During Osmotic Dehydration of Sardine Sheets. *Journal of Food Engineering*. Vol. 75. Núm. 4. Pág. 535-541.
- ◻ Corzo, O., Ramírez, O., Brach, N. (2008). Aplicación del Modelo de Peleg en el Estudio de la Transferencia de Masa Durante la Deshidratación Osmótica de Láminas de Mamey (*Mammea americana* L.) Saber. *Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente, Cumaná - Venezuela*. Vol. 20, núm. 1. Pág. 87-95.
- ◻ Della, P. (2010). Secado de Alimentos por Métodos Combinados: Deshidratación Osmótica y Secado por Microondas y Aire Caliente. [Tesis de Grado]. *Tecnología de los Alimentos*. Facultad Regional Buenos aires. Universidad Tecnológica Nacional. Buenos aires – Argentina.
- ◻ Encina, C., Ureña, M., & Repo, P. (2007). Determinación de Compuestos Bioactivos del Aguaymanto (*Physalis peruviana*, Linnaeus, 1753) y de su Conserva en Almíbar Maximizando la Retención de Ácido Ascórbico. *ECIPERU* 4. Vol. 1. Pág. 6-10.
- ◻ Genina, P. & Altamirano, S. (2005). Deshidratación Osmótica de Prismas de Camote, Manzana y Papa. *Revista Internacional*. Vol. 30. Núm, 8. Universidad Nacional Autónoma de México. México – México.
- ◻ Guevara, C., Arango, O. & Osorio, O. (2018). Kinetics of Ultrasonic Osmotic Dehydration of *Physalis*. *Universidad de Nariño sede Torobajo*. Nariño – Colombia. Pág. 11 – 17.
- ◻ Hui, L., Cuiping, Z., Yunhan, G., Kejing, A., Shenghua, D. & Zhengfu, W. (2012). Mass Transfer Evaluation of Ultrasonic Osmotic Dehydration of Cherry Tomatoes in Sucrose and Sal Solutions. *International Journal of Food Science and Technology* 47(5):954-960
- ◻ Leites, C. (2013). Avaliação da Influência da Temperatura e da Concentração da Solução de Sacarose na Desidratação Osmótica de *Physalis* (*Physalis peruviana* L.). *Escola de Engenharia – Universidade Federal Do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre – Brasil.
- ◻ Moerira, P. & Xidieh, F. (2004). Mass Transfer Kinetics of Osmotic Dehydration of Cherry Tomato. *Department of Food Engineering, College of Food Engineering, State University of Campinas*. Brasil. Pág. 291 – 295.
- ◻ Nowacka, M., Tylewicz, U., Laghi, L., Dalla, M. & Witrowa, D. (2014). Effect of Ultrasound Treatment on the Water State in Kiwifruit During Osmotic Dehydration. *Food Chemistry*. Pág. 144:18-25.
- ◻ Osorio, C., Franco, M., Castaño, M., González, M., Heredia, F. & Morales, A. (2007). Colour and Flavour Changes During Osmotic Dehydration of Fruits. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. Vol. 8, núm. 3. Pág. 353-359.
- ◻ Peleg, M. (1988). An Empirical Model for the Description of Moisture Sorption Curves. *Journal of Food Science* 53. Pág. 1216-1219.

- Peña, R., Cortés, M. & Gil, J. (2013). Estabilidad Fisicoquímica y Funcional de Uchuva (*Physalis peruviana* L.) Impregnada a Vacío con Calcio y Vitaminas B9, D y E, Durante el Almacenamiento Refrigerado. *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*, Universidad Nacional de Colombia Medellín, Colombia. Vol. 66, núm. 1. Pág. 6929-6938.
- Ramadan, M. (2011). Bioactive Phytochemicals, Nutritional Value, and Functional Properties of Cape Gooseberry (*Physalis peruviana*): An Overview, *Food Research International*. Vol 44. Núm. 4. Pág. 183-1836
- Tonon, R., BARONI, A. & HUBINGER, M., (2007). Osmotic Dehydration of Tomato in Ternary Solutions: Influence of Process Variables on Mass Transfer Kinetics and an Evaluation of the Retention of Carotenoids. *Journal of Food Engineering*, Vol. 82, núm 4. Pág. 509-517.
- Urfalino, D.P. (2014). Ajuste de Tiempos de Inmersión en Técnicas Combinadas de Deshidratado de Duraznos RIA. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Buenos Aires, Argentina. Vol. 40, núm. 1. Pág. 67-74