

Application of Peleg model in osmotic dehydration of *Smallanthus sonchifolius*

Aplicación del modelo de Peleg en la deshidratación osmótica al vacío de *Smallanthus sonchifolius*

Jimy Oblitas-Cruz M.Sc¹. and Yuleyci Cieza-Rimarachin²,

¹ Universidad Privada del Norte., Perú, jimy.oblitas@upn.edu.pe

² Universidad Nacional de Cajamarca, Perú, yciezar16_1@unc.edu.pe

INTRODUCCIÓN

Abstract– The applicability of Peleg model to predict mass transfer kinetics during the osmotic dehydration (OD) process of yacón was investigated by using 3 different concentrations of sucrose solution, 3 vacuum pressures, 3 temperatures and 9 times. When analyzing the effect on solids gain, it shows a linear effect over time, while the other parameters show quadratic effects. Similarly, the loss of water continues to have a linear trend as a function of time, while for the other parameters there is a decreasing behavior as temperature, concentration and pressure increase. The equilibrium values predicted by the Peleg equation were very close to the experimental ones, with values of $R^2 > 0.98$. Regarding the Peleg's rate constants, the results showed that that K1 was significantly ($p < 0.05$) affected as the concentration of ... and the temperature were increased. With regard to K2, this constant was significantly affected ($p < 0.05$) by increasing the values of the three studied parameters, probably due to the phenomena of cellular relation because of the effect of pressure with the consequent increase of the volume.

Keywords-- osmotic dehydration; yacón; kinetics; Peleg model.

Resumen- Se investigó la aplicabilidad del modelo de Peleg para predecir la cinética de transferencia de masa durante el proceso de deshidratación osmótica (DO) de yacón, usando 3 diferentes concentraciones de solución de sacarosa, 3 presiones de vacío, 3 temperaturas y 9 tiempos. Al analizar el efecto en la ganancia de sólidos, ésta muestra un efecto lineal en función del tiempo, mientras que los demás parámetros muestran efectos cuadráticos. Similarmente, la pérdida de agua sigue tiene una tendencia lineal en función del tiempo, mientras que para los demás parámetros se da un comportamiento de disminución conforme aumenta la temperatura, concentración y presión. Los valores de equilibrio predichos por la ecuación de Peleg fueron muy cercanos a los experimentales, con valores de $R^2 > 0.98$. Referente a las constantes de Peleg, los resultados mostraron que K1 fue afectado significativamente ($p < 0.05$) al incrementar la Concentración de solución osmótica (sacarosa) y la temperatura del proceso. Respecto a K2, esta constante fue significativamente ($p < 0.05$) afectando los tres parámetros de estudio, probablemente debido a los fenómenos de relación celular por efecto de la presión con el consecuente aumento de volumen

Palabras clave: Deshidratación osmótica; yacón; cinética; modelo de Peleg

I.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.70>

ISBN: 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

El yacón (*Smallanthus sonchifolius*) es una fuente conocida de prebióticos (fructooligosacáridos (FOS) e inulina) y compuestos fenólicos beneficiosos para la microbiota intestinal y la modulación de la respuesta inmune intestinal [1]. Los FOS y la inulina son oligómeros de fructosa compuestos principalmente de enlaces α (2 \rightarrow 1) o β (2 \rightarrow 6) que no son hidrolizados por las enzimas digestivas humanas, por lo que permanecen intactos en el colon. Como resultado, estos fructanos sirven como sustratos fermentables para bacterias probióticas [2].

Normalmente siempre se ha relacionado al consumo de yacón a un público afectado por la diabetes, pero sus beneficios pueden darse en personas sanas. Estudios muestran que personas sanas que consumen FOS pueden tener ciertos efectos en el apetito a corto plazo [3], por lo que tener productos alternativos a base de yacón podría incentivar su consumo, lo cual contribuiría a mejorar la absorción de minerales y el metabolismo gastrointestinal.

Investigaciones en yacón demuestran que éste tubérculo se puede consumir como solo o como ingrediente en otro alimento [4], aumentando la ingesta total de fibra, lo cual podría ayudar a aumentar la saciedad y, en consecuencia, ser útil en el manejo o en el control de la alta prevalencia actual de obesidad y sobrepeso [5].

En este contexto uno de los principales retos en el procesamiento del yacón es poder darle tratamientos que prevengan problemas como el estrés térmico. La deshidratación osmótica (DO) es un tratamiento que preserva la constitución celular de los alimentos al prevenir el estrés, debido a la presencia de iones calcio que contrarrestan el efecto de ablandamiento generado por la DO. [6].

La deshidratación osmótica implica la inserción de solutos proveniente de una solución hipertónica, de manera que se genera una diferencia de potencial químico [7]. Este proceso se ha usado en numerosos productos como ciruelas [8], kiwi [9] y yacón [10]. El conocimiento de la cinética de pérdida de agua y la transferencia de solutos durante el proceso de deshidratación osmótica tiene un significado tecnológico, ya que puede contribuir a reducir el tiempo y la temperatura utilizados en los procesos de secado convencionales.

Numerosos estudios están investigando la aplicación del modelo de Peleg para el modelado de la transferencia de masa en el proceso de deshidratación osmótica y para la determinación de los coeficientes de difusión de agua y contenidos sólidos solubles [11], por ello la presente investigación tiene como objetivo evaluar el efecto de la concentración de soluto (sacarosa), la presión y temperatura del medio en la cinética de deshidratación osmótica del yacón aplicando el modelo de Peleg.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Población y muestra

La población para el presente trabajo de investigación fue representada por la materia prima que es el Yacón (*Smallanthus Sonchifolius*), procedente del distrito de Jesús del Departamento de Cajamarca. Para las muestras se preparó 1 Kg de Yacón seleccionándolo de acuerdo a su estado de madurez y tamaño, descartando aquellos que presentaron daños mecánicos y biológicos. Una vez seleccionados, se procedió a lavarlos para retirar la tierra impregnada, luego se pelaron y se cortaron en cubos de 3 x 3 cm.

2.2. Deshidratación Osmótica

El proceso de deshidratación osmótica y de impregnación a vacío de las muestras de yacón se llevó a cabo en un equipo deshidratador conformado por un recipiente de acero inoxidable de 3 litros de capacidad, el cual, estuvo conectado a una bomba de vacío y a un vacuómetro que permitió controlar la presión de trabajo. Se trabajó con tres concentraciones de sacarosa (20, 30 y 40° Brix), tres diferentes presiones (100, 200 y 300 mbar) y temperaturas (30 °C, 40 °C y 50 °C), se ordenó las experiencias de manera aleatoria bajo un modelo factorial multinivel (3 concentraciones, 3 temperaturas, 3 presiones y 9 tiempos), realizándose 2 repeticiones experimentales. El procedimiento para la impregnación del soluto fue el siguiente: (a) los cubos de yacón se colocaron dentro de la solución de sacarosa, se aplicó la presión de vacío respectiva por 10 minutos y el medio se calentó a la temperatura de trabajo utilizando un equipo de baño María marca Memmert WNB29. (b) Una vez terminado el tiempo de vacío, para todas las muestras se aplicó 10 minutos de relajación a presión atmosférica. Durante el proceso de impregnación (osmosis) a cada cierto tiempo (10, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 150 minutos) se tomaron muestras, las cuales fueron secadas con papel absorbente para eliminar la mayor cantidad de la solución de ... adherido a la superficie de los cubos. (c) Posteriormente, se procedió a realizar el pesado de la muestra en una balanza analítica marca Sartorius y se procedió a determinar su humedad mediante el método AOAC [12], pérdida de agua y el contenido de sólidos solubles (°Brix) con un refractómetro digital marca Hanna.

La reducción de peso (M_t), la pérdida de agua (M_t^W) y la ganancia de sólidos solubles en el tiempo t (M_t^{SSG}) se determinaron y se describieron utilizando las ecuaciones siguientes. [13]:

$$\Delta M_t = \frac{(M_t - M_0)}{M_0} \quad (1)$$

$$\Delta M_t^W = \frac{(M_t)(x_t^W) - (M_0)(x_0^W)}{M_0} \quad (2)$$

$$\Delta M_t^{SSG} = \frac{(M_t)(x_t^{SSG}) - (M_0)(x_0^{SSG})}{M_0} \quad (3)$$

Dónde Δ es la diferencia de peso de la muestra en el tiempo t , M es el peso de la muestra (g) y X es la fracción de masa inicial de la muestra (g/g) obtenida de la división de la masa seca inicial sobre la masa total. El subíndice t se refiere al tiempo y superíndice W a la masa húmeda y SSG a sólidos solubles.

2.3. Evaluación de cinética de pérdida de peso y ganancia de soluto por el modelo de Peleg

Uno de los modelos empíricos más usados en la modelización de la transferencia de masa en DO es el de Peleg [14], el cual se muestra en la ecuación 4. La ecuación reordenada se representa en la ecuación 5:

$$M_t = M_0 \pm \frac{t}{K_1 + K_2 t} \quad (4)$$

$$\frac{t}{M - M_0} = K_1 \pm K_2 t \quad (5)$$

Donde M_t es el contenido de humedad expresado en base seca en el tiempo t , M_0 es el contenido de humedad inicial expresado en base seca, K_1 es la constante de velocidad de Peleg y K_2 es la constante de capacidad de Peleg. En este sentido, las constantes de la ecuación de Peleg's se obtuvieron mediante la regresión lineal de los resultados experimentales utilizando el software STATISTICA versión 12.0.

2.4. Análisis estadístico

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software STATISTICA. Un análisis de varianza (ANOVA) fue utilizado para detectar diferencias significativas entre los tratamientos a un nivel de significancia del 5% ($p < 0.05$). Para ajustar los datos experimentales, se aplicó el método factorial multinivel completo para observar las zonas de influencia de cada variable.

III. RESULTADOS

3.1. Evaluación del efecto de los parámetros del proceso en la pérdida de agua y ganancia de sólidos.

La variación de la pérdida de agua y ganancia de sólidos en función del tiempo de inmersión evaluados a diferentes concentraciones de sacarosa, temperaturas y presiones de vacío, tuvieron diversos efectos, los cuales se muestran en la figura 1:

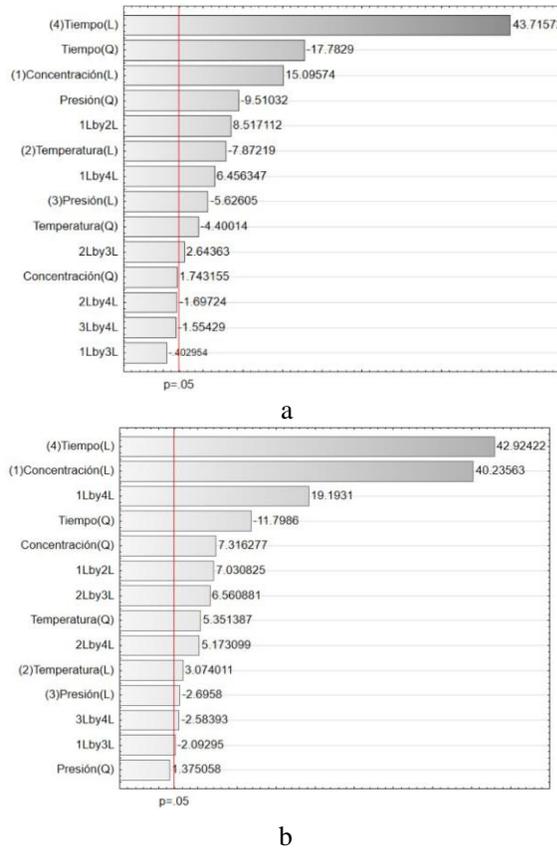
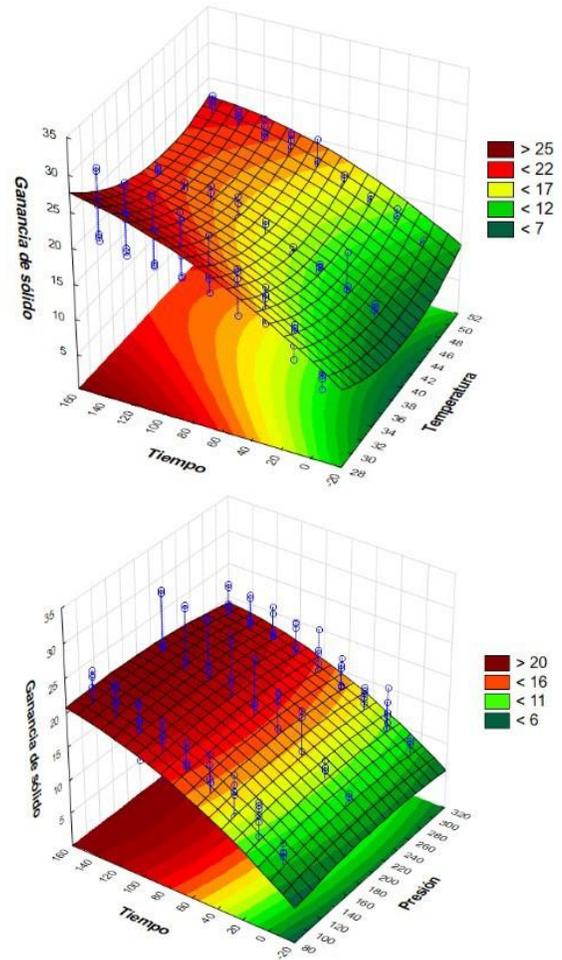


Fig. 1. Efectos estandarizados para (a) Pérdida de agua y (b) Ganancia de sólidos

La figura 1a muestra el gráfico de Pareto estandarizado ($p < 0.05$) donde se observa que las variables evaluadas (tiempo, concentración de solución osmótica, presión y temperatura) tienen un efecto significativo en la pérdida de agua en los cubos de yacón, además se muestra que el ajuste al modelo seleccionado es de $R^2 = 96.45\%$. Similarmente, en la figura 1b ($R^2 = 93.12\%$) se evalúa las mismas variables para evaluar el efecto en la ganancia de sólidos, mostrando que todas ellas ejercen un efecto significativo. El tiempo fue el principal parámetro para el cambio en ambas condiciones de pérdida de agua y ganancia de sólidos, seguido por la concentración de la solución osmótica, temperatura y la presión. En temas tecnológicos es importante observar que los agentes osmóticos siempre resultan siendo el principal parámetro que generan la deshidratación osmótica y la inclusión de sólidos en la matriz del alimento [15], en nuestro caso se evaluó la sacarosa que ya se ha visto su efectividad sobre otros azúcares como fructosa o glucosa [9], produciendo una mayor pérdida de agua.

Las superficies de respuesta generadas en el análisis de los parámetros de estudio se muestran en la Figura 2 y 3. Se observa claramente un efecto cuadrático de las variables temperatura, presión y concentración de solución osmótica

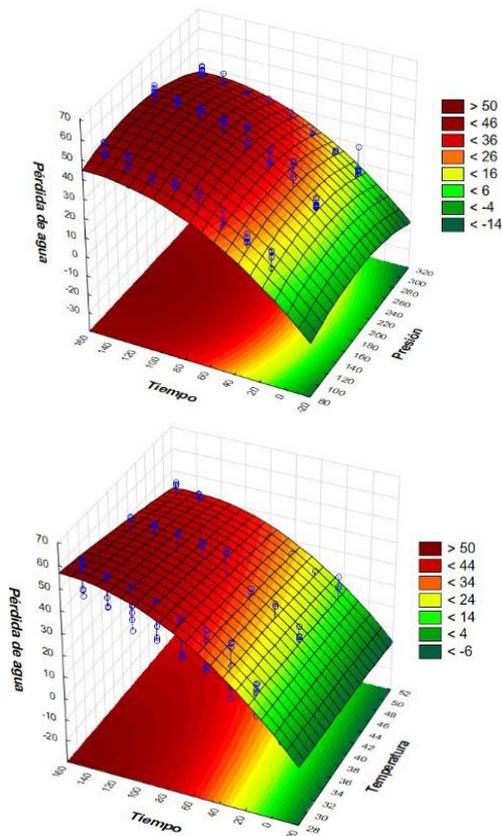
sobre la pérdida de agua y la ganancia de sólidos en los cubos de yacón.



$$\begin{aligned} \text{Ganancia de sólidos} = & 61.2835 - 2.50451 * \text{Temperatura} - \\ & 0.0110198 * \text{Presión} + 0.173809 * \text{Tiempo} + 0.0279167 * \text{Temperatura}^2 + \\ & 0.00106944 * \text{Temperatura} * \text{Presión} - 0.00100123 * \text{Temperatura} * \text{Tiempo} - \\ & 0.0000744444 * \text{Presión}^2 - 0.0000544691 * \text{Presión} * \text{Tiempo} - \\ & 0.000303274 * \text{Tiempo}^2 \end{aligned}$$

Fig. 2. Ganancia de sólidos

Realizando una observación y análisis en la ecuación generada en la ganancia de sólidos (figura 2), se muestra un efecto lineal en el tiempo, mientras que los demás parámetros muestran efectos cuadráticos como un aumento conforme la temperatura aumenta o una reducción a mayor presión de vacío aplicada. De manera similar en la gráfica de respuesta respecto a la pérdida de agua, el tiempo sigue manteniendo su tendencia lineal mientras que para los demás parámetros disminuyen conforme aumenta la temperatura, concentración de solución osmótica y presión en un comportamiento cuadrático.



$$\begin{aligned} \text{Pérdida de agua} = & -4.9883 - 0.00989864 * \text{Temperatura} + \\ & 0.184482 * \text{Presion} + 0.680971 * \text{Tiempo} - 0.00573248 * \text{Temperatura}^2 + \\ & 0.00134109 * \text{Temperatura} * \text{Presion} - 0.00271202 * \text{Temperatura} * \text{Tiempo} - \\ & 0.000635766 * \text{Presion}^2 - 0.0000949675 * \text{Presion} * \text{Tiempo} - \\ & 0.00179919 * \text{Tiempo}^2 \end{aligned}$$

Fig. 3. Pérdida de agua

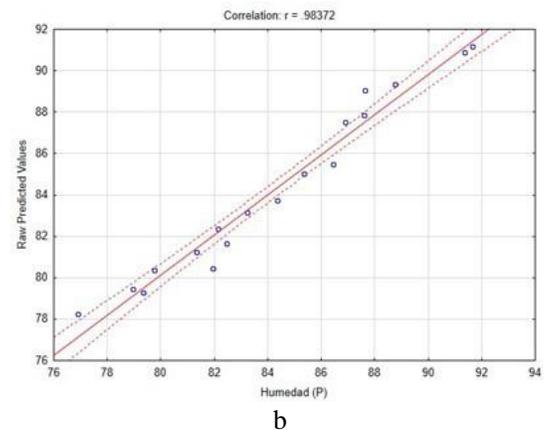
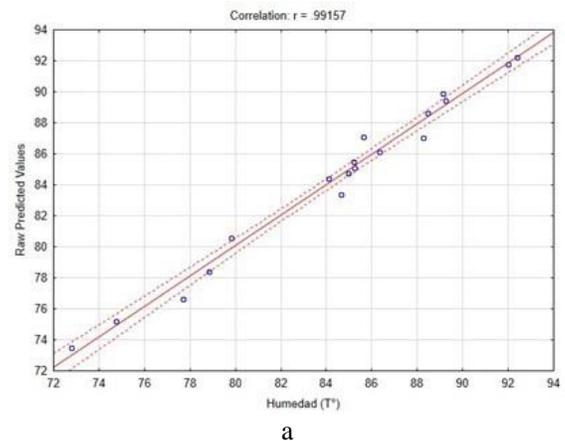
Este tipo de comportamiento observado en la presente investigación se ha observado en otras investigaciones en matrices de yacón (Oblitas Cruz y Rojas Gutiérrez, 2018), observándose en las muestras que el volumen aumenta asociado con la expansión interna de los gases ocluidos en los espacios intracelulares. Estos resultados están de acuerdo con las observaciones de muchos autores, que los procedimientos de impregnación al vacío aumentan el volumen de fruta al final de los procesos.[16]

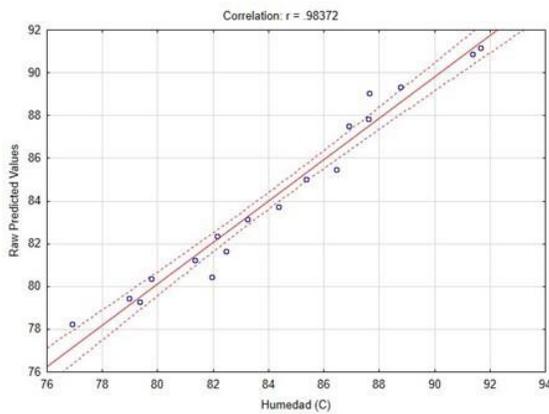
El comportamiento cuadrático de la ganancia solutos y pérdida de agua de las muestras de yacón se pueden deber a los cambios estructurales generados, que son causado por una mayor migración de agua y ganancia de sacarosa en la superficie de las muestras durante los primeros minutos del proceso de impregnación, produciendo la compactación en las capas superficiales, lo que causó una pérdida de agua y una ganancia de sólidos más lentas [17]. También se reporta que este tipo de comportamiento se puede deber a una plasmólisis en las células, que se deforman y colapsan, contrayendo y deformando a los espacios intercelulares [18]

Los resultados mostraron que el uso de presiones de vacío en el proceso de deshidratación osmótica favoreció la impregnación de solutos, dado a que presiones de vacío más bajas (100 mbar) se observó mayor impregnación de solutos, esto es un punto a tomarse en cuenta en la experimentación, ya que, al promover la eliminación de gases y líquidos de los poros capilares, puede conducir a la expansión de los gases; y después de la restauración de la presión atmosférica produce la succión de la solución osmótica dentro de los poros, aumentando la superficie de transferencia de masa [19], lo cual explica como en todos los casos en promedio se logra una ganancia de sólidos.

3.2. Modelado del proceso de pérdida de humedad

Para lograr modelar la pérdida de humedad se utilizó la ecuación de Peleg, donde los parámetros se estimaron mediante regresión lineal, utilizando los coeficientes lineales (K1) y angular (K2). El ajuste del modelo a los datos experimentales se evaluó mediante el coeficiente de determinación (R2). Los valores obtenidos se observan en la Tabla 1 y los gráficos respectivos para cada parámetro de estudio en la Figura 4.





(a) Diferentes temperaturas, (b) Diferentes presiones, (c) Diferentes concentraciones

Fig. 4. Modelo con ecuación de Peleg's

La constante de velocidad de Peleg (K1) se relaciona con la velocidad de desorción al principio, mientras que la constante de capacidad de Peleg (K2) se refiere al contenido de humedad mínimo alcanzable.

TABLA I
Parámetros para la ecuación de Peleg

Parámetros	Concentración	
	20 brix	40 brix
K1	7.26690325	2.86602139
K2	0.0370797	0.0316993
R2	0.99991486	0.98523884
Parámetros	Presión de vacío	
	100 mbar	300 mbar
K1	4.75776551	4.75706833
K2	0.04339479	0.04824333
R2	0.99986086	0.9828247
Parámetros	Temperatura	
	30° C	50° C
K1	3.20092009	4.04240727
K2	0.03122526	0.10595508
R2	0.98100132	0.95263236

La capacidad predictiva del modelo de Peleg se puede observar en la Figura 4, que compara los valores observados y calculados de pérdida de humedad en condiciones distintas de concentración de la solución osmótica, presión de vacío y temperatura. En general, el modelo mostró un buen ajuste con los datos experimentales, ya que se encontraron valores altos de R2 observados en la Figura 4, lo que confirma su idoneidad para describir fenómenos de transferencia de masa en procesos de deshidratación osmótica. El mismo modelo ha sido usado con éxito en otras matrices alimentarias como manzanas [20], zanahorias [21] entre otros.

Se realizó una comparación y se observó que para los valores K1 existe diferencias significativas ($p < 0.05$) en los parámetros de concentración de solución osmótica y

Temperatura. Esto se puede interpretar en un aumento de la transferencia de masa sobre todo en presencia de altas concentraciones osmóticas y un mantenimiento de la tasa de transferencia de que no es afectado por las presiones de vacío, lo cual, podría tener relación con la estructura de los poros del material celular del yacón que no muestran cambios por efecto de las presiones, este tipo de comportamiento ha sido ya reportado en matrices de algunas frutas [22].

Por otro lado, los valores para K2 muestra las diferencias significativas ($p < 0.05$) se muestran afectado por los tres parámetros de estudio, esto probablemente debido a los fenómenos de relación celular por efecto de la presión con el consecuente aumento de volumen [23]

IV. CONCLUSIONES

El modelo de Peleg se aplicó con éxito a los datos experimentales permitiendo la descripción del proceso de deshidratación osmótica del yacón, prediciendo valores de equilibrio ajustados con un alto valor de R2 siendo de 0.9917 para el ajuste de humedad a distintas temperaturas, de 0.98372 para el ajuste de humedad a distintas presiones de vacío y de 0.98372 para el ajuste de humedad a distintas concentraciones. Al mismo tiempo al observar el efecto del tiempo fue el que tuvo el mayor efecto significativo ($p < 0.05$) sobre las variables de estudio seguido en orden descendente de significancia, la concentración de sacarosa, la temperatura y la presión de vacío en la cinética de transferencia de masa mediante la pérdida de agua y ganancia de sólidos durante el tratamiento de deshidratación osmótica de cubos de yacón, se concluyó que el tiempo, las altas concentraciones de sacarosa y altas presiones de vacío generan mayores ganancias de sólidos, y que este tipo de ganancia se ajusta a modelos de tipo cuadrático.

REFERENCIAS

- [1] D. Russo, P. Valentão, P. B. Andrade, E. C. Fernandez, y L. Milella, «Evaluation of Antioxidant, Antidiabetic and Anticholinesterase Activities of Smallanthus sonchifolius Landraces and Correlation with Their Phytochemical Profiles», International Journal of Molecular Sciences, vol. 16, n.º 8, Art. n.º 8, ago. 2015, doi: 10.3390/ijms160817696.
- [2] L. D. N. Marcon et al., «Yacon (Smallanthus sonchifolius)-based product increases fecal short-chain fatty acids and enhances regulatory T cells by downregulating ROR γ t in the colon of BALB/c mice», Journal of Functional Foods, vol. 55, pp. 333-342, abr. 2019, doi: 10.1016/j.jff.2019.02.039.
- [3] H. P. F. Peters, H. M. Boers, E. Haddeman, S. M. Melnikov, y F. Qvyjt, «No effect of added β -glucan or of fructooligosaccharide on appetite or energy intake», American Journal of Clinical Nutrition, vol. 89, n.º 1, pp. 58-63, 2009, doi: 10.3945/ajcn.2008.26701.
- [4] M. de F. Gomes da Silva et al., «Yacon syrup: Food applications and impact on satiety in healthy volunteers», Food Research International, vol. 100, pp. 460-467, oct. 2017, doi: 10.1016/j.foodres.2017.07.035.
- [5] P. D. Cani, E. Joly, Y. Horsmans, y N. M. Delzenne, «Oligofuctose promotes satiety in healthy human: A pilot study», European Journal of Clinical Nutrition, vol. 60, n.º 5, pp. 567-572, 2006, doi: 10.1038/sj.ejcn.1602350.
- [6] S. Chandra y D. Kumari, «Recent Development in Osmotic Dehydration of Fruit and Vegetables: A Review», Critical Reviews in

- Food Science and Nutrition, vol. 55, n.º 4, pp. 552-561, 2015, doi: 10.1080/10408398.2012.664830.
- [7] M. S. Paes, J. P. F. Del Pintor, P. de A. Pessoa Filho, y C. C. Tadini, «Mass transfer modeling during osmotic dehydration of cambuci (*Campomanesia phaea* (O. Berg) Landrum) slices and quality assessment», *Journal of Molecular Liquids*, vol. 273, pp. 408-413, ene. 2019, doi: 10.1016/j.molliq.2018.10.040.
- [8] L. Li et al., «Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration pretreatment on the drying characteristics and quality properties of Sanhua plum (*Prunus salicina* L.)», *LWT*, vol. 138, p. 110653, mar. 2021, doi: 10.1016/j.lwt.2020.110653.
- [9] R. Prithani y K. K. Dash, «Mass transfer modelling in ultrasound assisted osmotic dehydration of kiwi fruit», *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, vol. 64, p. 102407, ago. 2020, doi: 10.1016/j.ifset.2020.102407.
- [10] J. F. Oblitas Cruz y E. L. Rojas Gutierrez, «Optimizing the incorporation of aloe vera in yacon slices (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl.) through vacuum impregnation using response surface methodology», *Ingeniería y Universidad*, vol. 22, n.º 1, 2018, doi: 10.11144/Javeriana.iyu22-1.oiaiv.
- [11] S. Alamatian, M. Mohebbi, M. Varidi, y M. Momen Nezhad, «Modeling of osmotic treatment of ostrich meat coated by tragacanth and salep», *Meat Science*, vol. 156, pp. 231-239, oct. 2019, doi: 10.1016/j.meatsci.2019.05.031.
- [12] H. N. Al-Mentafji, «A.O.A.C 2005», feb. 2016.
- [13] I. Sulistyawati, R. Verkerk, V. Fogliano, y M. Dekker, «Modelling the kinetics of osmotic dehydration of mango: Optimizing process conditions and pre-treatment for health aspects», *Journal of Food Engineering*, vol. 280, p. 109985, sep. 2020, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2020.109985.
- [14] F. R. Assis, R. M. S. C. Morais, y A. M. M. B. Morais, «Mathematical Modelling of Osmotic Dehydration Kinetics of Apple Cubes», *Journal of Food Processing and Preservation*, vol. 41, n.º 3, p. e12895, 2017, doi: <https://doi.org/10.1111/jfpp.12895>.
- [15] B. Zecchi y P. Gerla, «Effective diffusion coefficients and mass flux ratio during osmotic dehydration considering real shape and shrinkage», *Journal of Food Engineering*, vol. 274, p. 109821, jun. 2020, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2019.109821.
- [16] B. A. M. Carciofi, M. Prat, y J. B. Laurindo, «Dynamics of vacuum impregnation of apples: Experimental data and simulation results using a VOF model», *Journal of Food Engineering*, vol. 113, n.º 2, pp. 337-343, nov. 2012, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2012.05.023.
- [17] I. Ahmed, I. M. Qazi, y S. Jamal, «Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables», *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, vol. 34, pp. 29-43, abr. 2016, doi: 10.1016/j.ifset.2016.01.003.
- [18] U. Tylewicz et al., «Chemical and physicochemical properties of semi-dried organic strawberries enriched with bilberry juice-based solution», *LWT*, vol. 114, p. 108377, nov. 2019, doi: 10.1016/j.lwt.2019.108377.
- [19] E. Flores-Andrade, L. A. Pascual-Pineda, F. G. Alarcón-Elvira, M. P. Rascón-Díaz, D. J. Pimentel-González, y C. I. Beristain, «Effect of vacuum on the impregnation of *Lactobacillus rhamnosus* microcapsules in apple slices using double emulsion», *Journal of Food Engineering*, vol. 202, pp. 18-24, jun. 2017, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2017.02.005.
- [20] S. Tappi, M. A. Mauro, U. Tylewicz, N. Dellarosa, M. Dalla Rosa, y P. Rocculi, «Effects of calcium lactate and ascorbic acid on osmotic dehydration kinetics and metabolic profile of apples», *Food and Bioproducts Processing*, vol. 103, pp. 1-9, may 2017, doi: 10.1016/j.fbp.2017.01.010.
- [21] S. Khubber et al., «Non-conventional osmotic solutes (honey and glycerol) improve mass transfer and extend shelf life of hot-air dried red carrots: Kinetics, quality, bioactivity, microstructure, and storage stability», *LWT*, vol. 131, p. 109764, sep. 2020, doi: 10.1016/j.lwt.2020.109764.
- [22] D. Cantre, E. Herremans, P. Verboven, J. Ampofo-Asiama, y B. Nicolai, «Characterization of the 3-D microstructure of mango (*Mangifera indica* L. cv. Carabao) during ripening using X-ray computed microtomography», *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, vol. 24, pp. 28-39, ago. 2014, doi: 10.1016/j.ifset.2013.12.008.
- [23] X. Lin, C. Luo, y Y. Chen, «Effects of Vacuum Impregnation with Sucrose Solution on Mango Tissue», *Journal of Food Science*, vol. 81, n.º 6, pp. E1412-E1418, 2016, doi: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13309>.