

ARTÍCULO ORIGINAL

Aplicación de los modelos experimentales de Peleg y Page durante la deshidratación osmótica y el secado convectivo de mitades de tomate (*Solanum lycopersicum* L.)

Application of Peleg and Page's experimental models during osmotic dehydration and convective drying of tomato halves (*Solanum lycopersicum* L.)

Luis Soto-Jiménez¹ , Cesar Monteza-Arbulú¹  y Miguel Angel Solano-Cornejo¹ .

RESUMEN

El fenómeno de la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica y secado convectivo de mitades de tomates (*Solanum lycopersicum* L.) se llevó a cabo 1) utilizando sacarosa y sal como solutos; 2) ajustando las ecuaciones de Peleg y Page a los datos experimentales. La fruta se cortó en mitades y se extrajo sus semillas y placenta. Se la deshidrató osmóticamente con soluciones: al 10.8% 18% y al 30% 50%, (p/v), de sal y sacarosa respectivamente a temperatura de 25 °C. Posteriormente, las muestras resultantes, fueron sometidas a un proceso de secado convectivo por aire forzado en un túnel a las temperaturas de: 50; 70; 90 °C. Determinándose la pérdida de peso de las muestras, la ganancia de sólidos, obteniendo parámetros de los modelos experimentales de Peleg y Page con niveles de correlación de $R^2 \geq 0.9894$ para los modelos propuestos.

Palabras clave: tomate, transferencia de masa, deshidratación osmótica, secado, modelos matemáticos

ABSTRACT

The phenomenon of mass transfer during osmotic dehydration and convective drying of tomato halves (*Solanum lycopersicum* L.) was carried out 1) using sucrose and salt as solutes; and 2) by fitting the Peleg and Page equations to the experimental data. The fruit was cut into halves and its seeds and placenta were removed. It was osmotically dehydrated with solutions: 10.8% 18% and 30% 50%, (w/v), of salt and sucrose respectively at a temperature of 25 °C. Subsequently, the resulting samples were subjected to a convective drying process by forced air in a tunnel at temperatures of: 50; 70 and 90°C. Determining the weight loss of the samples, the solids gain, obtaining parameters from the experimental models of Peleg and Page with correlation levels of $R^2 \geq 0.9894$ for the proposed models.

Keywords: tomato, mass transfer, osmotic dehydration, drying, mathematical models

* Autor para correspondencia

1 Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Perú. Email: lsoto@unprg.edu.pe, cmonteza@unprg.edu.pe, msolanoc@unprg.edu.pe

INTRODUCCIÓN

En la actualidad es importante para el consumidor ingerir alimentos, que además de sus beneficios nutricionales originales, éstos ayuden a mantener la salud en la prevención de enfermedades; buena parte de la producción mundial de frutas y hortalizas entre ellos el tomate está siendo vista con atención como un alimento funcional (Milacatl, 2003). El problema del tomate es que es altamente perecible. Dicho problema se debe a una combinación de factores biológicos, físicos y químicos que contribuyen al deterioro después de la cosecha (Hernández et al., 2011). Los tomates son productos hortofrutícolas sensibles al deterioro por su alto contenido de agua, baja resistencia estructural y su naturaleza respiratoria activa (Neumann, 2021; De Icaza, 2018).

Los tomates después de su cosecha continúan respirando, proceso que implica el consumo de oxígeno y producción de dióxido de carbono y agua. Este proceso es relevante para mantener las funciones vitales del fruto, sin embargo, también implica una pérdida de reservas alimenticias que reduce la vida útil (De Icaza, 2018). El tomate también continúa madurando después de su cosecha (fruto climatérico), sobre todo si no se controla el Etileno que libera del fruto, acelerándose la maduración y deterioro (Firdous et al., 2022). Los tomates son susceptibles a daños físicos por su textura blanda; cuando estos daños ocurren incrementa la posibilidad del deterioro por acciones de microorganismos (Neumann, 2021).

Una de las alternativas de solución a la perecibilidad del tomate es la reducción de la humedad. Por ejemplo, la deshidratación osmótica (DO) es un proceso ampliamente estudiado en los últimos años y usado principalmente como pre-tratamiento de muestras que luego son sometidas a congelación o a deshidratación térmica, como el secado por convección (Obajemih et al., 2023).

La aplicación deshidratación osmótica es simple y de bajo costo, debido entre otros al menor requerimiento de energía, brinda la posibilidad de preservar alimentos altamente perecederos, como el tomate (Zou et al., 2013). Consiste básicamente en la inmersión de un alimento en una solución osmótica concentrada, como una solución de azúcar o sal. Este proceso además de ayudar a reducir la alta perecibilidad de los alimentos, ayuda a incorporar sustancias solubles, como azúcares, sales, y aromas, en el alimento (Hayes, et al., 2010). Durante el proceso de secado, el contenido de humedad del producto de tomate secado se reduce típicamente en un 15 % (Zanoni et al., 1999).

Durante la deshidratación osmótica ocurren varios fenómenos de transferencia de masa como el flujo de agua del producto hacia el medio osmótico; la diferencia en la concentración de solutos entre el alimento y la solución osmótica crea un gradiente osmótico que impulsa la salida de agua desde el alimento hacia la solución (Aquino, 2023). Asimismo, ocurre el fenómeno de ingreso de solutos desde la solución osmótica al producto; simultáneamente a la pérdida de agua del alimento, los solutos de la solución osmótica (como azúcar o sal), pueden transferirse hacia el interior del alimento a una velocidad que dependen de la

diferencia de concentración, la temperatura de la solución, las propiedades físicas del alimento, y el tiempo de procesamiento (Pinzon, 2011).

Por lo general después del proceso de deshidratación osmótica, sigue una deshidratación térmica complementaria, como el secado por convección que es ampliamente utilizado. Este proceso implica la transferencia de masa y energía entre el producto y el aire circulante con el objetivo de eliminar suficiente contenido de agua hasta reducir la actividad del agua a un nivel que impida el crecimiento de microorganismos y la degradación enzimática (García et al., 2015).

La temperatura de secado después de la deshidratación osmótica es importantísima, la pérdida de humedad se incrementará proporcionalmente al aumento de la temperatura de secado; por lo que para elegir la temperatura adecuada del proceso se debe considerar la composición del alimento (Andritsos et al., 2003).

Se han aplicado diferentes modelos matemáticos para ajustar los resultados experimentales de procesos de la deshidratación osmótica, con el objeto de predecir el comportamiento de los productos alimenticios en la pérdida de humedad y ganancia de sólidos, por lo que se considera de suma importancia conocer los parámetros para su procesamiento. Unos de los modelos más usados son las ecuaciones propuestas por Peleg y Page para predecir los parámetros señalados anteriormente (Petrotos y Lazarides, 2001; Della-Rocca y Mascheroni, 2011). La deshidratación osmótica (DO) se ha considerado como un pretratamiento que cambia la condición del alimento sometido a secado sucesivo en términos no solamente en proporción de agua a materia seca, pero también propiedades físicas y composición química (Nowicka et al., 2015).

A pesar de sus ventajas, la deshidratación osmótica (DO) aún tiene restricciones para su implementación a nivel industrial tanto en el diseño de los equipos como de los procesos. Estas restricciones están relacionadas principalmente con la falta de modelos predictivos de cinéticas de pérdida de humedad y ganancia de sólidos que permitan relacionar con precisión las características de los productos deshidratados con las de la materia prima y las variables del proceso. Aunque la deshidratación osmótica ha sido utilizada desde muchos años atrás, generalmente se ha trabajado en forma empírica y la información experimental se interpreta con modelos que son válidos solamente para reproducir condiciones semejantes a las del trabajo del cual fueron obtenidos (Barat, 1998). Por ello, el objetivo de este estudio fue determinar el modelamiento matemático de la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica y el secado convectivo del tomate variedad río grande, utilizando como solutos sal y sacarosa para luego evaluar el ajuste de los resultados experimentales a modelos matemáticos preestablecidos; como el modelo de Peleg y Page; para la deshidratación osmótica y secado convectivo respectivamente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación de la muestra

Se seleccionaron y compraron tomates de la variedad “Río Grande” en el Mercado Modelo de Lambayeque. Se lavaron y desinfectaron, el agua a usar fue agua destilada distribuida en el laboratorio de Química Orgánica FIQIA-UNPRG, para su desinfección se usó desinfectante orgánico en la dosis (10 mL del producto / L de agua).

Se procedió a cortar los tomates en mitades, de manera longitudinal, se retiraron las pepas y la placenta con cuidado de no dañar las paredes del tomate, se pesó y rotuló las mitades de tomates; las muestras fueron caracterizadas acidez titulable por titulación con NaOH al 0.1 N (AT), humedad por secado en estufa (H) y sólidos totales por refractometría (SST).

Procedimiento de deshidratación osmótica

Se prepararon soluciones de sal (NaCl) y sacarosa al 10.8, 18%, 30 y 50 % (p/v). Las mitades de tomates fueron colocadas en las soluciones de sal o sacarosa controlándose el peso cada hora extrayendo muestras al azar; para determinar peso y humedad hasta completar las 5 horas de deshidratación osmótica.

Procedimiento de Secado

Posterior a la deshidratación osmótica las muestras fueron secadas en aire a 50, 70 y 90 °C; para ello el tomate fue colocado en bandejas, dentro del secador por aire forzado perteneciente al laboratorio de procesos unitarios de la universidad nacional Pedro Ruiz Gallo. Durante las 10 horas de secado al aire se extrajeron 04 muestras de tomates al azar por cada hora de secado hasta concluir el proceso.

Cálculo de parámetros de transferencia de masa

Para el cálculo de los parámetros de transferencia de masa se utilizaron las siguientes ecuaciones de acuerdo a lo indicado por (Obajemih et al., 2023). La determinación de la pérdida de peso (**WR**), ganancia de sólidos (**SG**) y pérdida de agua (**WL**)

$$\%WR = \frac{W_i - W_t}{W_i} \times 100 \dots\dots\dots(1)$$

$$\%SG = \frac{SS_i - SS_t}{W_i} \times 100 \dots\dots\dots(2)$$

$$\%WL = \%SG + \%WR \dots\dots\dots(3)$$

$$\%WL = \frac{M_i - M_t}{W_i} \times 100 \dots\dots\dots(4)$$

Donde:

W_i = peso de la muestra inicial en g;

W_t = peso de la muestra al tiempo t en g;

SS_i = sólidos solubles iniciales (°Brix) expresados en g sólidos/100 g-1 MF;

SS_t = sólidos solubles al tiempo t (°Brix t) expresados en g sólidos/100 g-1 MF;

M_i = humedad inicial expresada en g H₂O/100 g⁻¹ MF;
M_t = humedad al tiempo t expresada en g H₂O/100 g⁻¹ MF

Modelado matemático por ecuación de Peleg de deshidratación osmótica

La ecuación de Peleg (1988), describe las curvas que se acercan a un equilibrio asintótico. Es un modelo no-exponencial de dos parámetros según lo indicado por (Ganjloo et al., 2012):

$$M(t) = M_i \pm \frac{t}{k_1 + k_2 t} \dots\dots\dots (5)$$

Donde:

M_i = humedad inicial;
M(t) = humedad al tiempo t;
k₁ = Constante de Velocidad de Peleg (min g/g⁻¹)
k₂ = Constante de Capacidad de Peleg (g/g)⁻¹
 Similar ecuación se puede escribir para la ganancia de sólidos (SG) y para la pérdida de peso

$$SG = \frac{t}{\frac{W_i}{100}(k_1 + k_2 t)} \dots\dots\dots (6)$$

En las ecuaciones 5 y 6 las constantes de Peleg (k₁ y k₂) y el coeficiente de correlación para dada temperatura y soluto (sal o sacarosa), se determinaron por regresión lineal, utilizándose posteriormente en el modelamiento con las ecuaciones (5) y (7). Obtenidos los valores de las constantes del modelo de Peleg, se modelaron las curvas de deshidratación osmótica comparándolas con los valores experimentales obtenidos.

Modelado matemático por ecuación de Page de deshidratación convectiva por aire

Para el comportamiento del proceso de secado se ha modelado utilizando la ecuación de Page, de acuerdo a lo indicado por (Gaware et al., 2010) :

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \exp(-k t^n) \dots\dots\dots (7)$$

Donde:

MR: Relación de humedad,
M: Contenido de humedad en un instante cualquiera (%),
M₀: Contenido de humedad inicial (%),
M_e: Contenido de humedad en equilibrio (%),
t: Tiempo (min),
k: Coeficiente del modelo de Page,
n: Constante del modelo de Page

En la ecuación (7) el Coeficiente y la Constante de la ecuación de Page (k y n) fueron estimados por Regresión lineal, una vez obtenidos los valores del Coeficiente y Constantes del modelo de Page, permitieron construir las curvas de secado convectivo, y se compararon con los valores experimentales.

Análisis Estadístico

Se determinaron las diferencias significativas utilizando el Análisis de Varianza (ANVA) para un diseño completamente al azar (DCA), y para los valores que presentaron diferencia significativa ($p > 0.05$) se realizaron comparaciones pareadas por el método de Tukey ($p > 0.05$), tal como indica (Obajemihi et al., 2023).

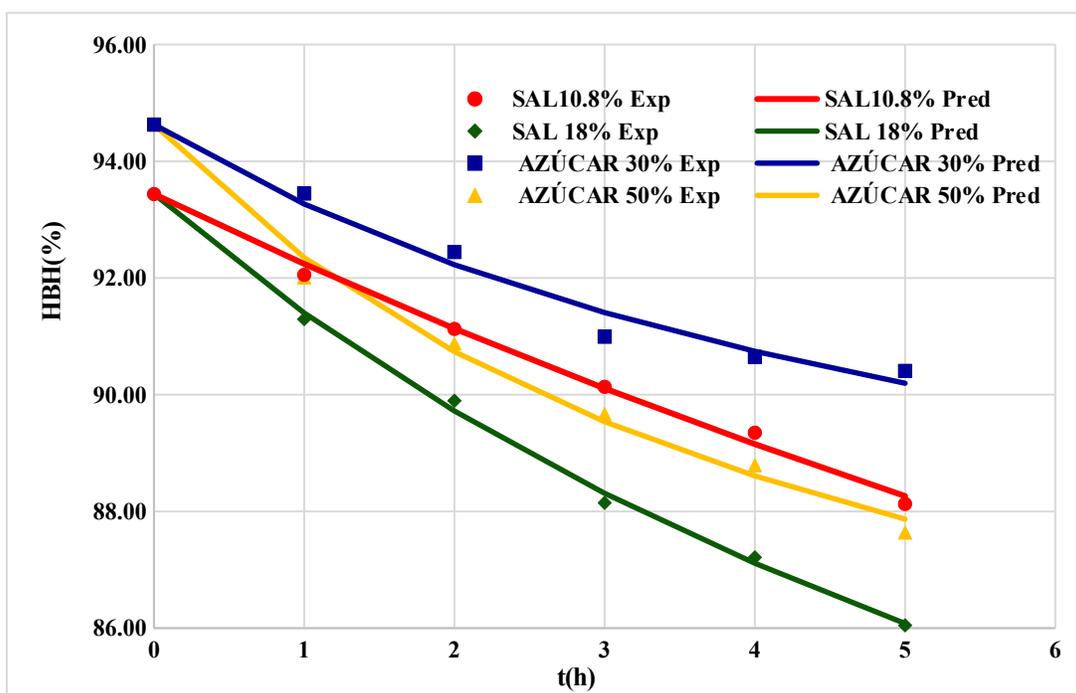
RESULTADOS

Deshidratación osmótica (DO) de tomate

Los resultados de la deshidratación osmótica de tomate utilizando soluciones de sal (10.8 y 18%) y sacarosa (30 y 50%) se presentan en la Figura 1. Así mismo se presenta la variación de humedad predicha por la ecuación de Peleg.

Figura 1

Modelamiento de la Variación de la Humedad en Base Humedad (HBH) en tomate por deshidratación osmótica basado en la Ecuación de Peleg



Se puede observar que conforme progresa el contacto entre la solución osmótica y el tomate la humedad disminuye; así mismo conforme la concentración del soluto osmótico (sal o sacarosa) aumenta la velocidad de deshidratación aumenta y la humedad final disminuye.

Los parámetros de modelamiento de la pérdida de humedad usando la ecuación de Peleg se presentan en la Tabla 1. En ella podemos observar que la ecuación de Peleg presenta un alto nivel de ajuste a los datos experimentales ($R^2 \geq 0.989$)

Tabla 1

Constantes de Peleg y Coeficiente de Correlación en el Modelamiento de la Variación de Humedad por la Ecuación de Peleg

| Valores | Sal 10.8% | Sal 18% | Azúcar 30% | Azúcar 50% |
|----------------|-----------|----------|------------|------------|
| k ₁ | 0.801608 | 0.443618 | 0.635555 | 0.363547 |
| k ₂ | 0.032935 | 0.047179 | 0.098480 | 0.075170 |
| R ² | 0.997466 | 0.998934 | 0.989457 | 0.996147 |

Los valores de humedad final por deshidratación osmótica en sal y azúcar se presentan en la Tabla 02

Tabla 2

Humedad final en tomate osmodeshidratado por 5 horas con diferentes soluciones osmóticas. (p>0.05)

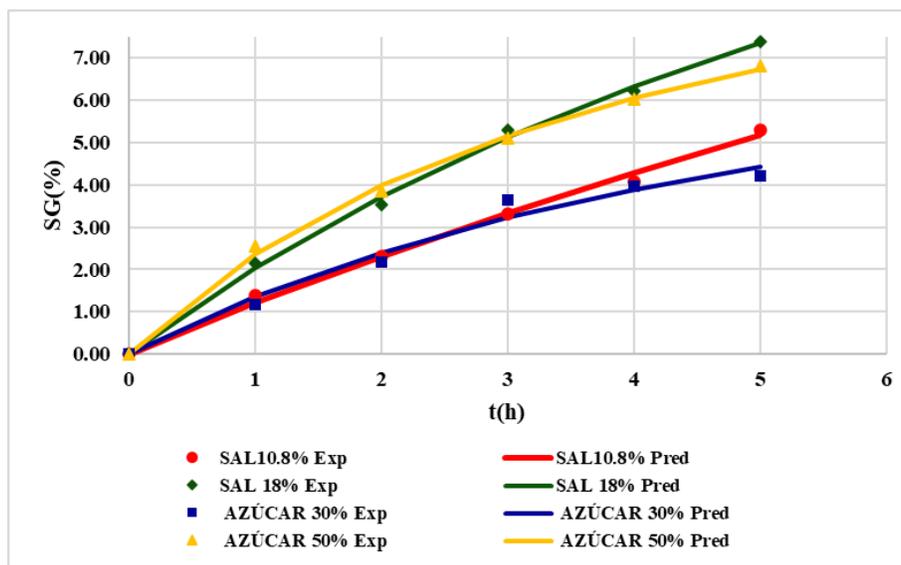
| Soluciones | Conteo | Medias | Grupos homogéneos |
|------------|--------|---------|-------------------|
| Sal 18% | 6 | 85.5333 | X |
| Azúcar 50% | 6 | 87.0583 | X |
| Sal 10.8% | 6 | 88.0883 | X |
| Azúcar 30% | 6 | 89.8100 | X |

Se determinó que con 5 horas de deshidratación osmótica la solución de sal al 18% logró la mayor reducción de humedad; seguida por la solución de azúcar al 50% y sal al 10.8% ambas no presentaron diferencias significativas; siendo la de menor efecto la solución de azúcar al 30%.

Los efectos de la deshidratación osmótica de tomate sobre la ganancia de sólidos utilizando soluciones de sal (10.8 y 18%) y sacarosa (30 y 50%) se presentan en la figura 02. Así mismo se presenta los valores predichos de ganancia de sólidos de acuerdo a la ecuación de Peleg.

Figura 2

Modelamiento de la Ganancia de Sólidos (%) en tomate por deshidratación osmótica basado en la Ecuación de Peleg



Se puede observar que conforme el tiempo de contacto tomate: solución osmótica la ganancia de sólidos aumenta; así mismo se determinó que conforme aumenta la concentración del soluto osmótico (sal o sacarosa) aumenta la velocidad de ganancia de peso y la ganancia final de sólidos también aumenta.

Los parámetros de modelamiento de la ganancia de sólidos usando la ecuación de Peleg se presentan en la Tabla 3. En ella podemos observar que la ecuación de Peleg presenta un alto nivel de ajuste a los datos experimentales ($R^2 \geq 0.989$)

Tabla 3

Constantes de Peleg y coeficiente de correlación en el modelamiento de la ganancia de sólidos por la ecuación de Peleg

| Valores | Sal 10.8% | Sal 18% | Azúcar 30% | Azúcar 50% |
|---------|-----------|----------|------------|------------|
| k_1 | 0.801608 | 0.443618 | 0.635518 | 0.342836 |
| k_2 | 0.032935 | 0.047179 | 0.098484 | 0.079706 |
| R^2 | 0.997466 | 0.998934 | 0.989458 | 0.999042 |

Los valores de %ganancia de sólidos (%SG) por deshidratación osmótica en sal y azúcar se presentan en la Tabla 04.

Tabla 4

Ganancia de sólidos en tomate osmodeshidratado por 5 horas con diferentes soluciones osmóticas. ($p > 0.05$)

| Soluciones | Conteo | Medias | Grupos homogéneos |
|------------|--------|---------|-------------------|
| Azúcar 30% | 6 | 4.43833 | X |
| Sal 10.8% | 6 | 5.21833 | X |
| Azúcar 50% | 6 | 6.74000 | X |
| Sal 18% | 6 | 7.33333 | X |

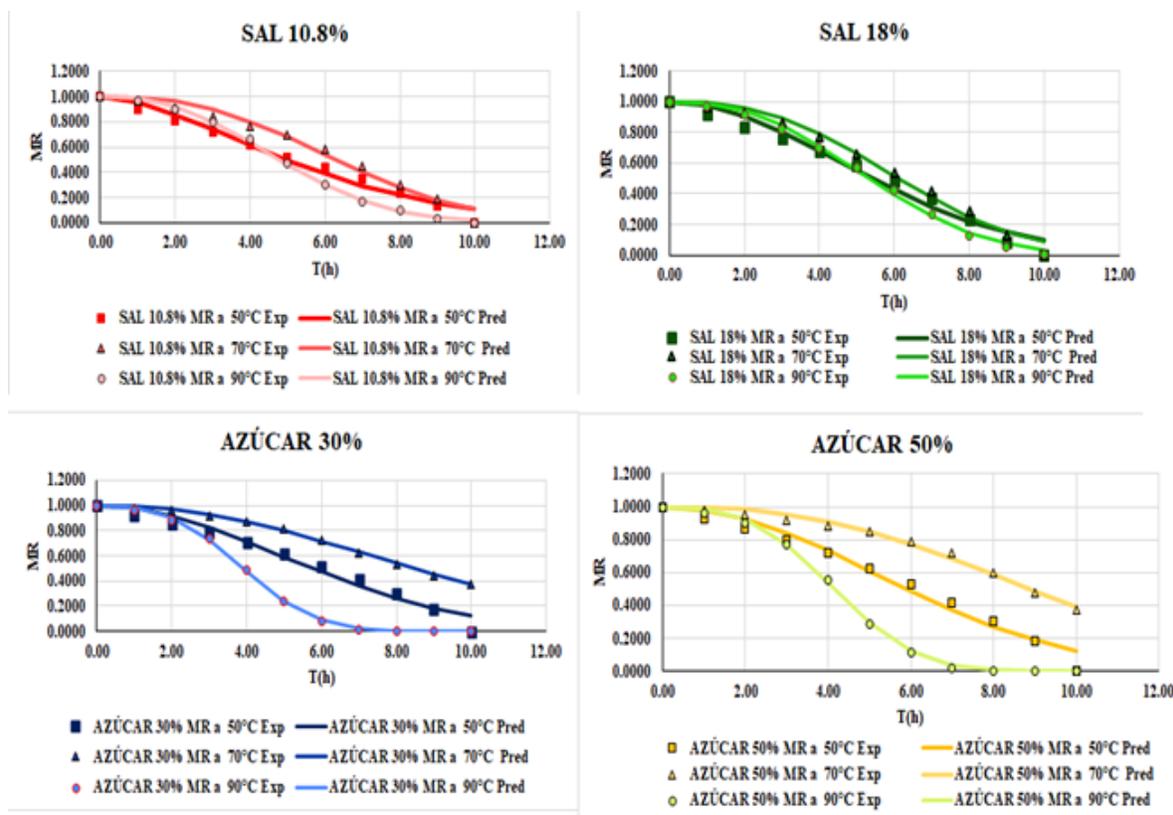
Se determinó que con 5 horas de deshidratación osmótica la solución de sal al 18% logró la mayor ganancia de sólidos; seguida por la solución de azúcar al 50% y sal al 10.8% ambas sin presentar diferencias significativas entre sí; siendo la de menor ganancia de sólidos la solución de azúcar al 30%.

Deshidratación convectiva de tomate osmodeshidratado

La variación de la relación de humedad (MR) durante el proceso de secado convectivo a 50, 70 y 90 °C de tomate osmodeshidratado con diferentes soluciones se presenta en la figura 03. Se presentan así mismo los valores de MR predichos por la ecuación de Page.

Figura 3

Modelamiento del secado convectivo de tomate osmodeshidratados basado en la ecuación de Page



Se puede observar que conforme aumenta la temperatura y el tiempo de secado; la pérdida de humedad es mayor. Todas las curvas de secado presentan una forma sigmoidea similar, aunque diferentes en el grado de la pendiente y en el tiempo de llegar a la humedad de equilibrio. En términos generales los tomates osmodeshidratados previamente en soluciones osmóticas con sacarosa presentaron bajadas de humedad más pronunciadas en tomates osmodeshidratados a mayores temperaturas. En este caso, los tomates a temperaturas de 90°C presentan un descenso más pronunciado entre 7 h para los tomates osmodeshidratados en azúcar 30 y 50% y en el caso de sal 10.8 y 18% necesitaron de 9 horas.

Los parámetros de modelamiento de secado convectivo usando la ecuación de Page se presentan en la Tabla 5. En ella podemos observar que la ecuación de Page presenta un alto nivel de ajuste a los datos experimentales, determinaron las constantes de secado (k y n), coeficiente de correlación (R^2), obteniéndose $R^2 \geq 0.985$.

Tabla 5

Constantes de secado, coeficiente de correlación. Modelo Page.

| Ctes de Secado | k | n | R^2 | k | N | R^2 | k | N | R^2 | k | n | R^2 |
|----------------|-----------|-------|-------|---------|-------|-------|------------|-------|-------|------------|-------|-------|
| T(°C) | sal 10.8% | | | sal 18% | | | azúcar 30% | | | azúcar 50% | | |
| 50 | 0.050 | 1.642 | 0.988 | 0.024 | 1.981 | 0.986 | 0.022 | 1.977 | 0.985 | 0.017 | 2.079 | 0.985 |
| 70 | 0.007 | 2.534 | 0.990 | 0.007 | 2.558 | 0.994 | 0.007 | 2.146 | 0.999 | 0.003 | 2.508 | 0.994 |
| 90 | 0.015 | 2.454 | 0.999 | 0.011 | 2.498 | 0.998 | 0.013 | 2.893 | 0.999 | 0.009 | 3.024 | 0.999 |

DISCUSIÓN

Se obtuvieron parámetros fisicoquímicos iniciales en los tomates antes de la DO: %H_{inicial}: 94.506±0.68, acidez titulable (A.T._{prom} = 0.029 ±0.01), sólidos solubles totales (S.S.T. = 3.505±0.003), pasada la DO y el secado convectivo se obtuvo mitades de tomates osmodeshidratados con 7.01 %H y 5.310 % de ganancia de sólidos (%SG).

Durante las cinco horas de DO, el contenido de soluto de las zonas internas aumentó con el tiempo del proceso, debido a difusión desde las capas externas, similar a lo reportado por Goula & Lazarides, (2012), que deshidrataron de 3 a 4 horas, por lo tanto, la penetración de solutos en el producto durante los períodos osmóticos utilizados solo es importante para la zona subsuperficial, estos autores sostienen además que el modelo logarítmico permite una descripción general de la cinética de secado, sin embargo, para nuestra investigación usando la ecuación de Peleg, también puede describir como se comportará el fenómeno de transferencia de masa en la deshidratación osmótica.

Se obtuvo pérdidas de agua (%WL) de 4.70%, 6.42%, 7.45% y 8.98% en las soluciones de azúcar 30%, sal 10.8%, azúcar 50% y finalmente sal 18%, respectivamente, la solución de NaCl al 18% p/v fue la que logró mayor pérdida de agua en las mitades del tomate variedad *Río Grande*, coincidiendo en lo

reportado por Li *et al.*, (2012), que sostiene que los valores de la WL en tomates Cherry tratados con ultrasonido a 150 W durante 30 min, aumentaron a medida que aumentó la concentración de cloruro de sodio, lo que puede atribuirse al aumento de la presión osmótica con el aumento de la concentración de sal.

Para el proceso de secado convectivo, las temperaturas usadas fueron 50, 70 y 90 °C, éstas establecieron diferentes comportamientos en sus curvas de secado, coincidiendo con lo reportado por Lewicki *et al.*, (2002), en su estudio emplearon cuartos de tomate, con diferentes soluciones osmóticas como pretratamiento al secado convectivo, se usaron dos variedades de tomates: Lima y revermun, la temperatura de secado fue 60 °C con variaciones de tiempo de 7 a 10 h, la variedad de tomate *Lima* se secó con placenta y semillas, secándose mucho más rápido que la v. *Revermun*, la diferencia parece deberse a diferentes preparaciones de soluciones osmóticas como pretratamiento de los tomates para secar, para nuestro caso se secaron mitades de tomates v. *Río grande*. Las diferencias en la estructura y el contenido de agua de la placenta y el pericarpio se reflejaron en la cinética y la repetibilidad del proceso de secado.

CONCLUSIONES

El modelo experimental de Peleg para el fenómeno de transferencia de masa de las mitades de tomates en las soluciones osmóticas de sal y sacarosa arrojan un coeficiente de relación alto, de igual forma, para modelar el secado convectivo aplicando Page en tomates osmodeshidratados tuvo $R^2 \geq 0.985$.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andritsos, N., Dalampakis, P., & Kolios, N. (2003). *Use of geothermal energy for tomato drying*. Oregon Institute of Technology Geo-Heat Center Bulletin.. <https://bit.ly/4cuROk9>
- Aquino de los Santos C., Luján Hidalgo, M., Ventura Canseco., & Abud Archila, M.. (2023). Deshidratación osmótica de Carica papaya var. Maradol: Transferencia de masa y análisis sensorial. ESPACIO I+D: *Innovación Más Desarrollo*, 11(31). <https://doi.org/10.31644/IMASD.31.2022.a08>
- Barat, J.M. 1998. *Desarrollo de un modelo de la deshidratación osmótica como operación básica*. [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia]. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/1834/tesisUPV2195.pdf?sequence=1>
- De Icaza Tena, G.. (2018). *La Vida Útil de los Alimentos y sus Principales Reacciones*. Innovación Editorial Lagares de México, S.A. de C.V. https://books.google.com.pe/books?id=llN1DwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

- Della-Rocca, P., & Mascheroni, R. (2011). *Deshidratación de papas por métodos combinados de secado: deshidratación osmótica, secado por microondas y convección con aire caliente*. Universidad Tecnológica Nacional, 9(2), 1–16. <http://hdl.handle.net/11336/111733>
- Firdous, N., Khan, M. R., Butt, M. S., Ali, M., Asim Shabbir, M., Din, A., Hussain, A., Siddeeg, A., & Manzoor, M. F. (2022). *Effect of Aloe vera gel-based edible coating on microbiological safety and quality of tomato*. *CyTA: Journal of Food*, 20(1), 355–365. <https://doi.org/10.1080/19476337.2022.2136760>
- Ganjloo, A., Rahman, R. A., Bakar, J., Osman, A., & Bimakr, M. (2012). *Kinetics Modeling of Mass Transfer Using Peleg's Equation During Osmotic Dehydration of Seedless Guava (Psidium guajava L.): Effect of Process Parameters*. *Food and Bioprocess Technology*, 5(6), 2151–2159. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0546-2>
- Ganjloo, A., Rahman, R. A., Bakar, J., Osman, A., & Bimakr, M. (2012). *Kinetics Modeling of Mass Transfer Using Peleg's Equation During Osmotic Dehydration of Seedless Guava (Psidium guajava L.): Effect of Process Parameters*. *Food and Bioprocess Technology*, 5(6), 2151–2159. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0546-2>
- García-Paternina, M., Alvis-Bermudez, A., & García-Mogollon, C. A. (2015). *Evaluación de los Pretratamientos de Deshidratación Osmótica y Microondas en la Obtención de Hojuelas de Mango (Tommy Atkins)*. *Información Tecnológica*, 26(5), 63–70. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000500009>
- Gaware, T. J., Sutar, N., & Thorat, B. N. (2010). *Drying of tomato using different methods: Comparison of dehydration and rehydration kinetics*. *Drying Technology*, 28(5), 651–658. <https://doi.org/10.1080/07373931003788759>
- Goula, A. M., & Lazarides, H. N. (2012). *Modeling of mass and heat transfer during combined processes of osmotic dehydration and freezing (Osmo-Dehydro-Freezing)*. *Chemical Engineering Science*, 82, 52–61. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2012.07.023>
- Hawkes J., Flink J., (1978); *Osmotic concentration of fruits slices prior to freeze dehydration*. *J. Food Proc. Preserv.* 2, pags. 265-284 <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.1978.tb00562.x>
- Hernández, P. L. B., Delgado, A. C. B., Sánchez, S. A. M., Castillo, H. S. V., & Porras, D. P. N. (2011). *Efecto del recubrimiento a base de almidón de yuca modificado sobre la maduración del tomate*. *Revista Lasallista de Investigación*, 8(2), 96–103. <https://www.redalyc.org/pdf/695/69522607011.pdf>

- Lazarides, H.N.; Katsanidis, E. & Nickolaidis, A. (1995). *Mass transfer kinetics during osmotic preconcentration aiming at minimal solid uptake*. *Revista de Ingeniería de Alimentos*. 25(2), pags. 151-166. [https://doi.org/10.1016/0260-8774\(94\)00006-U](https://doi.org/10.1016/0260-8774(94)00006-U)
- Lewicki, P. P., Le, H. V., & Pomara N Nska-Łazuka, W. (2002). *Effect of pre-treatment on convective drying of tomatoes*. 1–6. www.elsevier.com/locate/jfoodeng
- Li, H., Zhao, C., Guo, Y., An, K., Ding, S., & Wang, Z. (2012). *Mass transfer evaluation of ultrasonic osmotic dehydration of cherry tomatoes in sucrose and salt solutions*. *International Journal of Food Science and Technology*, 47(5), 954–960. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02927.x>
- Mariem, S., & Mabrouk, S. (2014). *Drying Characteristics of Tomato Slices and Mathematical Modeling*. *International Journal of Energy Engineering*, 2014(2A), 17–24. <https://doi.org/10.5923/j.jjee.201401.03>
- Milacatl, V.; (2003); Cambios en atributos sensoriales y degradación de ácido ascórbico en función de la temperatura en puré y néctar de mango. [Tesis de grado. Universidad de las Américas. Puebla, México]. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lia/milacatl_h_v/
- Hayes, W.A., Smith, P.G., Morris A.E., (2010). *The production and quality of tomato concentrates*. *Crit.Rev. Food Sci. Nutr.*, 7, pags. 537-564. <https://doi.org/10.1080/10408699891274309>
- Nowicka, P., Wojdyło, A., Lech, K., & Figiel, A. (2015). *Influence of Osmodehydration Pretreatment and Combined Drying Method on the Bioactive Potential of Sour Cherry Fruits*. *Food and Bioprocess Technology*, 8(4), 824–836. <https://doi.org/10.1007/s11947-014-1447-y>
- Neumann, L. (2021). *Tópicos En Microbiología E Inocuidad De Los Alimentos*. RIL editores. <https://www.digitaliapublishing.com/a/113096/topicos-en-microbiologia-e-inocuidad-de-los-alimentos>
- Obajemihi, O. I., Esua, O. J., Cheng, J. H., & Sun, D. W. (2023). *Effects of pretreatments using plasma functionalized water, osmodehydration and their combination on hot air drying efficiency and quality of tomato (Solanum lycopersicum L.) slices*. *Food Chemistry*, 406(November 2022), 134995. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134995>
- Petrotos, K. B., & Lazarides, H. N. (2001). *Osmotic concentration of liquid foods*. *Journal of Food Engineering*, 49(23)(201–206), 1–6. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00222-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00222-3)
- Pinzon, M. I., Villa, C. C., & Nieto, J. A. (2011). *Cambios de color y perfil aromático en soluciones osmóticas usadas en deshidratación osmótica de tomate de árbol*. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 9(2), 121-129. <http://hdl.handle.net/11336/190501>

- Sacchetti, G; Gianotti, A; Dalla Rosa, M.; (2001). *Sucrose-salt combined effect on mass transfer kinetics and product acceptability. Study on apple osmotic treatment. Journal of Food Engineering*, 47, 163-173. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00206-5](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00206-5)
- Suárez-Morales, J. A., Hernández-Arriola, D. G., Marín-Benítez, M. E., & Riera-González, G. (2021). *Deshidratación osmótica de la piña var. española roja para su incorporación a una leche fermentada. Ciencia y Tecnología de Los Alimentos*, 31(2), 47–52. <https://revcitecal.iiia.edu.cu/revista/index.php/RCTA/article/view/276/237>
- Villa, C. C., Nieto, J. A., & Pinzón, M. I. (2009). *Cambios composicionales y microbiológicos asociados a ciclos sucesivos de deshidratación osmótica de tomate de árbol. Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 7(1), 29–35. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v7n1/v7n1a05.pdf>
- Zou, K., Teng, J., Huang, L., Dai, X., & Wei, B. (2013). *Effect of osmotic pretreatment on quality of mango chips by explosion puffing drying. Lwt*, 51(1), 253–259. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.11.005>