

Influence of osmotic pretreatment and convective drying temperature on the drying and rehydration kinetics of pear slices (*Pyrus communis*)

Campos Gonzales Jorge¹, Lucio Rivas Paúl¹, Santamaria Revilla Yenifer¹, Jhastin Florián Huamán¹ , Meliza Lindsay Rojas^{2*} 

¹Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Privada del Norte, N00395210@upn.pe, N00393028@upn.pe, N00144467@upn.pe, jhastin.florian@upn.pe.

²Dirección de Investigación, Innovación y Sostenibilidad, Universidad Privada del Norte, Trujillo, Perú, meliza.rojas@upn.edu.pe.

*Autor para correspondencia

Abstract– This research evaluated the impact of osmotic dehydration (OD) pretreatment at 40°Brix for 0, 1.5, and 3 min, and convective drying temperatures (40°C, 60°C, and 80°C), on the drying kinetics, color changes, and rehydration kinetics of pear slices. Drying efficiency was found to increase significantly with increasing osmotic pretreatment temperature and time. The most efficient moisture removal condition was drying at 80°C with 3 min of OD, the kinetics of which were described by the Page model ($R^2 \geq 0.99$). However, the application of OD under some conditions intensified browning, although a 3-min OD pretreatment followed by convective drying at 80°C resulted in the least browned sample. Regarding rehydration kinetics, the Peleg model parameters ($R^2 \geq 0.92$) indicated that a shorter osmotic dehydration (OD) time and lower drying temperature favored the rate of water absorption, while a higher drying temperature without OD application favored water retention. Therefore, the application of an osmotic pretreatment at 40 °Brix for 3 min followed by drying at 80 °C is suggested, as it allows for a rapid drying process with less browning and moderate rehydration capacity.

Keywords– Convective drying, osmotic dehydration, drying kinetics, rehydration kinetics.

Influencia del pretratamiento osmótico y temperatura de secado convectivo en la cinética de secado y rehidratación de rodajas de pera (*Pyrus communis*)

Campos Gonzales Jorge¹, Lucio Rivas Paúl¹, Santamaria Revilla Yenifer¹, Jhastin Florián Huamán¹ , Meliza Lindsay Rojas^{2*} 

¹Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Privada del Norte, N00395210@upn.pe, N00393028@upn.pe, N00144467@upn.pe, jhastin.florian@upn.pe.

²Dirección de Investigación, Innovación y Sostenibilidad, Universidad Privada del Norte, Trujillo, Perú, meliza.rojas@upn.edu.pe.

*Autor para correspondencia

Resumen— Esta investigación evaluó el impacto del pretratamiento de deshidratación osmótica (DO) a 40°Brix durante 0, 1.5 y 3 min y la temperatura de secado convectivo (40°C, 60°C y 80°C) y sobre la cinética de secado, los cambios de color y la cinética de rehidratación de rodajas de pera. Se encontró que la eficiencia de secado se incrementa significativamente con el aumento de la temperatura y el tiempo de pretratamiento osmótico. La condición más eficiente en la eliminación de humedad fue el secado a 80°C con 3 minutos de DO, cuyo proceso cinético fue descrito por el modelo de Page ($R^2 \geq 0.99$). Sin embargo, la aplicación de la DO en algunas condiciones intensificó el pardeamiento, aunque un pretratamiento de DO por 3 min de seguido de secado convectivo a 80°C resultó en la muestra menos pardeada. En cuanto a la cinética de rehidratación, los parámetros del modelo de Peleg ($R^2 \geq 0.92$) indicaron que un menor tiempo de DO y menor temperatura de secado favorecieron la velocidad de absorción de agua, mientras que una mayor temperatura de secado sin aplicación de DO favorecería la retención de agua. Por lo tanto, se sugiere la aplicación de un pretratamiento osmótico a 40 °Brix por 3 min seguido del secado a 80 °C, ya que permite un proceso de secado rápido con menor pardeamiento y con una capacidad de rehidratación moderada.

Palabras clave— Secado convectivo, deshidratación osmótica, cinética de secado, cinética de rehidratación.

I. INTRODUCCIÓN

La pera es una fruta rica en compuestos fenólicos como el ácido clorogénico [1], pero su consumo como fruta fresca en Perú es bajo [2]. Además, debido a su alto contenido de humedad, es susceptible al deterioro, lo que limita su vida útil y provoca pérdidas significativas. El secado convectivo, en combinación con un pretratamiento, se propone como una alternativa para su conservación al reducir la humedad y minimizar el deterioro.

El pretratamiento por deshidratación osmótica (DO) es un método no térmico que permite la pérdida del agua y la conservación de las características sensoriales y nutricionales de la fruta. De acuerdo con [3], el pretratamiento de deshidratación osmótica con solución de NaCl al 3% y recubrimiento con carragenina al 1% mejora significativamente la tasa de deshidratación, lo que favorece el color y la apariencia del producto. Asimismo, [4] indica que la

solución de deshidratación osmótica influye significativamente en el proceso, generando variaciones en el color y firmeza en el producto, lo que alinea los atributos de calidad con las demandas del producto final.

El mantenimiento de la estructura celular y la permeabilidad de la membrana celular durante el secado mejoran la calidad de la rehidratación y reduce su duración. Esto permite que el producto recupere el agua perdida y restablezca su masa inicial [5]. Sin embargo, [6] menciona que la rehidratación disminuye al aumentar el tiempo de secado, obteniéndose con tiempos cortos una tasa de rehidratación más alta y una apariencia adecuada después del proceso.

La temperatura cumple un rol muy importante en el secado, ya sea de manera positiva o negativa. Así mismo, durante el secado los sólidos se concentran a medida que disminuye el contenido de agua residual, contribuyendo a la reducción de la actividad de agua y por lo tanto aumentando la vida útil del producto [7].

Con la presente investigación se busca contribuir con opciones de proceso para aumentar el aprovechamiento de la pera como materia prima, dado su alto volumen de producción y su potencial para la generación de productos deshidratados con valor agregado destinados a mercados de alimentos saludables y de larga vida útil. Los resultados obtenidos podrían servir como base técnica para la escalabilidad del proceso a nivel industrial, aportando información sobre parámetros de secado replicables en equipos de mayor capacidad. Por lo tanto, esta investigación evaluó las condiciones de pretratamientos osmóticos a 40°Brix durante 0, 1.5 y 3 min seguido de secado convectivo (40°C, 60°C y 80°C), con el fin de determinar su influencia sobre la cinética de pérdida de humedad, color y la posterior rehidratación del producto.

I. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Materia prima

En la presente investigación se utilizó 500 g de pera con un nivel de maduración visible por el color verde brillante tornando un color amarillento, el cuello cedió suavemente a la presión del tacto, presentó un aroma característico dulce de la

pera, no presentaban abolladuras ni cortes, esas peras fueron escogidas del mercado El Cortijo de Trujillo, Perú.

B. Procedimiento experimental

La Fig. 1 describe el procedimiento experimental, el cual inició con la selección, lavado y cortado de las peras en rodajas, seguido de la aplicación del pretratamiento de deshidratación osmótica (40°brix) y posterior secado convectivo a las distintas temperaturas. Los tratamientos aplicados fueron nueve en total, realizando tres repeticiones por cada tratamiento.

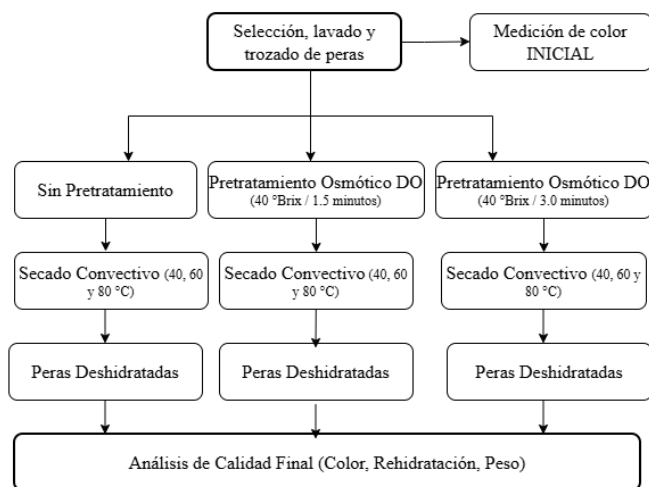


Fig. 1 Esquema general del procedimiento experimental

C. Pretratamiento de deshidratación osmótica (DO)

Para el proceso de pretratamiento, se eligieron peras frescas que estaban en su punto óptimo de maduración. Estas se limpiaron con agua potable y se desinfectaron utilizando una solución de hipoclorito de sodio a 100 ppm durante 2 minutos. Luego, se les quitó la piel y se cortaron en rodajas uniformes de alrededor de 5 mm de grosor, se utilizó un total de 15 a 20 rodajas pesando un total de 50 g para cada repetición.

Las muestras se dividieron en tres grupos:

- Sin pretratamiento (Control).
- Inmersión en solución de sacarosa a 40 °Brix durante 1.5 minutos (DO1.5min).
- Inmersión en solución de sacarosa a 40 °Brix durante 3 minutos (DO3min).

Una vez que concluyó el tiempo de inmersión, las rodajas se drenaron para quitar el exceso de la solución osmótica y se secaron de forma superficial con papel absorbente. Luego de ello se pesaron en una balanza analítica para determinar el peso inicial, también se midió la humedad inicial utilizando un determinador de humedad.

D. Secado convectivo

El secado de las rodajas de pera se llevó a cabo en un horno de convección forzada con control de temperatura. Se trabajó con tres niveles de temperatura: 40 °C, 60 °C y 80 °C, cada uno combinado con tres tiempos de pretratamiento,

sumando un total de nueve tratamientos experimentales. Las rebanadas fueron colocadas en bandejas de acero inoxidable sobre papel toalla, garantizando una buena circulación del aire caliente. El secado continuó hasta que se obtuvo un peso constante, registrando el peso de las muestras cada 10 minutos durante 1 hora luego se realizó cada 30 min para elaborar las curvas de cinética de secado.

Durante el proceso de secado, se registró el peso inicial de las rodajas de pera y luego cada 10 minutos durante 1 hora y después cada 30 min hasta alcanzar un peso constante. A partir de estos datos de peso y la humedad final, se determinó la humedad adimensional MR (Ecuación 1). Donde M es el contenido de humedad de la muestra, M_e es el contenido de humedad de equilibrio y M_0 es el contenido de humedad inicial de la muestra.

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 1)}$$

Para describir la cinética del secado, se empleará el modelo matemático de Page (Ecuación 2). El modelo se expresa como:

$$MR = e^{(-kt^n)} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 2)}$$

Donde MR es la relación de humedad adimensional; k es la constante de secado (min^{-1}), que depende de la temperatura y las condiciones del aire, n es la constante empírica adimensional relacionada con la forma de la curva de secado y t es el tiempo de secado (min).

Los parámetros k y n se estimarán mediante ajuste no lineal por regresión (utilizando el complemento SOLVER acoplado al software de Excel) minimizando el error cuadrático medio entre los valores experimentales y los predichos por el modelo. La calidad del ajuste se evaluó mediante el coeficiente de determinación (R^2).

E. Color

El análisis del color de las rodajas de pera se realizó utilizando la aplicación *Trigit Color Analyzer*, la cual permite determinar los valores de color en el sistema CIELab (L^* , a^* , b^*), donde L^* representa la luminosidad, con valores de 0 (negro) a 100 (blanco), a^* indica la tendencia del color hacia el rojo (+) o el verde (-) y b^* representa la tendencia hacia el amarillo (+) o el azul (-).

Las mediciones se efectuaron antes y después del secado para evaluar los cambios de color ocasionados por los diferentes tratamientos de temperatura y pretratamiento osmótico. Cada muestra se fotografió bajo una fuente de luz blanca estandarizada y fondo neutro, manteniendo una distancia fija entre la cámara y la muestra. Los valores obtenidos de L^* , a^* y b^* se utilizaron para calcular la diferencia total de color.

F. Rehidratación de rodajas de pera

El proceso de rehidratación de las rodajas de pera deshidratadas se realizó con el objetivo de determinar su capacidad de absorción de agua y evaluar el grado de reversibilidad del secado. Para ello, se tomó la muestra que seca de cada tratamiento y se colocó en 250 mL de agua destilada a temperatura ambiente (25 ± 2 °C).

Las muestras se retiraron en intervalos regulares de cada 10 minutos, se escurrieron durante 30 segundos sobre papel absorbente para eliminar el exceso de agua superficial y luego se pesó en una balanza de precisión ± 0.001 g. Para determinar el incremento de la humedad en el tiempo, se calculó por balance de masa a partir de los pesos y la humedad inicial.

Este procedimiento permitió obtener la curva de cinética de rehidratación, la cual se describió mediante el modelo de Peleg (Ecuación 3) para determinar los coeficientes k_1 y k_2 , indicadores de la velocidad y capacidad de rehidratación, respectivamente.

$$M(t) = M_0 + \frac{t}{K_1 + K_2 * t} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 3)}$$

Donde $M(t)$ es el contenido de humedad (%) a un tiempo t (min), M_0 es el contenido inicial de humedad (%), k_1 es la constante de velocidad [$\text{min} \cdot (\text{g agua/g m.s})^{-1}$], k_2 es la constante de capacidad ($\text{g agua/g m.s})^{-1}$.

G. Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA), seguido de una prueba de comparaciones múltiples de Tukey para identificar los tratamientos que presentaron diferencias estadísticas con un nivel de significancia del 5%. El análisis se realizó utilizando el software SPSS 21, IBM.

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

A. Influencia del pretratamiento con DO en el secado convectivo

Las figuras 2, 3 y 4 muestran las cinéticas de secado de rodajas de pera a 40, 60 y 80 °C, respectivamente, para muestras control y aquellas pretratadas mediante deshidratación osmótica (DO) a 40°Brix durante 1.5 a 3 min. En todas las condiciones evaluadas, se observa una disminución progresiva de la humedad adimensional (MR) en función del tiempo.

Al comparar las dos condiciones de DO, se observa que las curvas de secado de las muestras que fueron pretratadas con DO por 1.5 y 3 min están consistentemente por debajo de la curva de Control, indicando un secado más rápido independientemente del nivel de temperatura de secado. Además, las rodajas tratadas con DO durante 3 min muestran una cinética de secado ligeramente más rápida que aquellas tratadas durante solo 1.5 min. Un tiempo mayor de pretratamiento osmótico de 1.5 min a 3 min redujo la humedad

inicial y modifica parcialmente la estructura celular, facilitando la difusión del agua durante el secado convectivo. Entre los tratamientos osmóticos, el tiempo de inmersión de 3 min mostró el efecto más marcado, reflejando una mayor eficiencia en la eliminación del agua libre. Este comportamiento indica una mayor velocidad de secado y coincide con los hallazgos en [8] para la variedad de peras D'Anjou, donde se establece que la inmersión en soluciones hipertónicas no solo disminuye la carga de humedad inicial, sino que también altera la permeabilidad de las membranas celulares.

Con respecto al efecto de los niveles de temperatura de secado, según lo esperado, se observó una pendiente más pronunciada al aumentar la temperatura, lo que evidencia que el secado se acelera a temperaturas más elevadas. Este comportamiento se atribuye al incremento del gradiente de presión de vapor y de la transferencia de calor, que favorecen la eliminación de la humedad interna del tejido de la pera. En [9] estudiaron la cinética de secado de peras y observaron que un incremento en la temperatura del aire suministra una mayor cantidad de calor a la superficie del producto, lo que aumenta la tasa de evaporación del agua superficial y reduce significativamente el tiempo total del procesamiento. Asimismo, [10] corroboraron este comportamiento en pimientos, indicando que el aumento de temperatura incrementa los valores de difusividad efectiva facilitando la migración del agua desde el centro hacia la superficie de la rodaja.

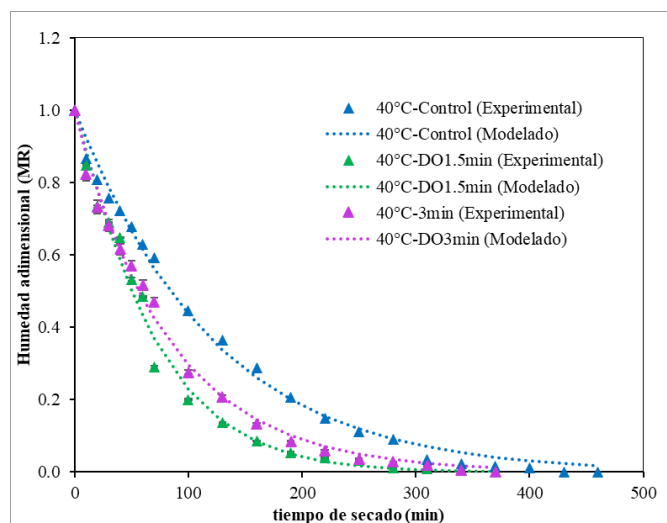


Fig. 2 Cinética de secado a 40 °C de rodajas de pera Control y pretratadas con deshidratación osmótica (DO) a 40 °Brix por 1.5min y 3min. Los puntos indican datos experimentales (n=3) y las curvas punteadas indican los datos modelados según el modelo de Page.

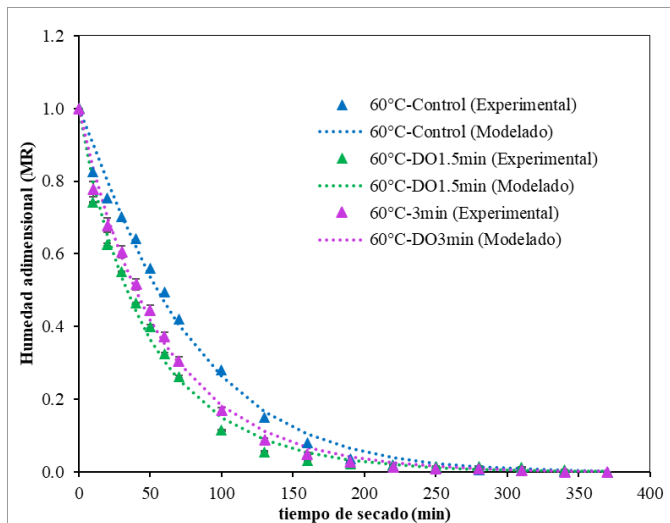


Fig. 3 Cinética de secado a 60 °C de rodajas de pera Control y pretratadas con deshidratación osmótica (DO) a 40 °Brix por 1.5min y 3min. Los puntos indican datos experimentales (n=3) y las curvas punteadas indican los datos modelados según el modelo de Page.

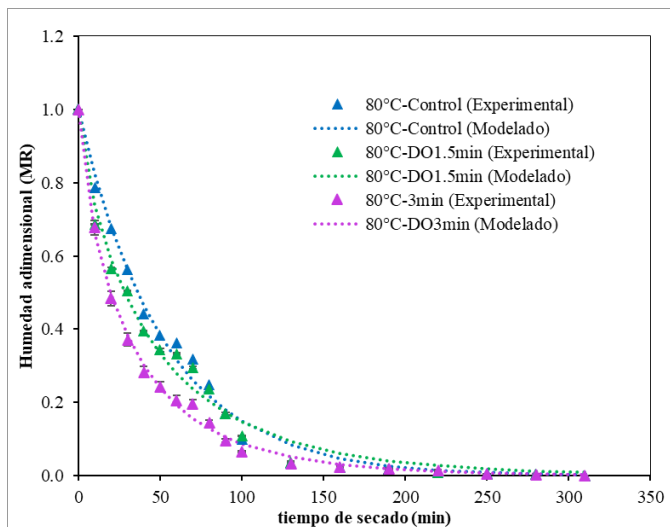


Fig. 4 Cinética de secado a 80 °C de rodajas de pera Control y pretratadas con deshidratación osmótica (DO) a 40 °Brix por 1.5min y 3min. Los puntos indican datos experimentales (n=3) y las curvas punteadas indican los datos modelados según el modelo de Page.

En cuanto al ajuste matemático del modelo de Page a las cinéticas de secado, se observó valores de $R^2 > 0.99$ (Tabla I), lo que confirma la capacidad de este modelo para describir adecuadamente la cinética de secado de rodajas de pera en las condiciones evaluadas.

En la Tabla I se presentan los parámetros cinéticos obtenidos mediante el modelo de Page para las diferentes condiciones de secado. Se observa que la constante de secado (k) aumentó progresivamente con la temperatura y con la aplicación del pretratamiento osmótico, lo que indica una mayor velocidad de eliminación de humedad en las rodajas de pera. A 40°C, el valor de k se incrementó de 0.0075 en la muestra control a 0.014 en la muestra pretratada con

deshidratación osmótica por 3 min, mientras que en a 80°C alcanzó su valor máximo de 0.0697 bajo las mismas condiciones de pretratamiento. Este incremento evidencia que tanto la temperatura como el tiempo de exposición osmótica influyen significativamente en la rapidez del secado, al reducir la humedad inicial y facilitar la transferencia del agua durante el secado. En cuanto a la eficiencia del secado, [11] observaron un comportamiento similar al obtenido en este estudio, reportando que la aplicación de un pretratamiento osmótico previo al secado por aire caliente (60-70°C) en peras no solo acelera la eliminación de la humedad, sino que permite obtener productos con características sensoriales aceptables en tiempos hasta un 30% menores que el secado convencional directo. Esto valida que la mayor pendiente observada en las curvas de secado a 80°C con 3 min de DO responde a una sinergia entre la fuerza térmica y la modificación estructural previa.

TABLA I
PARÁMETROS CINÉTICOS DEL MODELO DE PAGE UTILIZADO PARA DESCRIBIR LA CINÉTICA DE SECADO CONVECTIVO

TRATAMIENTO	k (min ⁻ⁿ)	n (-)	R ²	
40°C-Control	0.0075 ± 0.0007 ^f	1.0205 ± 0.0177 ^b	≥	0.995
40°C-DO1.5min	0.0089 ± 0.0001 ^f	1.1086 ± 0.0038 ^a	≥	0.990
40°C-DO3min	0.0140 ± 0.0029 ^c	0.9743 ± 0.0376 ^e	≥	0.992
60°C-Control	0.0080 ± 0.0000 ^f	1.1130 ± 0.0019 ^a	≥	0.994
60°C-DO1.5min	0.0285 ± 0.0007 ^c	0.9090 ± 0.0079 ^d	≥	0.994
60°C-DO3min	0.0193 ± 0.0001 ^d	0.9726 ± 0.0017 ^e	≥	0.996
80°C-Control	0.0196 ± 0.0001 ^d	0.9946 ± 0.0022 ^{bc}	≥	0.991
80°C-DO1.5min	0.0476 ± 0.0005 ^b	0.8021 ± 0.0026 ^e	≥	0.994
80°C-DO 3min	0.0697 ± 0.0004 ^a	0.7718 ± 0.0013 ^e	≥	0.997

En conjunto, los resultados permiten concluir que tanto el incremento de la temperatura como la aplicación de un pretratamiento osmótico previo contribuye significativamente a reducir el tiempo total de secado, siendo el tratamiento a 80°C con DO de 3 min el que presentó la mayor eficiencia en la eliminación de humedad.

B. Efecto del pretratamiento y secado en la rehidratación

En las Figuras 5, 6 y 7 se observa que en todas las muestras la humedad (b.s) aumenta progresivamente con el tiempo de rehidratación, evidenciando la absorción de agua por parte del tejido deshidratado. Sin embargo, se identifican diferencias significativas entre los tratamientos.

La muestra sometida al pretratamiento osmótico durante 1.5 min y secada a 40 °C presentó la mayor capacidad de rehidratación, alcanzando valores de humedad superiores a las demás muestras al final del proceso (Figura 5). Por el contrario, cuando se realizó el secado a 60 °C y 80 °C, aquellas muestras que fueron pretratadas con DO mostraron menores propiedades de rehidratación, especialmente las muestras pretratadas con DO por 3 min.

Este comportamiento sugiere que una menor temperatura de secado permite conservar una estructura celular más porosa, facilitando la penetración del agua durante la rehidratación. Mientras que una mayor temperatura o un mayor tiempo de secado genera un colapso estructural más pronunciado y, por tanto, una menor capacidad de absorción de agua. Según [12], los pretratamientos térmicos o físicos severos provocan la ruptura de las membranas celulares y la desnaturalización de las proteínas constituyentes de la pared celular. Esto conlleva a una pérdida de la elasticidad del tejido, impidiendo que las células recuperen su volumen original durante la rehidratación, un efecto conocido como histéresis. En este estudio, el hecho de que el pretratamiento de 3 min presentara menor rehidratación confirma que una mayor exposición al pretratamiento intensifica el colapso estructural, que, sumado a los efectos de las altas temperaturas de secado, redujo la porosidad efectiva disponible para el ingreso del agua.

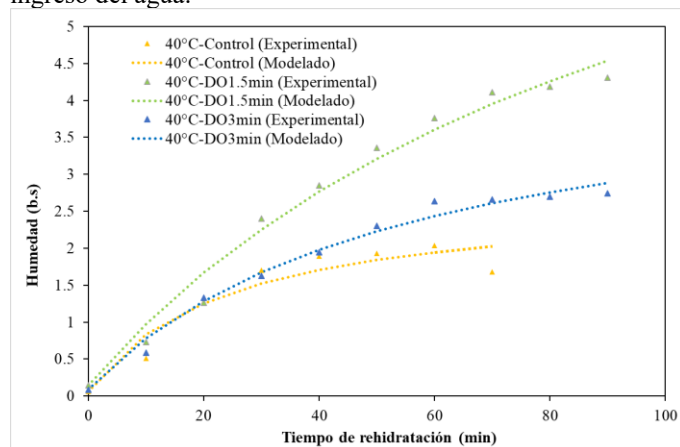


Fig. 5 Cinética de rehidratación a 40°C de rodajas de Pera (muestra control), luego del proceso de pretratamiento osmótico (DO) y el proceso de secado a 40°Brix por 1.5min y 3 min. Los puntos indican datos experimentales (n=3) y las curvas punteadas indican datos modelados según el modelo de Peleg.

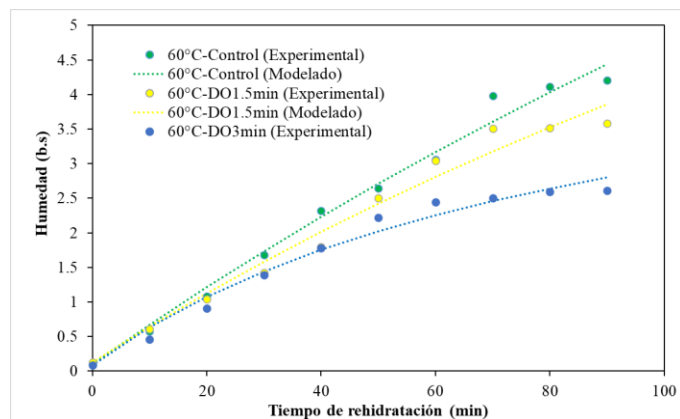


Fig. 6 Cinética de rehidratación a 60°C de rodajas de Pera (muestra control), luego del proceso de pretratamiento osmótico (DO) y el proceso de secado a 40°Brix por 1.5min y 3 min. Los puntos indican datos experimentales (n=3) y las curvas punteadas indican datos modelados según el modelo de Peleg.

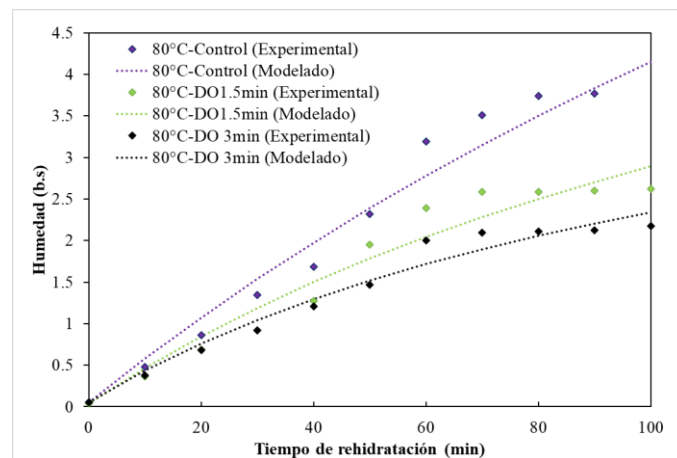


Fig. 7 Cinética de rehidratación a 80°C de rodajas de Pera (muestra control), luego del proceso de pretratamiento osmótico (DO) y el proceso de secado a 40°Brix por 1.5min y 3 min. Los puntos indican datos experimentales (n=3) y las curvas punteadas indican datos modelados según el modelo de Peleg.

En la Tabla II, se presentan los parámetros cinéticos k_1 y k_2 obtenidos mediante el ajuste de datos experimentales a la ecuación de Peleg, así como el coeficiente de determinación R^2 . El modelo de Peleg demostró un ajuste satisfactorio para describir la cinética de rehidratación en las condiciones evaluadas. Los valores del coeficiente de determinación R^2 oscilaron entre 0.919 y 0.987, lo que indica que el modelo explica más del 91% de la variabilidad de los datos experimentales, validando su uso para predecir el comportamiento de la rehidratación en estas matrices.

Los valores de k_1 , indican que las muestras deshidratadas a 40 °C presentaron una velocidad de hidratación más alta (valores de k_1 más bajos), esto concuerda con lo afirmado previamente. Por otro lado, los valores de k_2 sugieren que las muestras control y pretratadas con DO por 1.5 min seguidas de secado a 60 o 80 °C, presentaron la mejor capacidad de retención de agua (valores de k_2 más bajos).

Desde un punto de vista práctico, la diferencia en la capacidad de rehidratación entre los tratamientos tiene implicancias directas en la aplicación del producto deshidratado. Las muestras con mayor tasa de rehidratación (k_1 bajo, secadas a 40°C con DO de 1.5 min) serían más adecuadas para su uso como ingrediente en productos que requieran rehidratación rápida, como sopas instantáneas o snacks reconstituibles. Por el contrario, las muestras con mayor retención de agua (k_2 bajo, secadas a 60–80°C sin DO o con DO de 1.5 min) presentarían mayor estabilidad durante el almacenamiento al resistir la absorción de humedad ambiental.

TABLA II
PARÁMETROS CINÉTICOS DEL MODELO DE PELEG UTILIZADO PARA DESCRIBIR LA CINÉTICA DE REHIDRATACIÓN

TRATAMIENTO	k_1 [min·(g agua/g m.s.) ⁻¹]	k_2 (g agua/g m.s.) ⁻¹	R^2
40°C-Control	11.321 ± 2.7522 ^c	0.3327 ± 0.0397 ^a	≥ 0.919
40°C-DO1.5min	11.5872 ± 0.6074 ^c	0.101 ± 0.0032 ^{cd}	≥ 0.968
40°C-DO3min	11.2945 ± 0.8508 ^c	0.225 ± 0.0079 ^b	≥ 0.987
60°C-Control	16.9013 ± 0.4621 ^b	0.0412 ± 0.0042 ^c	≥ 0.982

60°C-DO1.5min	18.0587 ± 0.7278 ^b	0.0658 ± 0.0083 ^{de}	≥	0.979
60°C-DO3min	16.3195 ± 0.6201 ^b	0.1866 ± 0.0028 ^b	≥	0.975
80°C-Control	17.973 ± 0.3687 ^b	0.0627 ± 0.0041 ^{de}	≥	0.964
80°C-DO1.5min	21.8679 ± 0.654 ^a	0.1222 ± 0.0085 ^c	≥	0.954
80°C-DO 3min	24.3813 ± 0.7322 ^a	0.1857 ± 0.0092 ^b	≥	0.965

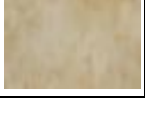
C. Efecto del pretratamiento y secado en el color

El color superficial de las rodajas de pera pretratadas se evaluó empleando el sistema de coordenadas cromáticas CIELab (L^* , a^* , b^*) (Tabla III). Los valores obtenidos corresponden a la media de tres mediciones por tratamiento, el parámetro L^* representa la luminosidad (0 = negro, 100=blanco), a^* el eje rojo-verde (valores positivos indican tendencia al rojo y negativos al verde) y b^* el eje amarillo-azul (valores positivos indican tendencia al amarillo).

Los resultados obtenidos en el análisis colorimétrico demuestran una influencia significativa de la temperatura de secado y la concentración del pretratamiento sobre la calidad final de las rodajas deshidratadas. Se observó que el secado a 40 °C y 60 °C en todos los niveles de pretratamiento con DO promovió tonalidades pardas o rojizas (mayor a^*), esto podría deberse a que hubo actividad de enzimas oxidasas, las cuales pardearon la muestra. Tanto el tiempo prolongado como la temperatura de secado moderadas no inactivaron rápidamente estas enzimas. Por el contrario, el tratamiento a 80°C con el nivel de pretratamiento preservó mejor las características visuales del producto, alcanzando valores más altos de luminosidad (L^* 71.08) y los menores tonos rojizos (a^* = 2.70). Esto indicaría que el contacto de las muestras con este nivel de temperatura provocó la rápida inactivación de enzimas, previniendo el pardeamiento en las muestras.

TABLA III
PARÁMETROS DE COLOR L^* , a^* Y b^* DETERMINADOS EN LAS MUESTRAS DE PERA DESHIDRATADAS CON CADA TRATAMIENTO

Tratamiento	L^*	a^*	b^*	Muestra
40°C-Control	55.55	14.37	26.85	
40°C-DO1.5min	57.69	13.84	29.08	
40°C-DO3min	55.38	9.74	27.56	
60°C-Control	59.11	12.85	30.07	

60°C-DO1.5min	64.26	6.34	18.23	
60°C-DO3min	58.74	16.19	33.55	
80°C-Control	62.00	6.55	30.93	
80°C-DO1.5min	62.99	4.49	23.59	
80°C-DO 3min	71.08	2.70	19.88	

IV. CONCLUSIONES

La investigación determinó que tanto el incremento de la temperatura de secado convectivo como la aplicación del pretratamiento de deshidratación osmótica (DO) influyen significativamente en la cinética de secado y la calidad final de las rodajas de pera. Se concluye que el tratamiento a 80°C con 3 min de DO fue el más eficiente en términos de eliminación de humedad y presentó la muestra más clara en cuanto a color, siendo este comportamiento descrito con precisión por el modelo de Page ($R^2 > 0.99$). Sin embargo, se observó un efecto inverso en la capacidad de rehidratación; aunque el pretratamiento de 1.5 minutos mejoró la absorción de agua al mantener una estructura porosa, el tratamiento prolongado de 3 minutos combinado con altas temperaturas provocó un colapso estructural, reduciendo la capacidad de rehidratación. Por lo tanto, aunque las condiciones más severas optimizan el tiempo de proceso y la apariencia visual, comprometen la reversibilidad del secado. Estos resultados constituyen una base técnica relevante para el diseño de procesos de deshidratación de pera a escala industrial, contribuyendo a la reducción de pérdidas postcosecha y al desarrollo de productos con mayor vida útil y valor agregado.

Para futuras investigaciones, se recomienda profundizar en el análisis de la calidad nutricional del producto final, evaluando la retención de compuestos bioactivos como la vitamina C y los fenoles totales, dado que las altas temperaturas pueden degradarlos y su conservación es determinante para clasificar el producto como un alimento saludable con potencial funcional. Asimismo, sería beneficioso realizar estudios de microestructura mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) para corroborar visualmente el daño celular y la porosidad inferida en los resultados de rehidratación, lo que permitiría relacionar cuantitativamente la estructura con la funcionalidad del producto rehidratado. Finalmente, se sugiere explorar la

escalabilidad del proceso en equipos de secado de mayor capacidad y evaluar el impacto económico del pretratamiento osmótico en el costo total del procesamiento. AGRADECIMIENTO

Al “Laboratorio de Producción” y al Ing. Diego Ruiz, por apoyarnos con los instrumentos del laboratorio y guiarnos en el proceso de experimentación de nuestra investigación.

REFERENCIAS

- [1] Abdul, B., Raheem, S., Abdul, M., Asim, M., Wang, R., Liu, Y., Gong, X., Khanizadeh, S., Muhammad, A. y Tao, S. (2025). A critical review on pear Fruit's polyphenols and its chlorogenic acid: Composition, bioavailability, and pharmacological potential. *Food Bioscience*. <https://sciencedirect.bibliotecaupn.elogim.com/science/article/pii/S212429225005838>
- [2] Instituto Nacional de Salud. (2017). Tabla Peruana de Composición de Alimentos (8.^a ed.). Centro Nacional de Alimentación y Nutrición. <https://repositorio.ins.gob.pe/xmlui/handle/20.500.14196/24>
- [3] Nafiseh, J., Saeed, D., Maryam, K. y Jalal, D. (2025). Impact of osmotic dehydration and coating on physical and microstructural properties of deep fat fried potatoes. *Applied Food Research*, Volume 5, Issue 2, 2025, 101352, ISSN 2772-5022, <https://doi.bibliotecaupn.elogim.com/10.1016/j.afres.2025.101352>.
- [4] Tavares Saraiva, M.M., Pereira da Silva, W., Cavalcanti Costa, C., De Franca Silva, A.P., De Vilela, E.T., Valentim Mora, H., Albuquerque Junior, N., Santos Amadeu, L.T., Santos Andrade, F., Oliveira Carvalho, R., Feitosa de Figueiredo, R.M. y Palmeira Gomes, J. (2025). Impact of freezing-thawing and osmotic dehydration as pretreatments on the convective drying of umbu slices (*Spondias Tuberosa* arr. Câmara): mathematical modeling and evaluation of physical quality parameters. *Applied Food Research*, Volume 5, Issue 1, 2025, 101038, ISSN 2772-5022, <https://doi.bibliotecaupn.elogim.com/10.1016/j.afres.2025.101038>.
- [5] Kim, S., Jeong, U., In Ju, H., Jeong, S. y Un Lee, D. (2023). Effect of pulsed electric field pretreatment on mass transfer during hot air drying: Drying and rehydration properties of sweet potato. *Elsevier*. <https://sciencedirect.bibliotecaupn.elogim.com/science/article/pii/S1466856423001832#bbb003>
- [6] Salehi, F., Goharpours, K. y Kamran, H. (2024). Effects of different pretreatment techniques on the color indexes, drying characteristics and rehydration ratio of eggplant slices. *Revista Elsevier*. <https://sciencedirect.bibliotecaupn.elogim.com/science/article/pii/S2590123023008174>
- [7] Domínguez Niño, A., Salgado Sandoval, O., López Vidaña, E.C., César Munguía, A.L., Pilatowsky Figueroa, I. y García Valladares, O. (2021). *Revista web of science*. Vol 46, pg 1128-1141. <https://webofscience.bibliotecaupn.elogim.com/wos/woscc/full-record/WOS:000613608200001>
- [8] Park, K. J., Bin, A., & Brod, F. P. R. (2002). Osmotic dehydration kinetics of pear d'Anjou (*Pyrus communis* L.). *Journal of Food Engineering*, 52(3), 293-298. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00118-2](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00118-2)
- [9] Doymaz, I. y Ismail, O. (2012). Caracterización experimental y modelización del secado de rodajas de pera. *Food Sci Biotechnol* 21, 1377–1381. <https://doi.org/10.1007/s10068-012-0181-3>
- [10] Faustino, J. M. F., Barroca, M. J. y Guiné, R. P. F. (2007). Study of the Drying Kinetics of Green Bell Pepper and Chemical Characterization. *Food and Bioprocess Processing*. Volume 85, Issue 3, Pages 163-170. <https://doi.org/10.1205/fbp07009> Get rights and content
- [11] Da Costa RibeirO A.S., Aguiar-Oliveira, E. y Resende Maldonado, R. (2016). Optimization of osmotic dehydration of pear followed by conventional drying and their sensory quality. *Food Science and Technology*, Vol 72, Pages 407-415. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.04.062>.
- [12] Lewicki, P. P. (1998). Some remarks on rehydration of dried foods. *Journal of Food Engineering*, 36(1), 81-87. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(98\)00022-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(98)00022-3)