

Rodajas de peras fortificadas con calcio y zinc para la elaboración de un tentempié

Daniela Bosco, Patricia Della Rocca

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Centro de Tecnologías Químicas (CTQ), Av. Medrano 951, (C1179 AAQ), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

patriciadellarocca@hotmail.com

Recibido el 30 de julio de 2021, aprobado el 24 de agosto de 2021

Resumen

El objetivo de este trabajo fue obtener peras de la variedad Packham's Triumph secadas por microondas en simultáneo con convección con aire caliente (secado combinado), previo pretratamiento por impregnación con calcio y zinc para mejorar su valor nutricional, su textura y alcanzar una adecuada humedad que permitiese extender su vida útil. De esta forma se obtiene un tentempié ("snack") práctico para su consumo y almacenamiento, puesto que no requiere ser rehidratado ni refrigerado y posee una vida útil extendida mediante procesos que preservan los nutrientes del vegetal, casi no modifican sus características organolépticas y no contiene conservantes sintéticos.

PALABRAS CLAVE: PERAS FORTIFICADAS - PERAS SECADAS POR MICROONDAS Y CONVECCIÓN - SECADO COMBINADO DE PERAS - PERAS IMPREGNADAS CON CA Y ZN - PERAS DESHIDRATADAS OSMÓTICAMENTE

Abstract

The aim of this thesis is to obtain pears (var. Packham's Triumph) dried by a combined method (microwave and hot air convection), pretreated by osmotic dehydration/impregnation process with calcium and zinc. The main purpose is to improve the nutritional value, the characteristic texture and reach an adequate humidity which allows a stable shelf product. In this way, a practical "snack" is obtained for consumption and storage, since it does not require rehydration or refrigeration and has an extended shelf life through processes that preserve the nutrients of the vegetable, without modifying its organoleptic characteristics and does not contain synthetic preservatives.

KEYWORDS: FORTIFIED PEARS - PEARS DRIED BY MICROWAVE AND CONVECTION - COMBINED DRYING OF PEARS - PEARS IMPREGNATED WITH CA AND ZN

Introducción

El consumo de frutas y vegetales resulta beneficioso para la salud no sólo por su aporte en compuestos de elevado valor nutritivo, sino también por su contribución a la prevención de ciertas enfermedades tales como cáncer, diabetes y patologías cardiovasculares. Asimismo, las frutas con sus componentes bioactivos intervienen en el retraso de procesos degenerativos como el envejecimiento. En la actualidad, los ritmos de vida vertiginosos y los hábitos más sedentarios de la población promueven una inadecuada alimentación. La mayoría de las personas optan por consumir refrigerios que generalmente son poco saludables (alto contenido de lípidos y sodio y bajo en minerales como calcio, hierro y zinc). Por ello, la importancia de la elaboración de un refrigerio a base de fruta. Además, que las peras se consideran una buena fuente de fibra (3,1 g/100 g, USDA, 2016) y pueden suministrar cantidades sustanciales de potasio (Xue, 2004).

La pera, variedad Packham's Triumph se eligió para elaborar este tentempié. Mediante la elaboración de este "snack" se puede mejorar su sabor, textura y propiedades nutricionales. Además, pueden aprovecharse los desperdicios que se generan durante las inclemencias climáticas y los problemas de manejo de la cosecha en la obtención de este producto. En este trabajo se realizó la incorporación de minerales a las peras por inmersión en una solución con lactato de calcio y acetato de zinc en una concentración de 5% m/m y de 0,1% m/m, respectivamente. Por su parte, el lactato de calcio posee una moderada solubilidad en agua a 25°C (9,3 g/L) y su sabor es ligeramente dulce. La fruta deshidratada osmóticamente en soluciones con lactato de calcio muestra una buena aceptación sensorial (Yadav y Singh, 2014). En cuanto al acetato de zinc, se presenta como un polvo cristalino blanco y es fácilmente soluble en agua (Puerto Galán, 2016). Existen algunas sugerencias de que el gluconato de zinc es más eficaz, sin embargo, podría provocar ciertas intolerancias digestivas (Penny, 2013). Durante este pretratamiento se produce la deshidratación osmótica y la impregnación con minerales de forma simultánea. La solución en la que se sumerge el producto ejerce un efecto deshidratante a través de la diferencia de presión osmótica que se manifiesta entre la solución y el alimento. Se produce un flujo de agua desde el alimento hacia la solución hipertónica y un contraflujo de solutos que integran la solución hacia el producto. De esta manera, el alimento disminuye su humedad además de impregnarse con los minerales en forma simultánea. Durante este proceso, se trabajó a presión atmosférica ya que otros investigadores encontraron que esta es la forma más conveniente para obtener un tentempié de textura adecuada. En el proceso de deshidratación osmótica se producen modificaciones significativas tales como la reducción en el volumen, el cambio de forma y la estructura del alimento, así como variaciones en los coeficientes de difusión y de transferencia de masa (Spiazzi y Mascheroni, 1997). La humedad alcanzada luego de la deshidratación osmótica no llega a un valor que evite su deterioro microbiano, por lo que, para extender la vida útil del producto, posterior al pretratamiento por deshidratación osmótica se procede a realizar un secado para llegar a una humedad cercana al 20 %, tal lo recomendado por el Código Alimentario Argentino, CAA.

El objetivo principal fue obtener un tentempié "snack" que posea un alto contenido en minerales (Ca y Zn) a través de un proceso de deshidratación osmótica/impregnación y una vida útil extendida que se pueda lograr mediante la aplicación de un secado combinado posterior al pretratamiento.

El calcio no es un mineral abundante en la mayoría de los alimentos habituales de la dieta occidental. Los principales alimentos aportadores son los lácteos donde el calcio se encuentra unido a la caseína del suero. La leche humana presenta una relación calcio/fósforo, óptima (2:1) y factores potenciadores de la absorción (lactosa, algunos péptidos y ciertas características de los lípidos), por lo cual la biodisponibilidad del calcio es muy elevada en la leche. Algunas hortalizas de hoja (acelga y espinaca), los pescados que se consumen con espigas (cornalitos, conservas), algunos frutos secos y semillas (almendra, sésamo, etcétera) pueden ser aportadores importantes. Sin embargo, en el caso de verduras, frutos secos y se-

millas, la biodisponibilidad puede ser baja debido a la presencia de algunos componentes como los oxalatos, fitatos y fibra que disminuyen la absorción, por formación de complejos insolubles. En el caso de la pera su contenido en oxalato es de bajo a medio (2-10 mg por cada 100g de pera).

La ingesta recomendada por día de calcio en niños de 4 a 8 años es de 800 mg y en el rango etario de 9 a 18 años es de 1100 mg para ambos sexos. En adultos de 19 a 70 años es de 800 mg en los hombres y de 800-1000 mg en las mujeres.

El zinc es esencial para la actividad de una gran cantidad de enzimas, de las cuales las más conocidas se relacionan con la utilización de energía, la síntesis de proteínas y la protección oxidativa (Cousins, 1997) ya sea por formar parte constitutiva de la molécula o requerirlo como cofactor. El zinc juega un papel fundamental en la estabilización de ciertas macromoléculas (incluyendo algunos receptores) y de las membranas celulares; regula la transcripción, uniéndose a proteínas nucleares.

Las necesidades diarias para un adulto de entre 19 a 70 años son de 11 mg para el varón y de 8 mg para la mujer, ya que su biodisponibilidad es del 30 % para las dietas occidentales. En niños entre 1 y 3 años es 2,5 mg y en el rango etario de 4 a 8 años es 4 mg por día. Para ambos sexos de entre 9 a 13 años es 8 mg y entre 14 a 18 años en hombres es 11 mg y en mujeres 9 mg diarios.

Parte experimental

Materiales

El Alto Valle de Río Negro y Neuquén es la principal zona productora y exportadora de peras de la Argentina.

Pera Packham's Triumph pertenece a los frutales de pepitas, orden Rosales, familia Rosaceae, subfamilia Maloideae o Pomoideae, género *Pyrus* especie *Communis* L.

Cabe destacar que en ocasiones esta variedad posee una textura más arenosa y menor dulzor que otras variedades como la Williams, también muy consumida en nuestro país, especialmente como pera fresca. Por ello, esta variedad es excelente para utilizarla en la elaboración de un "snack", cuyo tratamiento además de mejorar sus propiedades organolépticas y nutricionales, extiende su vida útil.

Las peras se seleccionaron por tamaño y calidad. Se obtuvieron del Mercado Central, siempre con el mismo proveedor (Dimimax Argentina).

Solución deshidratante/impregnación Para realizar la solución deshidratante se utilizó agua destilada y los siguientes solutos:

- . Sacarosa: sacarosa comercial, marca Ledesma.
- . Lactato de calcio: marca Merck, grado alimenticio. El lactato de calcio posee una buena

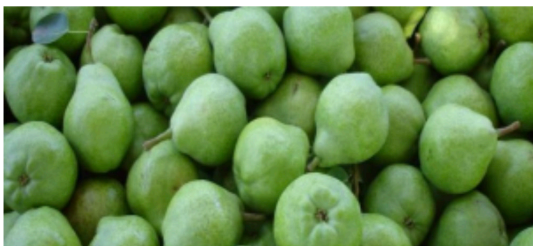


Fig. 1. Peras Packham's triumph

Fuente: INTA, 2012

solubilidad en agua a 25 °C (9,3 g/L) y su sabor es ligeramente dulce. La fruta deshidratada Tentempié de pera fortificado | Bosco 54 osmóticamente en soluciones con lactato de calcio muestra una buena aceptación sensorial (Yadav y Singh, 2014).

. Ácido ascórbico: marca Biopack, grado farmacéutico y alimenticio (USP) (United States Pharmacopea).

. Ácido cítrico: marca Centralchem, anhidro, grado alimenticio.

. Acetato de zinc: marca Biopack, grado analítico. El acetato de zinc se presenta como un polvo cristalino blanco plateado y es fácilmente soluble en agua (Puerto Galán, 2016). Existen algunas sugerencias de que el gluconato de zinc es más eficaz, sin embargo, podría provocar ciertas intolerancias digestivas (Penny, 2013).

Métodos

Determinación de humedad. El contenido de humedad inicial de la pera se determinó según el método estándar (AOAC, 1996) por secado en estufa hasta alcanzar peso constante.

Determinación de sólidos solubles. El contenido inicial de sólidos solubles de la pera fresca se determinó con refractómetro Abbe (precisión $\pm 0,01$).

Determinación de la firmeza de la pulpa. La firmeza se determinó mediante un penetrómetro manual marca Geotech. Mod.:GY-3 (ensayo destructivo) que consiste en un dinamómetro acoplado a un vástago que se introduce 8 mm. en la pulpa de la fruta después de quitar la piel. El elemento penetrante de forma cilíndrica que se utiliza para peras tiene un diámetro de 5/16 pulgadas.

Determinación de la acidez titulable. Los resultados se expresan en mililitros de solución 0,1N de hidróxido de sodio por cada 100 g o 100 ml de producto o bien en gramos del ácido predominante del producto por cada 100 g o 100 ml de éste. Se considera que 1 ml de la solución 0,1N de hidróxido de sodio equivale a: 0,006404 g de ácido cítrico anhidro o a 0,006704 g de ácido málico anhidro (AOAC, 1975).

Experiencias de deshidratación osmótica/impregnación (DO/I) con minerales. Preparación de la solución deshidratante/impregnación Para realizar la deshidratación osmótica, se preparó una solución acuosa utilizando agua destilada, y se emplearon las siguientes concentraciones de solutos:

- . Sacarosa: 40% m/m
- . Lactato de calcio: 5% m/m
- . Ácido ascórbico: 5% m/m
- . Ácido cítrico: 1% m/m
- . Acetato de zinc: 0,1% m/m

Preparación de las muestras de pera. Las peras se lavaron y secaron con papel absorbente. Posteriormente, se descorazonaron y finalmente se cortaron manualmente con ayuda de una mandolina en rodajas de 5 mm de espesor. Se les dejó la piel.

Determinación de las condiciones durante la deshidratación osmótica/impregnación DO/I. Inicialmente, en el proceso de deshidratación osmótica/impregnación con minerales, se llevó a cabo la búsqueda de las concentraciones de soluto adecuadas a utilizar en la solución deshidratante (lactato de calcio y acetato de zinc) para lograr una concentración de minerales adecuadas en el producto. Es decir, una concentración que permitiera cubrir por lo menos un 20-25 % de la dosis diaria recomendada de calcio y zinc en 25 g del producto, considerando esta cantidad adecuada para una porción de un tentempié. Para evitar el pardeamiento enzimático se agregó ácido L ascórbico y ácido cítrico. Se empleó una concentración de sacarosa de 40 % m/m, basándose en las experiencias realizadas por Della Rocca, 2010 y Bellocq, 2012. Se extrajeron muestras a distintos tiempos durante el

proceso de deshidratación osmótica/impregnación para evaluar la humedad del producto y así luego poder modelar la cinética del proceso (concentración de humedad en función del tiempo). También se determinó la variación de la concentración de minerales (Ca y Zn) ganados durante el tiempo de la impregnación del producto.

Condiciones finales de trabajo en las experiencias de deshidratación osmótica/impregnación de minerales. Las rodajas de peras de 5 mm de espesor se sumergieron en una solución acuosa de 40% m/m de sacarosa, 5% m/m de lactato de calcio, 5% m/m de ácido ascórbico, 1% m/m de ácido cítrico y 0,1 % m/m de acetato de zinc (49 °Brix) a una temperatura de 40°C. Se empleó una relación masa de Tentempié de pera fortificado | Bosco 59 solución/masa de peras de 4:1. El recipiente contenedor de las peras con la solución deshidratante se colocó en un agitador orbital con cámara termostatzada a 40 °C con un nivel de agitación de 120 rpm. Durante este proceso, se trabajó a presión atmosférica.

Determinación de calcio y potasio de las muestras tratadas por deshidratación osmótica/impregnación por espectrometría de absorción atómica. Los minerales calcio y potasio de las muestras de pera pretratadas por deshidratación osmótica/impregnación se analizaron por espectrometría de absorción atómica.



Fig. 2. Preparación de la solución de deshidratación/impregnación



Fig. 3. Rodajas de peras en la solución deshidratante



Fig. 4. Equipo de deshidratación osmótica: agitador orbital y sistema solución-pera en su interior

Determinación de zinc de las muestras tratadas por deshidratación osmótica/impregnación. La determinación de zinc de las muestras se realizó por Espectroscopía de Emisión Atómica con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-OES).

Secado combinado (microondas y convección con aire caliente) y comparación con secado convencional solo por convección con aire caliente de las muestras deshidratadas/impregnadas. Posterior a la deshidratación osmótica/impregnación se realizó el secado simultáneo en microondas y convección con aire caliente. Se trabajó en un equipo de microondas marca De Longhi, que permite trabajar en un modo de secado combinado (microondas y convección con aire simultáneamente).

Luego, se comparó este secado combinado con el secado en estufa sólo por convección con aire caliente a las siguientes temperaturas: 90 °C, 120 °C y 160 °C. Se seleccionó la temperatura más adecuada, teniendo en cuenta las características organolépticas del producto obtenido: sabor, color y textura. Durante esta etapa se elaboraron las curvas de humedad del producto en función del tiempo de secado para luego poder modelar matemáticamente estos dos procesos de secado diferentes. En el secado combinado, también se buscaron las potencias de microondas y los tiempos adecuados de microondas con los cuales trabajar para alcanzar los parámetros de calidad deseables (sabor, color, textura y microestructura). Se trabajó en un rango de potencias de (40-80 % de la potencia máxima del microondas, 1000W) y en un rango de tiempos de (10-20 min).

Curvas de secado combinado y de secado solo con convección con aire caliente. Luego de seleccionar las potencias de microondas adecuadas para el secado (500W y 600 W) y los tiempos de cocción y de reposo entre cocciones, se realizaron las curvas de secado (humedad en función del tiempo). Se tomaron las muestras para determinar humedad cada 1 min. Asimismo, las peras se colocaron en la estufa de convección a una temperatura de 90 °C y se extrajeron muestras a determinados tiempos de 0,5 h, 1 h, 2 h, 3 h, 4 h y 5 h para determinar humedad para cada tiempo y de esta manera construir la curva de secado convectivo (humedad en función del tiempo). Las curvas de secado combinado se compararon con las curvas de secado convencional con aire caliente solo.

Modelados matemáticos

Para el proceso de deshidratación osmótica/impregnación se emplearon los siguientes modelos (Tabla 1).

Para el modelado del proceso de secado combinado (simultáneo con microondas y convección con aire caliente) y secado convectivo (con aire caliente) Se ajustaron los datos experimentales de humedad en función del tiempo a distintos modelos de bibliografía: modelo de Page (1949), Crank (1975) y Wang y Singh (2002) (Tabla 2).

Tabla 1. Modelos matemáticos para el proceso de deshidratación osmótica/impregnación

Modelos	Ecuaciones
Page (1949)	$[(H_t - H_e)/(H_0 - H_e)] = \exp(-K t^N)$
Page modificado	$\frac{(H_t - H_e)}{(H_0 - H_e)} = A e^{-K t^N}$
Henderson y Pabis (1961)	$[(H_t - H_e)/(H_0 - H_e)] = A \exp(-K t)$
Midilli et al. (2002)	$[(H_t - H_e)/(H_0 - H_e)] = A \exp(-K t^N) + B t$
Crank (basado en la 2° ley de Fick de la difusión)	$\frac{(c_t - c_e)}{(c_0 - c_e)} = \sum_{n=1}^{\infty} C_n \exp[-q_n^2 D_{eff} t / a^2]$

Tabla 2. Modelos matemáticos para el proceso de secado

Modelos	Ecuaciones
Page (1949)	$[(H_t - H_e)/(H_0 - H_e)] = \exp(-K t^N)$
Crank (1975)	$\frac{C_t - C_e}{C_0 - C_e} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{8}{(2n+1)^2 \pi^2} \exp\left[-(2n+1)^2 \pi^2 \frac{D_{ef}}{L^2} t\right]$
Wang y Singh (2002)	$\frac{H_t - H_e}{H_0 - H_e} = A.t^2 + B.t + C$

Tratamiento estadístico aplicado a los datos experimentales

El ajuste de los modelos cinéticos a los datos experimentales se realizó mediante regresión no lineal, con la aplicación Excel 2010 por el método de mínimos cuadrados y la herramienta Solver. Para evaluar la bondad del ajuste del modelo a los datos, se tuvo en cuenta el coeficiente de determinación, R^2 .

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (V_{pred\ i} - V)^2}{\sum_{i=1}^N (V_{exp\ i} - V)^2}$$

Donde:

V = promedio de todos los N datos experimentales

N = número de datos experimentales

Subíndices pred: indica valor predicho por el modelo

exp: indica valor experimental

i: valor iésimo, cada uno de los N valores

Microscopía electrónica de barrido, MEB (acrónimo en inglés: SEM, Scanning Electron Microscopy). Se tomaron microfotografías de las rodajas de peras con piel. Las secciones para analizar fueron cubos de 5 mm de arista. En la Figura 5 se puede apreciar en las zonas donde se realizaron los cortes de los cubos: parte externa de la pulpa, cercana a la piel; parte interna, lejos de la piel y también se hicieron cortes de cubos en la piel.

Análisis sensorial. El análisis sensorial se llevó a cabo mediante una prueba de con-

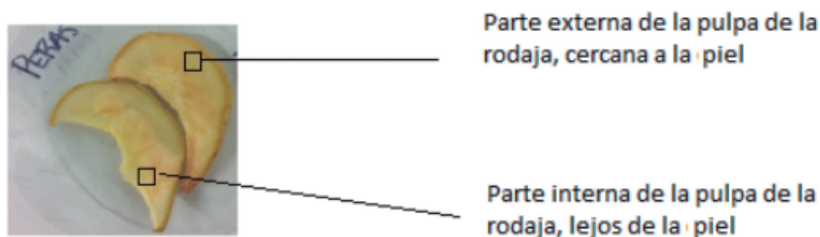


Fig. 5. Imagen que señala las partes en las que se seccionaron los cubos para analizar con el microscopio electrónico de barrido, acoplado con energía dispersiva de rayos X

sumidores. Se realizó con un panel no entrenado, en el que intervinieron 47 personas, estudiantes de la carrera de enfermería y de nutrición de la Universidad del Salvador. Para la prueba se seleccionaron dos muestras de las peras experimentales por sus mejores características sensoriales y se contrastaron con una muestra comercial sin fortificación de nutrientes (muestra 231).

Resultados y discusión

En la Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos de la caracterización de las peras Packham's Triumph en estado fresco.

Deshidratación osmótica/impregnación de las peras (DO/I). En la Figura 6 se presentan los datos experimentales de humedad de la pera en base húmeda (b.h.) en función del tiempo de deshidratación osmótica. Se graficaron los promedios de los triplicados.

Los datos experimentales de humedad en base húmeda se correlacionaron en función del tiempo con una ecuación de segundo grado. La expresión de la ecuación es:

$$H = 0,1998 t^2 - 4,3808 t + 83,544$$

cuyo coeficiente de determinación, R^2 es de 0,981. La curva correspondiente a la ecuación que ajusta los datos experimentales promedio se halla en la Figura 5. El flujo de materia que se produce en el interior del tejido del fruto en el proceso de deshidratación osmótica es un fenómeno de alta complejidad en el que la estructura del tejido tiene un protagonismo muy importante (Vicente, 2016). La pérdida de agua se relaciona con las condiciones de operación y las características propias del tejido celular del vegetal (Toreggiani *et al.*, 1986 a y b; 1988; Islam y Flink, 1982; Lericci *et al.*, 1985). La disminución de la humedad del fruto durante el proceso depende significativamente de su porosidad, característica intrínseca de cada especie. La porosidad de la pera se halla comprendida entre 4 -7 % (Madiouli *et al.*, 2012).

Tabla 3. Resultados de la caracterización de la pera en estado fresco

Contenido de humedad (b.h.) (%)	85,15 ± 0,62
Contenido inicial de sólidos solubles (° Brix)	13,3 ± 1,3
Firmeza de la pulpa (lbf/pulg ²)	14,9 ± 1,5
Acidez titulable (g/L)	3,8 ± 0,4

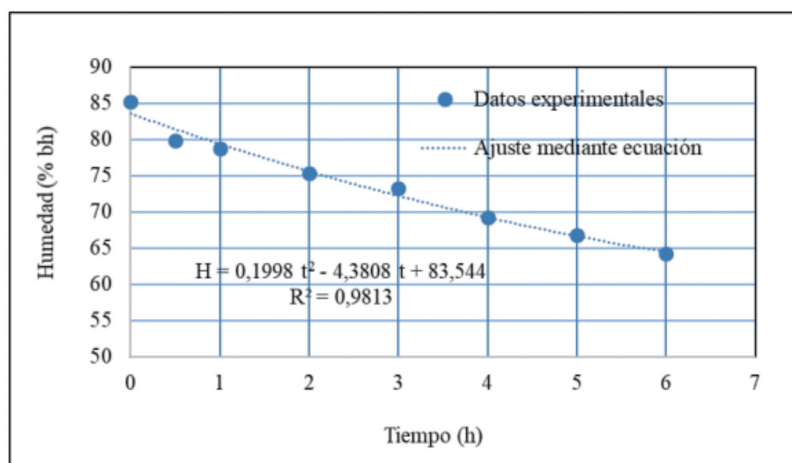


Fig. 6. Humedad de la pera en función del tiempo de deshidratación osmótica

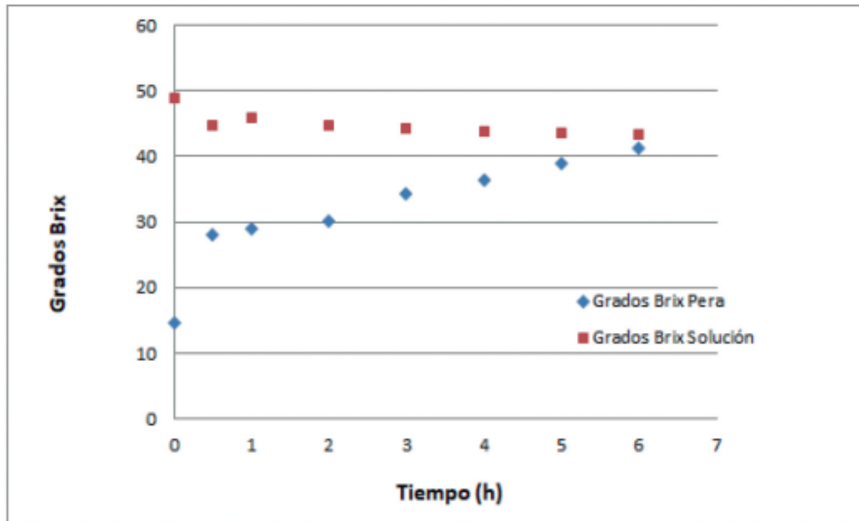


Fig. 7. Grados Brix de las peras y de la solución deshidratante durante el proceso de deshidratación osmótica/impregnación

Tabla 4. Parámetros de las ecuaciones de los modelos y bondades del ajuste (R^2)

Modelo	A	K (h^{-N})	N	B (h^{-1})	R^2
Page (1949)		0,493	0,777		0,989
Page modificado	0,759	0,073	2,0		0,981
Henderson y Pabis (1961)	1,039	0,383			0,928
Midilli et al. (2002)	0,984	0,219	0,982	-0,034	0,959

Cabe destacar que, simultáneamente a la deshidratación osmótica ocurre el proceso de impregnación del fruto con solutos provenientes en la solución. En la Figura 7 se puede observar las variaciones de los grados Brix de la solución deshidratante y de la pera durante el tiempo de deshidratación osmótica/impregnación. En la solución se produce la caída de los grados Brix por el pasaje de agua a la solución. Tal como se señaló anteriormente, la máxima pérdida de agua de las peras se produce en las primeras dos horas. Este fenómeno produce una dilución de la solución deshidratante que coincide con la disminución de grados Brix de la solución que se produce en las primeras dos horas. En el caso de los grados Brix de la pera se observa un rápido aumento a las dos horas y luego un paulatino incremento hasta alcanzar un valor similar al correspondiente a la solución a las 6 horas de transcurrido el proceso de deshidratación osmótica/impregnación.

Modelado matemático del proceso de deshidratación osmótico/impregnación. En la Tabla 4 se presentan los resultados obtenidos al ajustar los modelos matemáticos que describen los datos experimentales correspondientes a la variación de la humedad en función del tiempo durante el proceso de deshidratación osmótica/impregnación con minerales. Estos modelos (Page (1949), Page modificado, Henderson y Pabis (1961) y Midilli *et al.* (2002)) son empíricos, permiten obtener los parámetros que contribuyen a la interpretación del proceso físico, pero sus valores son válidos en condiciones similares a las de las experiencias realizadas.

Los modelos de Page y de Midilli *et al.* presentan valores de N, cercanos a 1; el de Henderson y Pabis considera orden 1 y el de Page modificado ajusta con valor 2. Los resultados obtenidos con el modelo de Midilli *et al.* están comprendidos en el rango de los obtenidos por Rodríguez (2014) en procesos de deshidratación osmótica de frutos del bosque. La constante A presentó valores entre 0,687144 y 1,280851, mientras que K se mantuvo entre (0,0036 y 47,56 h⁻¹, N entre 0,458610 y 1,326325 y, por último, la constante B estuvo comprendida entre (-0,0576 y 0,0216 h⁻¹). A continuación, se presentan los gráficos correspondientes de los diferentes modelos aplicados a los datos experimentales de variación de la humedad en función del tiempo. Los valores de humedad, graficados corresponden a los promedios de las experiencias realizadas por triplicado.

La Figuras 8 muestra los valores experimentales y el ajuste del modelo de Page.

La ecuación de Page presenta la ventaja de su reducido número de parámetro y por consiguiente su simplicidad matemática. Se puede afirmar que, desde el punto de vista ingenieril este modelo permite una correcta simulación del proceso.

Curvas de absorción de calcio y zinc en el proceso de impregnación de las peras. Es importante destacar que la impregnación se llevó a cabo a presión atmosférica. Es decir, se

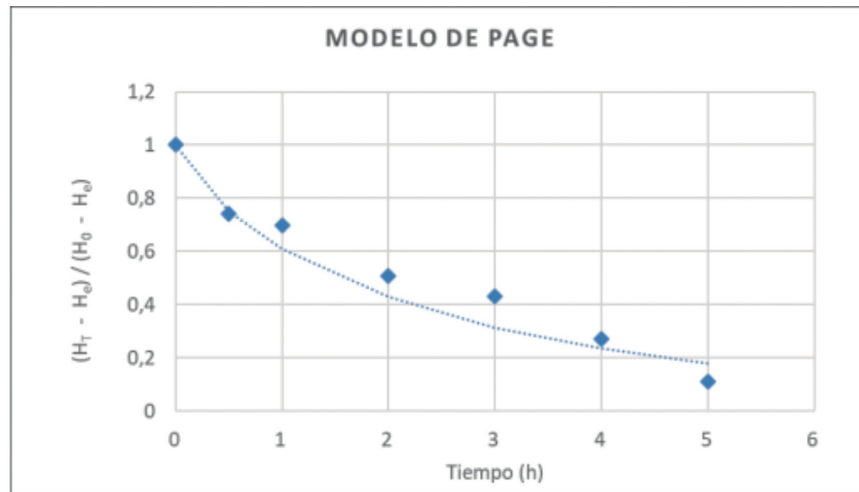


Fig. 8. Datos experimentales del proceso de deshidratación osmótica/impregnación y ajuste del modelo de Page

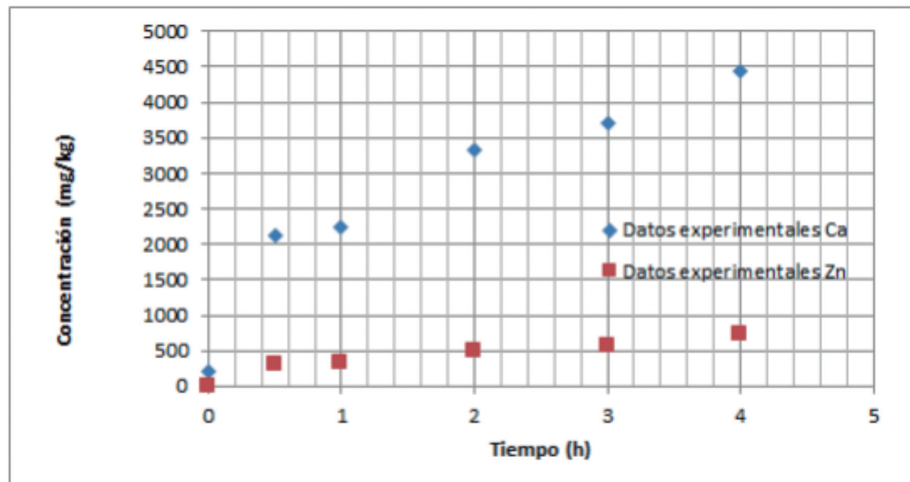


Fig. 9. Concentración del Ca y del Zn en la pera a diferentes tiempos de deshidratación osmótica/impregnación

tuvieron en cuenta los resultados de Casim, 2011 que sugiere que, para obtener productos más crocantes, porosos y poco fuertes, similares a un producto “snack”, el pretratamiento de impregnación debe llevarse a cabo a presión atmosférica ya que la impregnación al vacío da lugar a productos más resistentes a la ruptura, similares a un caramelo duro. En la Figura 9 se presentan las curvas de absorción de calcio y de zinc durante la deshidratación osmótica/impregnación. En la pera fresca, sin tratamiento la concentración de calcio y de zinc es de 204 mg/kg y de 2,1 mg/kg, respectivamente. Durante la primera hora de DO la absorción de calcio y de zinc es de 2250 mg/kg y de 326,44 mg/kg, respectivamente. Como puede apreciarse en este gráfico, la velocidad de absorción para el calcio y para el zinc es máxima en la primera hora de impregnación. Posteriormente, disminuye gradualmente con el tiempo. Después de las dos horas, el incremento en la absorción tanto del calcio como del zinc continúa, pero se realiza muy paulatinamente. Después de un tratamiento de impregnación durante 1 h, 1 kg de pera absorbe calcio en un valor 2,25 veces superior a la ingesta recomendada diaria para un adulto (1000 mg/día) y en el caso del zinc 30 veces mayor a la ingesta recomendada diaria para un adulto (11 mg/día), cuando la pera se sumergió en una solución de las características indicadas en el ítem Métodos. Debido a que los valores absorbidos del mineral zinc por las peras fueron muy elevados se debió corregir la concentración del zinc en la solución de osmodeshidratación/impregnación. Por consiguiente, se disminuyó la concentración de acetato de zinc en la solución de impregnación 6 veces, con el fin de llegar a cubrir un % de la IDR que sea adecuado a la porción que se consume en un tentempié (25 g/día). Respecto del calcio el contenido es adecuado, teniendo en cuenta que 25 g de producto aportan 56,25 mg de calcio, permitiendo cubrir un 6-7% de la IDR (800- 1100 mg/día). Cabe destacar que estas muestras en el proceso posterior de secado pierden agua y se concentrarán los minerales, así como también podría producirse alguna pérdida de ellos (pero en un menor porcentaje).

Estimación de los coeficientes de difusividad efectiva mediante el modelo de Crank

Coefficiente de difusividad efectiva del agua

Para la estimación de los coeficientes de difusividad o de difusión efectivos o aparentes para el transporte del agua durante la deshidratación osmótica se aplicó el modelo de Crank, para el caso de geometría de láminas semi-infinitas. En la Figura 10 se presenta el $\ln [(H_t - H_e) / (H_0 - H_e)]$ versus el tiempo. A partir del valor de la pendiente de la recta se obtuvo el coeficiente de difusividad efectiva del agua, cuyo valor fue de $2,18 \pm 0,6 \times 10^{-10} \text{ m}^2 / \text{s}$. Este valor se halla aproximadamente entre los encontrados en la literatura para peras. Garrote et al. (1992) informó valores promedios de $1 \times 10^{-10} \text{ m}^2 / \text{s}$ en soluciones de 67,5 ° Brix a 25

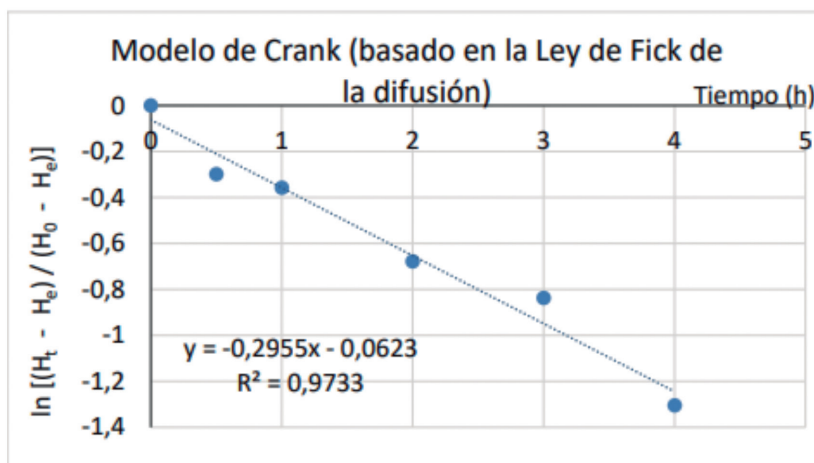


Fig. 10. Datos experimentales del proceso de deshidratación osmótica/impregnación y regresión lineal del modelo de Crank

°C y Park *et al.* (2002) reportó un rango de $(3,5 \times 10^{-10} - 1,92 \times 10^{-9} \text{ m}^2 / \text{s})$ en condiciones de temperatura de $(40 - 60 \text{ }^\circ\text{C})$ y soluciones de $(40-70 \text{ }^\circ\text{Brix})$.

Coefficiente de difusividad efectiva del calcio

En la Figura 11 se puede apreciar como el modelo de Crank ajusta los datos experimentales de absorción de calcio de las peras con el tiempo durante el proceso de deshidratación osmótica/impregnación con minerales. El coeficiente de difusividad efectiva del calcio estimado fue de $1,35 \times 10^{-13} \text{ m}^2 / \text{s}$.

Coefficiente de difusividad efectiva del zinc. En la Figura 12 se puede apreciar como el modelo de Crank ajusta los datos experimentales de difusión del zinc en las peras con el tiempo. El coeficiente de difusión aparente del zinc estimado es de $6,78 \times 10^{-14} \text{ m}^2 / \text{s}$.

Secado combinado (secado por microondas y convección con aire caliente). Posterior al pretratamiento por deshidratación osmótica/impregnación con minerales se realizó el Secado combinado en diferentes condiciones de potencia de microondas y de temperatura del aire. Finalmente se eligió trabajar con 500 y 600 W.

Secado combinado (Microondas a 500 W). En la Figura 13 se puede apreciar la foto correspondiente a las peras sometidas a un secado combinado (microondas a 500 W) durante 10 min pretratadas por deshidratación osmótica/impregnación sin lactato de calcio (a) y con lactato de calcio (b) durante 1 h. En ambos casos se observan muy cocidas con puntos más quemados. Por ello se decidió cocinar rotando las muestras y tomando tiempos de descanso entre las rotaciones de manera tal que durante el reposo continúe la cocción y se logre una textura más homogénea similar a la de un “snack” y sin puntos de quemado. Sin embargo, cabe destacar que su sabor y aroma eran agradables. También se puede apreciar un mayor pardeamiento enzimático en las muestras sin lactato de calcio.

Entre las peras que resultaron con mejor apariencia y características organolépticas se encontraron aquellas que se secaron de manera combinada a 500W de potencia de microondas, de un lado durante 6 min, luego se dejaron reposar por 1min y se rotaron para secarlas del otro lado por 5 min más. En la Figura 14 puede apreciarse su apariencia. Esta muestra se eligió y se le dio el número 487 para reconocerla durante el análisis sensorial.

Fig. 14. Peras secadas de modo combinado (microondas 500 W) durante 6 min de un lado, reposo de 1min y luego secado durante 5 min del otro lado, pretratadas por deshidratación osmótica/impregnación con lactato de calcio durante 1h

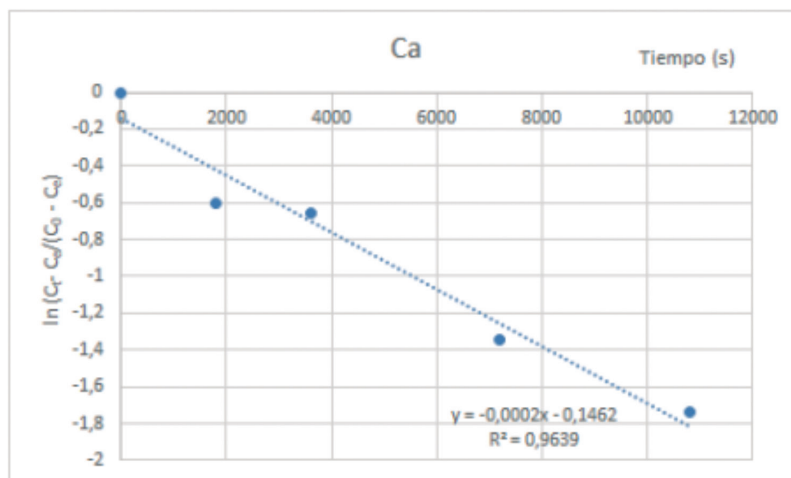


Fig. 11. Datos experimentales del proceso de deshidratación osmótica/impregnación con calcio y regresión lineal del modelo de Crank

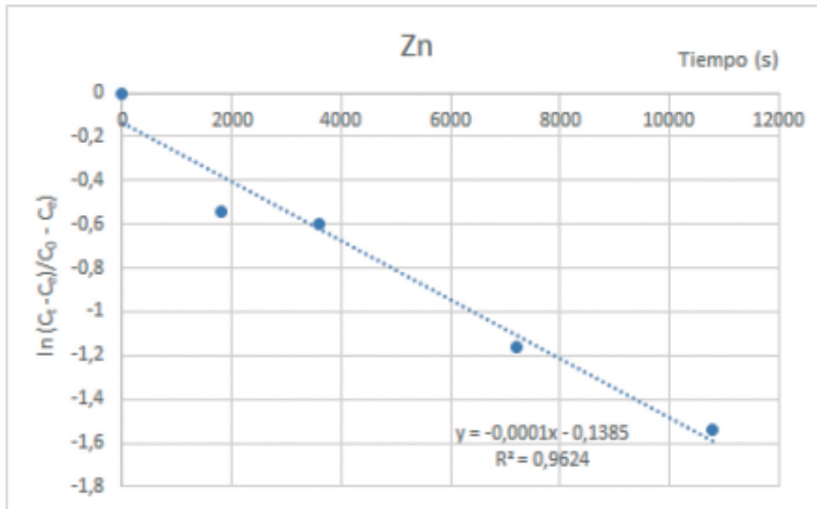


Fig. 12. Datos experimentales del proceso de deshidratación osmótica/impregnación con zinc y regresión lineal del modelo de Crank



(a)



(b)

Fig. 13. Peras sometidas a un secado combinado (microondas a 500 W) durante 10 min pretratadas por deshidratación osmótica/impregnación sin lactato de calcio (a) y con lactato de calcio (b) durante 1 h



Fig. 15. Peras secadas de modo combinado (microondas 600 W) durante 4 min de un lado, reposo de 5,5 min, 4 min del otro lado, reposo de 5,5 min y 4 min nuevamente del primer lado, pretratadas por deshidratación osmótica/impregnación con lactato de calcio durante

Secado combinado (Microondas a 600 W). Asimismo, las peras secadas de manera combinada (microondas a 600 W) durante 4 min de un lado, 4 min del otro lado y 4 min nuevamente del primer lado, con reposo de 5,5 min entre tiempos de cocción y pretratadas por deshidratación osmótica/impregnación con lactato de calcio durante 1 h fueron las preferidas por sus características organolépticas. Estas se muestran en la Figura 15. Presentan una apariencia y características organolépticas muy agradables, Sin embargo, son algo ácidas. Esta muestra de peras también se eligió y se le dio la denominación 176 para el análisis sensorial

Modelado matemático del secado combinado

En la Figura 16 se presenta la variación de la humedad en función del tiempo para el proceso de secado combinado (secado por microondas a 500 W de potencia y con convección con aire caliente simultáneamente). Los datos experimentales obtenidos por duplicado se correlacionaron mediante una recta, cuya expresión es:

En el gráfico se graficaron los valores promedio.

$$H(bh) = -2.6076 * t(\text{min}) + 83.731$$

Los modelos empíricos de Page y Wang y Singh ajustaron bastante satisfactoriamente los datos experimentales, tal como puede apreciarse en las Figuras 17 y 18, respectivamente.

Cálculo del coeficiente de difusión efectivo del agua (modelo de Crank). Cabe recordar que se trata de un coeficiente de difusión efectivo (que podría considerarse empírico) ya que se tuvieron en cuenta numerosas suposiciones: la resistencia externa a la transferencia de masa es despreciable, el contenido de humedad inicial de la muestra es uniforme, no se produce contracción de volumen de las muestras y el proceso es isotérmico. Sin embargo, durante el proceso de secado se producen variaciones de temperatura y el coeficiente es fuertemente dependiente de la temperatura. Por consiguiente, el coeficiente varía con el tiempo. Con esto se pretende decir que se simplifica demasiado un proceso extremadamente complejo como es el de secado combinado que además podría incluir también otros procesos además



Fig. 16. Datos experimentales de humedad en función del tiempo durante el proceso de secado combinado (microondas a potencia de 500 W con convección con aire caliente)

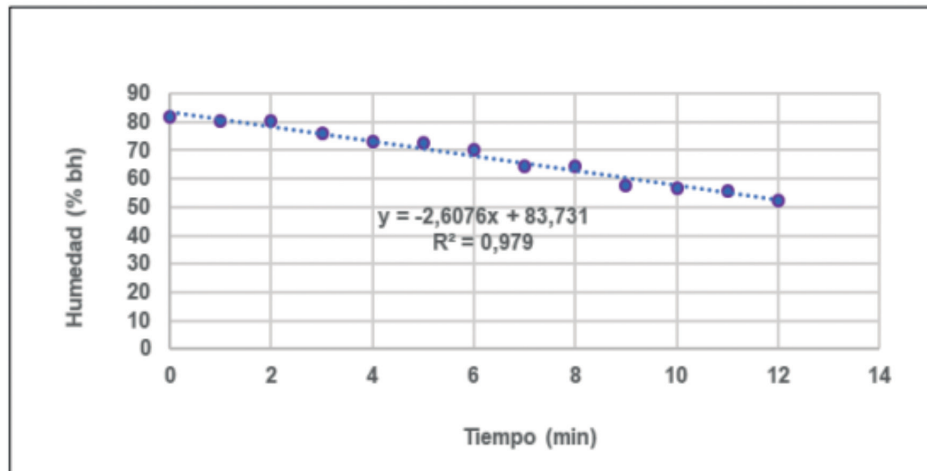


Fig. 17. Modelo de Page aplicado a los datos experimentales de relación de humedades (RH) durante el secado combinado (microondas 500W con convección con aire caliente)

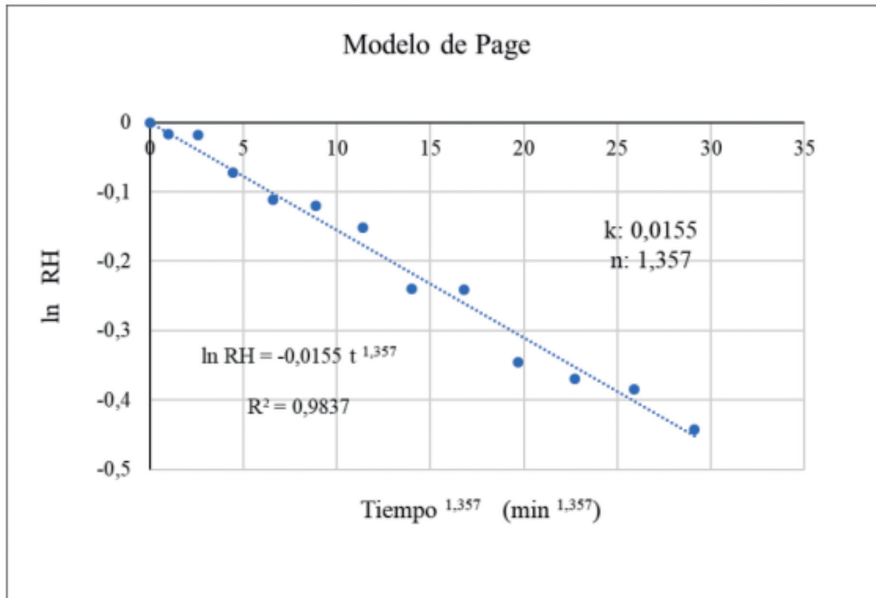


Fig. 18. Ajuste del Modelo de Wang y Singh a los datos experimentales de humedad durante el secado combinado (microondas 500 W con convección con aire caliente)

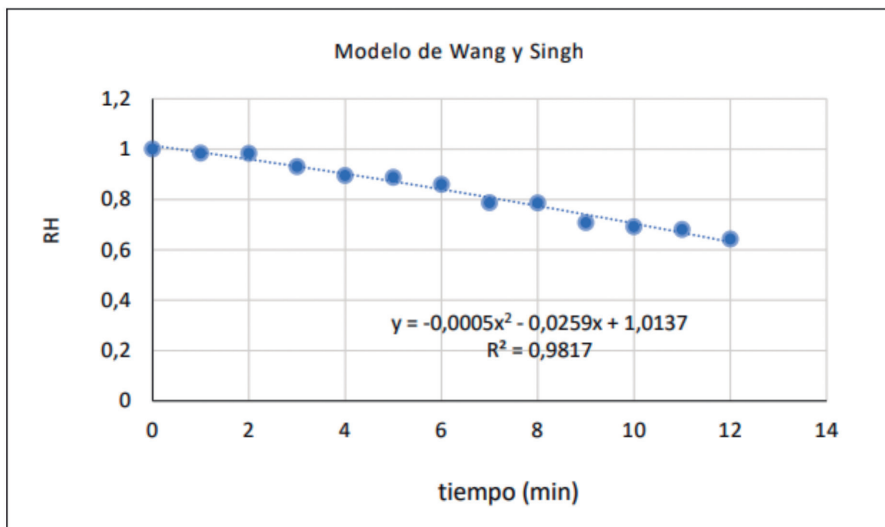


Fig. 19. Peras pretratadas por deshidratación osmótica durante 1 h y secadas por convección con aire caliente, SC, a 90 °C a diferentes tiempos: a 1 h, 1,5 h y 2 h, 3h, 4h y 4,5 h

de la difusión como puede ser el fenómeno de capilaridad, los gradientes de presión y el efecto de movimiento del agua por contracción del sólido. Por consiguiente, se quiere hacer hincapié en que se simplifica demasiado el fenómeno al considerar un coeficiente constante durante todo el proceso.

Secado por convección con aire caliente solamente. El mejor producto se obtuvo a una temperatura de trabajo a 90 °C. En este caso, la apariencia del producto mejoró notablemente. En la Figura 19 se exhiben las peras pretratadas por deshidratación osmótica durante 1 h y secadas por convección con aire caliente, SC, a 90 °C a diferentes tiempos: a 1 h, 1,5 h, 2 h, 3h, 4h y 4,5 h. El color de las muestras para los diferentes tiempos es agradable, pero en cuanto a la textura las peras secadas durante 1 h parecen ser las mejores.

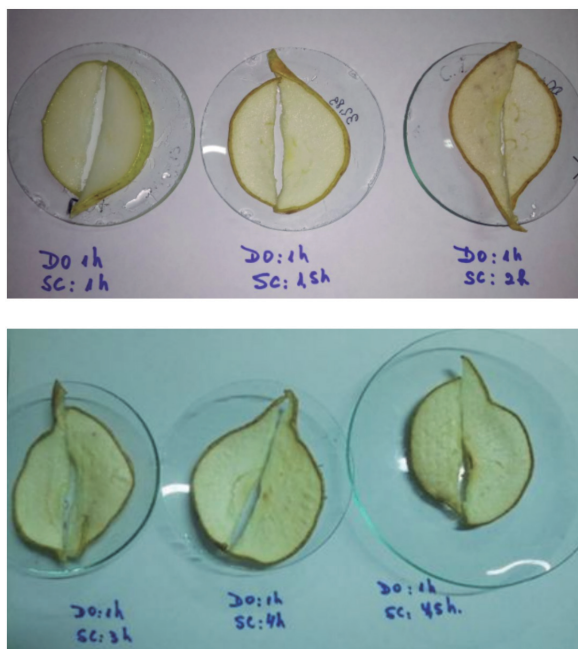


Fig. 19. Peras pretratadas por deshidratación osmótica durante 1 h y secadas por convección con aire caliente, SC, a 90 °C a diferentes tiempos: a 1 h, 1,5 h y 2 h, 3h, 4h y 4,5 h

Modelado matemático del secado por convección con aire caliente y comparación con el secado combinado

La Tabla 5 resume los valores de los parámetros de los modelos aplicados a los datos experimentales en el proceso de secado convectivo con aire caliente a 90 °C solamente y en el secado combinado (microondas 500 W con convección con aire caliente).

El parámetro K de Page que indica la velocidad de pérdida de humedad resultó menor en el secado convectivo por aire caliente solamente que en el combinado. Este resultado concuerda con una más lenta pérdida de agua en el secado convectivo. Los coeficientes de difusividad efectiva del agua fueron de $4,12 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ y de $8,59 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$, para el secado combinado y convectivo con aire caliente, respectivamente. Para el secado combinado

Tabla 5. Parámetros de los modelos aplicados a los datos experimentales en el proceso de secado convectivo con aire caliente y en el secado combinado

Modelos	Secado Convectivo	Secado Combinado
Page	K: 0,0067 min ^{-N} N: 1,125 R ² : 0,918	K: 0,0155 min ^{-N} N: 1,357 R ² : 0,984
Crank	D _{ef} : $8,59 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ R ² : 0,90	D _{ef} : $4,12 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ R ² : 0,973
Wang y Singh	At ² + B t + C Unidades de tiempo en h A: 0,0596 B: -0,4646 C: 1,029 R ² : 0,977	At ² + B t + C Unidades de tiempo en min A: -0,0005 B: -0,0259 C: 1,014 R ² : 0,9817

el coeficiente de difusión es superior, lo que indica que el proceso de difusión se produce a una velocidad mayor que la correspondiente para el secado convectivo solamente. Estos resultados concuerdan con un tiempo de secado requerido inferior para alcanzar una determinada humedad durante el proceso de secado combinado. Cabe destacar, que los coeficientes de difusión obtenidos para procesos de secado en los que se realizó un pretratamiento previo por deshidratación osmótica son generalmente menores a los correspondientes a procesos sin pretratamiento. La velocidad de secado disminuye al aplicar pretratamientos por deshidratación osmótica (Lazarides *et al.*, 1999). Este fenómeno puede explicarse por la presencia de una capa superficial de células colapsadas por efecto del tratamiento osmótico en la muestra, que contribuye a aumentar la resistencia al transporte de agua cerca de la interfase en todos los experimentos de secado posteriores (Xue, 2004). Xue, 2004 encontró para el caso de peras secadas por convección con aire caliente previamente tratadas por deshidratación osmótica valores de coeficiente de difusividad que oscilan entre $6,5 \times 10^{-12}$ y $5,8 \times 10^{-10} \text{ m}^2 / \text{s}$. Con los datos experimentales propios se calculó un valor promedio de $8,59 \times 10^{-11} \text{ m}^2 / \text{s}$ que se halla dentro del rango informado por este investigador.

Análisis de la microestructura de la pera fresca y de la pera pretratada por deshidratación osmótica

Pera Fresca (Figura 20)

En la pulpa, se destaca la turgencia de las células isodiamétricas, más grandes en la región externa y más pequeñas en la interna. Casi no se observan gránulos de almidón intracelulares lo que significa que la hidrólisis del almidón prácticamente se ha completado.

Las líneas de fractura involucran la ruptura de la pared celular. Se observan células pétreas lignificadas que constituyen el tejido primario denominado esclerénquima y que suele encontrarse cerca del endocarpio. En la cáscara, se puede apreciar una red de microfisuras correspondientes a la capa de cera y numerosos cristales de cera.

Peras tratadas por deshidratación osmótica/impregnación (Figura 21)

En estas se puede apreciar que las células se encuentran literalmente colapsadas, con paredes celulares onduladas a plegadas.

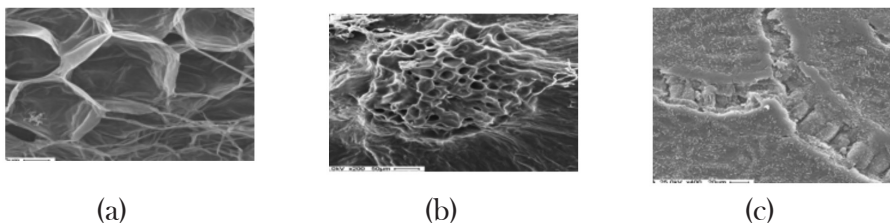


Fig. 20. (a) Región externa de la pulpa, cerca de la piel, (b) Región interna de la pulpa con cúmulo de células pétreas, (c) Región de la piel

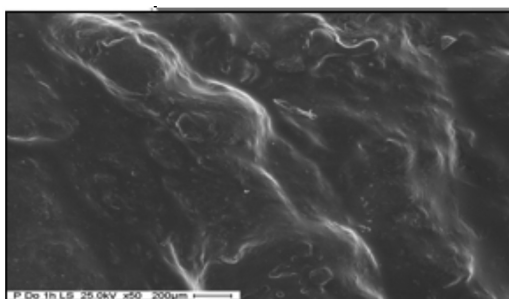


Fig. 21. Peras con tratamiento por deshidratación osmótica

Las células muestran separación masiva, con disolución e hinchamiento de la pared celular y formación de espacios intercelulares.

Microestructura de los dos productos elegidos por sus óptimas características organolépticas

Luego del secado combinado se evidencia una disminución de la adhesión intercelular, asociada con cambios ocurridos en los polisacáridos: la solubilización de pectinas, la permanencia de la fracción celulósica y de su entramado con los glicanos, y la distribución de la lignina a través de la pared celular.

Microfotografías de peras tratadas por secado combinado (MO 500 W) y convección con aire caliente 6 min de un lado y 5 min del otro, pretratadas DO/I 1 h (Figura 22).

Microfotografías de peras tratadas por secado combinado (MO 600 W) y convección con aire caliente) durante 4 min de un lado, 4 min del otro y 4 min del primer lado de nuevo (Figura 23).

Espectroscopía de energía dispersiva de rayos X

Las concentraciones relativas porcentuales superficiales obtenidas en la parte externa de la rodaja para los distintos tratamientos fueron:

Tratamiento por secado combinado (600 W):

Ca: 50,5 %

K: 25,4 %

P: 12,9 %

Tratamiento por secado combinado (500 W):

Ca: 43,5 %

K: 24,9 %

P: 22,4 %

Análisis sensorial

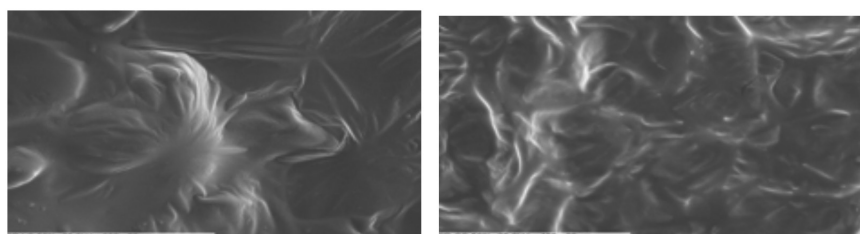


Fig. 22. Peras pretratadas por DO/I y secado combinado (MO 500W)
(a) Parte interna de la rodaja 800x (b) Parte externa de la rodaja 400x

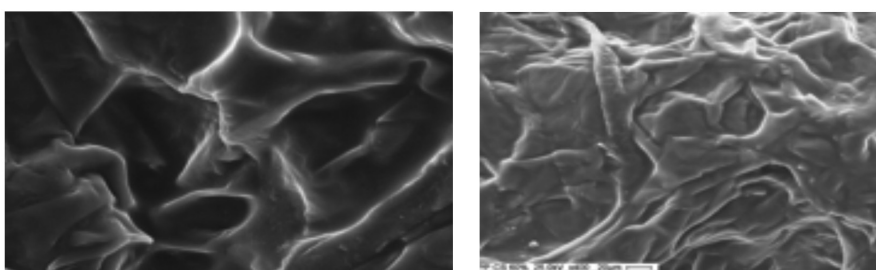


Fig. 23. Peras pretratadas por DO/I y secado combinado (MO 600W). a) Parte interna de la rodaja 800x (b) Parte externa de la rodaja 400x

Tabla 6. Análisis de los atributos para cada muestra

Muestras	Aroma	Color	Textura	Sabor	Aceptabilidad
231	2.15 ^b	2,7	2,47 ^a	2,21 ^a	3,32 ^a
176	2,51 ^a	2,64	2,28 ^b	2,13 ^{ab}	3,04 ^b
487	2,26 ^b	2,64	2,21 ^b	2,00 ^b	2,94 ^b
p-value	0,03	>0,05	<0,05	0,005	<0,05
R ²	70,69	55,04	90,86	89,88	91,16

Se realizó un análisis de varianza (Tabla 6), donde se encontró un efecto significativo para los atributos de aroma, textura y sabor. El color no presentó diferencias significativas ($p > 0,05$): todas las muestras eran similares en coloración.

Las tres muestras tienen una aceptabilidad similar: aunque la más aceptable fue la muestra 231, seguida por la 176 y la 487, en ese orden.

Análisis de correspondencia

Se realizó un análisis de correspondencia para los términos utilizados por los consumidores y se agruparon las muestras según sus atributos (Figura 24).

- . La muestra 231 fue descrita como la más dulce, de menor acidez y de bajo aroma cítrico.
- . Las muestras 176 y 487 presentaron mayor aroma cítrico y acidez, mediano dulzor y mayor aroma a caramelo.
- . Estos resultados concuerdan con el agregado de ácido ascórbico y cítrico en la solución de DO/I, para evitar el pardeamiento enzimático y extender su vida útil.
- . El olor a caramelo está relacionado con el agregado de sacarosa en la solución de impregnación.

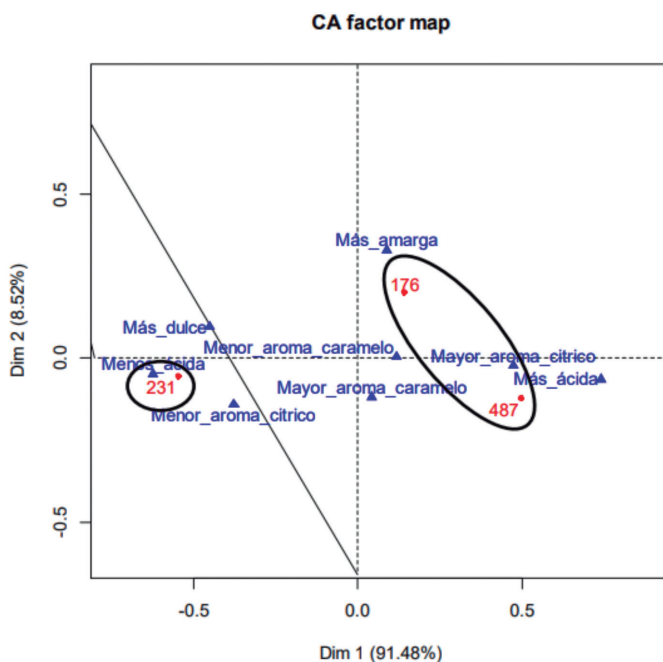


Fig. 24. Agrupamiento de las muestras según sus atributos característicos en un diagrama Biplot

Conclusiones

. La deshidratación osmótica/impregnación con minerales mejora las características del producto a nivel:

. Nutricional, ya que se incorporan iones calcio y zinc a la pera desde la solución.

. De coloración, puesto que el ácido ascórbico y el ácido cítrico actúan de forma sinérgica evitando el pardeamiento enzimático y protegen de posteriores pardeamientos durante secados subsiguientes.

. De textura, ya que se conserva bastante la microestructura de las frutas porque los iones calcio incorporados reaccionan con las pectinas de la laminilla media, otorgando rigidez a las paredes celulares.

. Se aplicó el modelo de Crank basado en la segunda ley de Fick de la difusión para calcular el coeficiente de difusión efectivo del agua, de los sólidos solubles y de los iones Ca y Zn, para en el proceso de deshidratación osmótica y la del agua en el proceso de secado combinado y en el secado convectivo con aire caliente.

. Los modelos empíricos de Page, de Henderson y Pabis y de Midilli *et al.* ajustaron los datos experimentales satisfactoriamente para el proceso de deshidratación osmótica.

. La deshidratación osmótica si bien requiere un posterior secado para extender la vida útil final del producto, es un proceso que ahorra energía ya que permite la deshidratación del producto sin que el agua pase de estado líquido a vapor y mejora la calidad del producto final. La deshidratación se efectúa de manera simultánea a la impregnación con minerales. Se puede aplicar a variedades de frutas para producir "snacks" o chips de frutas.

. El proceso de deshidratación osmótica/impregnación de minerales es un tratamiento no térmico ya que se trabaja a temperaturas menores o iguales a 40 °C, generalmente. Por ello, resulta muy económico.

. La deshidratación osmótica presenta la ventaja de disminuir las pérdidas posteriores a la cosecha de frutas y verduras. De esta manera, se puede aprovechar esta fruta obteniendo un producto con alto valor agregado y evitar pérdidas importantes de alimentos.

. El secado combinado (microondas junto con convección con aire caliente) y pretratamiento por deshidratación osmótica/impregnación con minerales permite alcanzar una humedad deseada que extiende la vida útil del producto final (tintempié).

. El secado combinado permite concentrar el potasio hallado en la pera en estado fresco. El potasio en el producto final, luego del proceso de secado fue 193,00 mg cada 100 g de producto. De esta forma, el producto posee un mayor contenido de este mineral, tan importante por participar en el mantenimiento del balance hídrico y el equilibrio ácido base, contribuir a la contractibilidad muscular y a la transmisión de impulsos nerviosos. Así como también, favorecer el mantenimiento de la presión arterial normal.

. Otra de las ventajas del secado combinado es que las temperaturas alcanzadas en la superficie del producto son moderadas (60-65 °C). De esta manera, la superficie del producto no se afecta, no se forman costras o zonas quemadas. Asimismo, se reduce la contracción de volumen del producto, ya que los vapores generados en el interior del producto por la penetración de las microondas desarrollan un gradiente de presión interno que fuerza el agua al exterior y evita que la estructura se contraiga y se cierre. Sin embargo, en el secado convectivo por aire caliente solamente, la difusión limitada del agua reduce

el contenido de humedad superficial y genera la aparición de costras superficiales indeseables en el producto.

. Se obtuvieron dos posibles productos de óptima calidad organoléptica: uno tratado por secado combinado con microondas a una potencia de 600 W durante 12 min (4 min + 4min + 4 min) (muestra 176) y otro a 500 W por 11 min (6 min +5 min) (muestra 487). Las muestras se dejaron reposar entre tiempos de cocción: 5,5 min la de 600 W y 1 min la de 500 W.

. Se analizaron sensorialmente mediante una prueba de consumidores (47 personas) y se contrastaron con una muestra similar de pera comprada en el mercado local. Esta última no poseía fortificación de minerales y había sido deshidratada por convección con aire caliente. Ambos productos diseñados fueron aceptados, aunque tuvo mayor aceptabilidad el producto de mercado por ser menos ácido. Por ello, si se quisiera lanzar al mercado debería reducirse su acidez. El producto de mayor aceptación entre los diseñados fue la muestra 176 (600 W y tiempo de cocción total de 12 min).

. El producto final (muestra 176) posee 891,90 mg de calcio y 28,30 mg de Zn por cada 100 g. de producto, luego de todo el proceso de secado. Para una dieta de 2000 Kcal se recomienda una porción diaria de fruta deshidratada de 25 g. Esta cantidad de producto (muestra 176) cubre un 22% del calcio y un 64 % del zinc recomendado diario para cada mineral.

. El valor del zinc sugiere que debemos continuar ajustando su concentración en la solución de impregnación.

. Se puede decir que el producto final es un alimento fortificado, ya que el mismo alcanza entre el 20-50 % de los requerimientos diarios de los minerales calcio y zinc por porción, como lo exige el Artículo 1363 de CAA.

. El secado combinado empleando microondas permite alcanzar calentamientos más rápidos y altas eficiencias energéticas, respecto del secado convencional por aire caliente solamente. Este tipo de secado presenta la ventaja de retener el color, el sabor, el aroma y el valor nutricional del producto. También es bastante eficaz en la destrucción de patógenos e inactivación de enzimas.

. Las muestras con mejor aceptación fueron aquellas que se dejaron reposar entre períodos de secado, ya que después de que la cocción del microondas termina, los alimentos siguen el proceso de secado durante el tiempo de reposo. Este tiempo de descanso favorece la cocción de los alimentos de manera más uniforme. La cantidad de tiempo de reposo depende de la densidad del alimento.

. Los modelos empíricos de Page y de Wang y Singh describieron de manera adecuada los datos experimentales de humedad obtenidos durante el proceso de secado combinado y durante el secado convectivo por aire caliente a 90 °C.

. En el secado combinado, las microondas producen el calentamiento desde el interior del producto y cuando llega el agua a la superficie, la masa de aire caliente arrastra el vapor de agua y de esta manera ambos métodos se complementan para favorecer el secado.

. Este producto fortificado con minerales puede consumirse como tentempié (“snack”) y además se podría considerar como un alimento funcional debido a su contenido mineral mejorado.

. Cabe destacar que luego del secado combinado, la concentración superficial de sodio hallada en el tentempié no pudo detectarse (por análisis de dispersión de rayos X). Si bien

se debería corroborar con un análisis de determinación de este mineral por espectrofotometría de absorción atómica se podría decir en principio que se trata de un “snack” con bajo contenido de sodio.

. Este tentempié (“snack”) es un producto novedoso, práctico para su consumo y almacenamiento, puesto que no requiere ser rehidratado ni refrigerado y posee una vida útil extendida mediante procesos que preservan los nutrientes del vegetal, casi no modifican sus características organolépticas y no contiene conservantes sintéticos.

. La fruta deshidratada es una alternativa para conservar la producción de los fruticultores. Se calcula que aproximadamente (35-45) % de las cosechas se dañan por las condiciones climáticas o por pérdidas durante el transporte. Generalmente, la fruta con algún tipo de daño se utiliza para la elaboración de productos como mermeladas. Actualmente, son pocas las empresas que encuentran en la deshidratación de frutas una forma de recuperar parte de esas pérdidas y que vislumbran la posibilidad de ofrecer nuevos productos, con valor agregado. En nuestro país, la mayoría de las empresas que se dedican a la deshidratación de frutas son de elaboración artesanal y de baja producción.

. El tema de esta tesis podría promover a que la población (especialmente los niños y los jóvenes) consuma frutas, a través de un producto de consumo directo que no requiere previa limpieza y pelado. También se espera que un mayor consumo pueda traducirse en una mayor producción atendiendo los requerimientos actuales de protección de los cultivos para evitar plagas y los desastres del cambio climático que los afecta. Actualmente existen fábricas de cultivo artificiales de algunos vegetales en Japón y en Dinamarca en la que se puede plantar grandes cantidades de especies en una superficie muy pequeña en invernaderos con condiciones óptimas de crecimiento con la administración de nutrientes, agua y luz controladas automáticamente.

Referencias

- AOAC-Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. (1975) 12a. edición. Washington D.C.
8. Association of Official Analytical Chemists (A.O.A.C). 1996. Official Methods of Analysis, 12^o Ed. AOAC, Washington, DC. pp. 829.
- BELLOCO, E. (2012). Deshidrocongelación de Zapallo Anco, tesis de maestría, UTN., FRBA.
- CASIM, S. M. (2011). Enriquecimiento de manzana con calcio: efecto en las propiedades físicoquímicas y estructurales durante el secado en corriente de aire, Tesis doctoral Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.
- COUSINS, R. J. (1997). Zinc. Capítulo 29. En “Conocimientos actuales sobre nutrición”. E.E. Ziegler y L.J. Filer, Jr Ed. 7^o Edition.
- CRANK, J. (1975). The mathematics of diffusion, Second Edition, UK, Clarendon Press.
- DELLA ROCCA, P. A. (2010). Secado de alimentos por métodos combinados: deshidratación osmótica y secado por microondas y aire caliente, Tesis de maestría, UTN., FRBA.
- HENDERSON, S. M., PABIS, S. (1961). Grain drying theory. En: I. Agric. Eng. Res., 6(3), pp.169- 174.
- ISLAM, M., & FLINK, J. (1982). Dehydration of potato II. Osmotic concentration and its effect on air drying behaviour. J. Food Technol. (17), 387-403.
- LAZÁRIDES, H. N., FITO, P., CHIRALT, A., GEKAS, V., LENART, A. (1999). Advances in osmotic dehydration. En: Minimal Processing of Food and Process Optimization.
- SINGH, R.P. Y OLIVEIRA, F.A.R. (Eds.), CRC Press, Boca-Ratón, 175-200.
- LERICI, C., PINNAVAIA, G., ROSA, M. D., BARTOLUCCI, L. (1985). Osmotic dehydration of fruit: influence of osmotic agent on drying behaviour and product quality. Journal of Food Science, 50, 1217-1219.

- MADIOULI, J., SGHAIER, J., LECOMTE, D., & SAMMOUDA, H. (2012). Determination of porosity change from shrinkage curves during drying of food material. *Food and Bioproducts Processing*, 90(1), 43–51. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2010.12.002>.
- MIDILLI, A., KUCUK, H., YAPAR, Z. (2002). A new model for single-layer drying. *Drying Technology*, 20(7), 1503-1513
- PAGE, G. E. (1949). Factors influencing the maximum of air drying shelled corn in thin layer. Thesis- (M.SCc.), Purdue University, Indiana, USA.
- PENNY, M. E. (2013). Usos de complementos de zinc en salud pública. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 62 (1), 31.
- PUERTO GALÁN, M. D. (2016). Sistema flotante de retención gástrica de acetato de zinc: influencia del agente efervescente y del tipo de excipiente hidrófilo, trabajo fin de grado, Facultad de Farmacia, Universidad de Sevilla. España.
- SPIAZZI, E., MASCHERONI, R. H. (1997). Mass transfer model for osmotic dehydration of fruits and vegetables I. Development of the simulation model. *Journal of Food Engineering*, 34, 387-410.
- TORREGIANI D., GIANGIACOMO, R. BERTOLO, G., ABBO, E. (1986a). Ricerche sulla disidratazione osmotica della frutta I. Idoneità varietale delle ciliege. *Ind. Conserve* (61), 101- 107.
- TORREGIANI D., GIANGIACOMO, R., BERTOLO, G., ABBO, E. (1986b). Ricerche sulla disidratazione osmotica della frutta II. Idoneità varietale delle albicocche. *Ind. Conserve* (61), 226-232.
- TORREGIANI, D., GIANGIACOMO, R., BERTOLO, G., ABBO, E. (1988). Ricerche sulla disidratazione osmotica della frutta III. Idoneità varietale delle percoche. *Ind. Conserve* (63), 223-228
- VICENTE, S. (2016). Deshidratación osmótica de tejido de manzana: influencia de la naturaleza del agente osmótico y de la actividad de agua en la estructura, las propiedades reológicas y la movilidad molecular del agua. Tesis doctoral de la Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- WANG, C. Y, SINGH, R. P. (1978) Use of variable equilibrium moisture content in modeling rice drying. *Am Soc Agric Eng. ;Paper No. 6505*.
- XUE, K. (2004). Optimización del secado por aire caliente de pera (Variedad Blanquilla). Tesis de Doctorado, Universidad Politécnica de Valencia.
- YADAV, A.K., SING, S. V. (2014). Osmotic dehydration of fruits and vegetables: a review. *Journal of Food Science and Technology*. 51 (9). 1654-1673.