

Efecto de la deshidratación osmótica y convectiva en las propiedades fisicoquímicas, funcionales y sensoriales de *Opuntia joconostle* Effect of osmotic and convective dehydration on the physicochemical, functional and sensory properties of *Opuntia joconostle*

A. L. Gutiérrez-Salomón ^a, H. M. Hernández-Hernández ^{a,*}, J. Jaimez-Ordaz ^b

^a CONACYT – Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. A.C. (CIATEJ), 44270, Guadalajara, Jalisco, México. asalomon@ciatej.mx; hherandez@ciatej.mx.

^b Área Académica de Química, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México. jjaimenz@uaeh.edu.mx.

Resumen

El objetivo de esta investigación fue evaluar los cambios fisicoquímicos, funcionales y sensoriales generados durante la deshidratación de xoconostle con el fin de evaluar su potencial como método de conservación para este fruto. Se aplicó un método de deshidratación combinado (osmótico y convectivo), a dos temperaturas (40 y 60°C). Como agentes osmóticos se utilizaron maltodextrina 60°Bx, maltodextrina-cloruro de sodio 55:5% y sacarosa-cloruro de sodio 55:5%. Para la caracterización sensorial se aplicó el método del Perfil Rápido con 10 jueces sensoriales semi-entrenados. Comparadas con el xoconostle fresco, ninguna de las muestras mostró diferencia estadística significativa en cuanto al contenido de polifenoles. La solución osmótica sacarosa y cloruro de sodio demostró factibilidad para su uso en la deshidratación de xoconostle a 40°C ya que conserva sus propiedades funcionales y brinda características sensoriales aceptables para su consumo.

Palabras Clave:

Xoconostle, deshidratación osmótica, caracterización sensorial, perfil rápido.

Abstract

The aim of this research was to analyze the physicochemical, functional and sensory changes generated during the dehydration of *xoconostle* in order to evaluate its potential as a conservation method for this fruit. A combined dehydration method (osmotic and convective) was applied at two temperatures (40 and 60 °C). Maltodextrin 60 ° Bx, maltodextrin-sodium chloride 55:5% and sucrose-sodium chloride 55:5% were used as osmotic agents. For sensory characterization, the Rapid Profile method was applied using 10 semi-trained sensory judges. Compared with fresh *xoconostle*, none of the samples showed statistically significant difference in polyphenol content. The sucrose and sodium chloride osmotic solution demonstrated feasibility in the dehydration of *xoconostle* at 40 ° C due to the fact that it preserves the functional properties of the fruit and provides acceptable sensory characteristics for consumption.

Keywords:

Xoconostle, osmotic dehydration, sensory characterization, rapid profile

1. Introducción

El xoconostle (del náhuatl: xococ= ácido; nostli= tuna) es el fruto de la cactácea *Opuntia joconostle* caracterizado por su sabor ácido (Morales et al., 2014). En cuanto a morfología, el fruto de xoconostle presenta una forma ovoide, esférica o piriforme, presentando un receptáculo en el extremo distal. Este fruto ha sido utilizado desde épocas prehispánicas para la preparación de patillos típicos y reviste gran importancia en el ámbito cultural,

medicinal y económico de México (SIAP, 2018). El xoconostle se consume en fresco, salsas, dulces o licores, sin embargo, por ser un fruto perecedero presenta pérdidas poscosecha de entre el 25 y el 80%. Por otra parte, también muestra problemas para su manejo en fresco, como son: el mal índice de corte, los daños mecánicos, la deshidratación de la piel, el ataque de patógenos causantes de pudriciones y la estacionalidad de la producción, afectándose con ello la rentabilidad de los sistemas de producción (González de la Rosa et al., 2016).

*Autor para la correspondencia: hherandez@ciatej.mx

Correo electrónico: hherandez@ciatej.mx (Hilda María Hernández-Hernández), asalomon@ciatej.mx (Ana Luisa Gutiérrez-Salomón), jjaimenz@uaeh.edu.mx (Judith Jaimez Ordaz).

Se ha reportado que el xoconostle presenta propiedades funcionales que se deben principalmente a los compuestos responsables del color característico, las betalainas las cuales poseen capacidad antioxidante (Gorostiola, 2015).

Las betalainas son susceptibles a su degradación en presencia de diversos factores ambientales como el oxígeno, pH, cantidad de luz y temperatura; por lo que existe la necesidad de desarrollar un método de conservación del fruto que permita conservar sus características iniciales de calidad.

La deshidratación es una operación en la que se retira el exceso de humedad de los alimentos para incrementar su vida útil, garantizando su durabilidad. La deshidratación osmótica es una técnica que consiste en sumergir frutas y hortalizas, en trozos o enteras, en una solución hipertónica compuesta por solutos capaces de generar una presión osmótica alta, la cual permite aumentar la vida de anaquel. Este tipo de deshidratación generalmente es seguida por otros métodos de secado, como el secado al aire, la fritura, la liofilización, entre otros, para aumentar la calidad del producto final (Khan, 2012; Phisut, 2012; Tortoe, 2010). Recientemente, el desarrollo de alimentos con humedad intermedia mediante el uso de deshidratación osmótica ha recibido una gran valoración entre los consumidores debido a que implica un procesamiento mínimo del producto (Ahmed et al., 2016; da Silva et al., 2014; Sutar et al., 2012). Por ello, el objetivo de esta investigación fue evaluar los cambios en las propiedades fisicoquímicas, funcionales y sensoriales del xoconostle generados durante el proceso de deshidratación osmótica combinada de este fruto.

2. Materiales y métodos

2.1. Materia prima y acondicionamiento

Las muestras de xoconostle, sin daños mecánicos visibles y libres de enfermedades y de plagas, se adquirieron en el mercado Alcalde de Guadalajara, Jalisco, México. Para el análisis se seleccionaron los frutos que presentaron epicarpio verde pálido moteado de rosa y una longitud aproximada de 7 cm. A dichas muestras se les retiró la materia ajena mediante lavado a chorro de agua y se sanitizaron por inmersión en una solución de hipoclorito de sodio al 2%. Enseguida, se almacenaron en refrigeración a 3°C hasta su análisis. Previamente a su utilización, los frutos se estabilizaron a temperatura ambiente (25°C, 1 h), se pelaron y se cortaron en rebanadas transversales de 3-4 mm de grosor.

2.2. Deshidratación combinada del xoconostle

Las soluciones osmóticas utilizadas para la deshidratación de las muestras fueron maltodextrina 60°Bx, maltodextrina-cloruro de sodio 55:5% y sacarosa-cloruro de sodio 55:5% bajo las condiciones mostradas en la Tabla 1. Los experimentos se llevaron a cabo con agitación a 40 y 60°C, teniendo en cuenta la uniformidad de la temperatura y la eficacia del proceso osmótico en todo momento. Las rebanadas de xoconostle se sumergieron durante 5 horas en las soluciones osmóticas recién preparadas, mientras se mantenía una relación muestra-solución de 1:2 (p/p). Al final del tratamiento, el xoconostle se retiró de la solución osmótica y se enjuagó con agua para eliminar residuos de solución adheridos a la superficie de la muestra. Las rebanadas enjuagadas se colocaron sobre papel secante para eliminar el exceso de agua y se pesaron para calcular la cantidad de agua eliminada de las muestras durante la ósmosis. Por último, las muestras se deshidrataron utilizando un deshidratador convectivo (Excalibur®, USA) a 40 y 60°C (Tabla 1), durante 5 horas. Una vez alcanzado

el equilibrio de humedad $\leq 2.5\%$, los frutos deshidratados se almacenaron en bolsas de plástico con cierre hermético, a temperatura ambiente (25 ± 2 °C).

Tabla 1 Variables de proceso analizadas en la deshidratación combinada del xoconostle

No.	Solución osmótica	T(°C) D.O.	T(°C) D.C.	Código
1	MD 60°Bx	40°C	40°C	MD40/40
2	MD 60°Bx	40°C	60°C	MD40/60
3	MD 60°Bx	60°C	40°C	MD60/40
4	MD 60°Bx	60°C	60°C	MD60/60
5	MD-NaCl 55:5%	40°C	40°C	MD-NaCl40/40
6	MD-NaCl 55:5%	40°C	60°C	MD-NaCl40/60
7	MD-NaCl 55:5%	60°C	40°C	MD-NaCl60/40
8	MD-NaCl 55:5%	60°C	60°C	MD-NaCl60/60
9	S-NaCl 55:5%	40°C	40°C	S-NaCl40/40
10	S-NaCl 55:5%	40°C	60°C	S-NaCl40/60
11	S-NaCl 55:5%	60°C	40°C	S-NaCl60/40
12	S-NaCl 55:5%	60°C	60°C	S-NaCl60/60

D.O.= deshidratación osmótica D.C. =deshidratación convectiva MD=maltodextrina S=sacarosa

2.3. Caracterización fisicoquímica del xoconostle

▪ Ganancia de sólidos

La ganancia de sólidos es la absorción neta de sólidos por la muestra, la cual se calculó empleando la siguiente fórmula (Cornejo, 2010):

$$SG_{ssi} = WL_{ssi} - WR_{ssi} \quad (1)$$

donde: SG_{ssi} =ganancia de sólidos con base en los sólidos secos iniciales (g_{soluto}/g_{ssi}); WL_{ssi} =Pérdida de masa de agua a partir de ssi; WR_{ssi} =Peso perdido por la muestra con base en ssi.

▪ Determinación de humedad

El contenido de humedad se determinó por el método termogravimétrico 32.1.02 (A.O.A.C., 2012) utilizando una termobalanza MF-50 (A&D company, Japan).

▪ Determinación de la actividad del agua

Para la determinación de la actividad del agua se empleó el método 978.18 (A.O.A.C., 1996) utilizando el equipo AQUALAB® 4TEV (Meter Food, U.S.A).

▪ Determinación de color

Los parámetros de color en el espacio CIELab se estimaron directamente con un colorímetro (MiniScan XE Plus). Se realizaron un total de 3 mediciones sobre la superficie del xoconostle fresco y deshidratado. Asimismo, se determinó la diferencia total de color (ΔE) mediante la siguiente ecuación (Szadzinska et al., 2016):

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (2)$$

donde: $\Delta L^* = L^* - L_0^*$, $\Delta a^* = a^* - a_0^*$ y $\Delta b^* = b^* - b_0^*$. Siendo L_0^* , a_0^* y b_0^* los parámetros de color del xoconostle fresco y L^* , a^* y b^* los parámetros del xoconostle deshidratado.

▪ Determinación de polifenoles totales

La extracción y determinación de polifenoles se realizó en muestras de xoconostle fresco y deshidratado empleando la metodología modificada de Morales et al. (2012). Para ello, se extrajeron por duplicado 0.5 g de cada muestra en 20 mL de metanol utilizando agitación constante (120 rpm) a una temperatura de 25°C. Se efectuaron dos extracciones, la primera durante 1 hora y la segunda por 15 min. Posteriormente, los extractos obtenidos se filtraron, homogenizaron y evaporaron a 337 mbar y 60°C por 3.5 min (Rotaevaporador Büchi R-210, Alemania). Las muestras evaporadas se almacenaron a -18°C hasta su uso posterior.

Para la determinación de los polifenoles, se tomó una alícuota de 0.5 mL de cada extracto y se mezcló con 2.5 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu 2N, previamente diluido en agua destilada (1:10 v/v) y 2 mL de carbonato de sodio (75 g/L); manteniéndose en baño María a 35°C \pm 2°C por 30 minutos. La absorbancia de la muestra se midió en un espectrofotómetro UV-visible (SPECTRONIC® 21D, E.U.A.) a 765 nm. Las determinaciones se realizaron por triplicado. Se utilizó ácido gálico para la construcción de la curva estándar, obteniendo la ecuación $y = 0.0107x + 0.0198$, con una $R^2 = 0.9906$.

▪ Determinación de betalaínas

La determinación de betalaínas (betacianinas y betaxantinas) tanto en xoconostle fresco como deshidratado se efectuó de acuerdo a la metodología propuesta por (Guzmán-Maldonado et al., 2010; Rodríguez-Saona and Wrolstad, 2001) con algunas modificaciones. Para la extracción de las betalaínas, se extrajeron 2.5 g de xoconostle en 5 mL de acetona al 70% v/v con agitación constante (180 rpm) durante 10 minutos, filtrándose posteriormente. El residuo obtenido se sometió a extracción dos veces durante 10 minutos en agitación constante (180 rpm). La primera extracción se realizó con 5 mL de solución de acetona al 60% (v/v) y la segunda con 5 mL de acetona al 50% (v/v). Los 3 filtrados se combinaron y se midió la absorbancia a 600, 538 y 476 nm en un espectrofotómetro UV-Visible (SPECTRONIC® 21D, E.U.A.). Las determinaciones se realizaron por triplicado. El contenido de betacianinas y betaxantinas se determinó a través de las ecuaciones de Nilson (Hernández-Fuentes et al., 2015):

$$\text{Betacianinas} = \frac{a}{1129} \times FD \times 100 \quad (3)$$

$$\text{Betaxantinas} = \frac{y}{750} \times FD \times 100 \quad (4)$$

donde: $a = 1.095(A_{538} - A_{600})$, $y = A_{476} - (A_{538} - a) - \frac{a}{3.1}$ y FD = factor de dilución.

▪ Determinación de acidez titulable

Para la determinación de acidez titulable se empleó el método 942.15A (A.O.A.C., 2000). Diez gramos de xoconostle (fresco y deshidratado) se llevaron a un volumen de 50 mL con agua destilada a 70°C, manteniéndose en agitación durante 10 segundos. Se tomó una alícuota de 15 mL y se mantuvo en agitación constante a 400 rpm. El pH inicial fue determinado con un potenciómetro (Orion 3 Star, E.U.A.) y posteriormente se adicionó hidróxido de sodio 0.1 N hasta alcanzar un pH de 8.30. Para calcular el porcentaje de acidez titulable se empleó la siguiente ecuación (Monroy-Gutiérrez et al., 2017):

$$\text{Acidez titulable} = \frac{B \times N \times K}{W} \times 100 \quad (5)$$

donde: B= gasto de NaOH (mL), N= normalidad del NaOH, K= constante de acidez ($K_{\text{ácido cítrico}} = 0.06404$) y W= peso de la muestra.

2.4. Caracterización sensorial

La caracterización sensorial para el fruto fresco y para cuatro prototipos seleccionados se realizó a través del método de Perfil Rápido (Flash Profile) (Dehlholm et al., 2012).

Preparación y presentación de las muestras

Con fines comparativos, además del xoconostle fresco, se evaluaron sensorialmente muestras de tuna verde, tuna amarilla y tuna roja. Los frutos se lavaron con jabón neutro y se enjuagaron con agua potable, posteriormente se pelaron y se cortaron en rebanadas uniformes (3-5 mm). En cuanto a las muestras de xoconostle deshidratado, se eligieron dos rebanadas de cada uno de los cuatro prototipos seleccionados.

Para ambos perfiles (de fruta fresca y deshidratada), las muestras se codificaron con números aleatorios de tres dígitos y se colocaron dos rebanadas de cada una en un plato de plástico. Las cuatro muestras se presentaron de manera simultánea a cada juez.

Procedimiento

El panel estuvo conformado por 10 jueces sensoriales semi-entrenados, es decir, jueces que ya han participado en evaluaciones sensoriales de diversos productos (Liu et al., 2018).

La caracterización se realizó en dos sesiones, en la primera, cada juez degustó los productos y mencionó características (sabor, olor, apariencia y sensaciones trigeminales) que diferenciaban a los cuatro productos evaluados. Para homogenizar el vocabulario de las características descritas, se llevó a cabo un consenso. En la segunda sesión, los jueces utilizaron una escala lineal semi-estructurada etiquetada en los extremos (izquierda baja intensidad y derecha alta intensidad) para cuantificar la intensidad de cada característica sensorial percibida en cada una de las cuatro muestras. Todas las pruebas sensoriales se llevaron a cabo en cabinas individuales, suministrando a cada juez agua potable para enjuagarse la boca entre cada muestra.

2.5. Análisis estadístico

Para la evaluación de los datos se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) seguido de la prueba de comparación de medias de Tukey, con un nivel de confianza del 95%. Los resultados se expresaron como la media y desviación estándar para cada determinación, por triplicado ($n=3$). Para el análisis de los datos obtenidos de ambas sesiones del Perfil Rápido se aplicó un Análisis Generalizado de Procrustes (AGP) (Varela and Ares, 2012). Todos los análisis se realizaron con el software XLSTAT versión 2017.5.

3. Resultados y discusión

3.1. Caracterización fisicoquímica del xoconostle

En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos de la caracterización fisicoquímica del xoconostle fresco y deshidratado, el valor mostrado corresponde a la media $\pm \sigma$ ($n=3$).

El contenido de humedad del xoconostle fresco fue de $73.95 \pm 0.13\%$. Este resultado se encuentra dentro del rango de valores (73-94%) reportado por Morales et al (2014). Los parámetros de color del xoconostle fresco fueron $L^*=48.14 \pm 0.05$, $a^*=14.52 \pm 0.01$ y $b^*=13.50 \pm 0.07$, indicando que la luminosidad del xoconostle es clara y que se ubica en el eje cromático rojo en a^* y amarillo en b^* . Estas coordenadas cromáticas concuerdan con las reportadas para *Xoconostle cuaresmeño* rosa, $L^*=40$, $a^*=14.08$ y $b^*=8.62$ (Gorostiola, 2015; Monroy-Gutiérrez et al., 2017).

En cuanto al pH del xoconostle, el valor obtenido fue de 3.14; este valor se encuentra dentro del rango de pH (2.74 - 4.8) reportado en otros trabajos para 10 genotipos de xoconostle analizados (Hernández-Fuentes et al., 2015; Morales, 2009; Osorio et al., 2011). Respecto a la acidez titulable, del xoconostle fresco, el valor determinado (0.30 g/100 g), difiere de los valores reportados en la literatura (0.10-0.19 g/100 g) (Guzmán-Maldonado et al., 2010; Hernández-Fuentes et al., 2015). Esta diferencia puede deberse al origen de la fruta, pues los valores reportados corresponden a frutos de diferente procedencia a la del xoconostle utilizado en este estudio y existe evidencia de que la actividad fisiológica y el desempeño productivo de una especie vegetal dependen de la interacción armónica entre su genotipo y los factores ambientales, pudiendo variar bajo diferentes condiciones edafológicas y climáticas (Castañeda et al., 2010).

El contenido de polifenoles determinado en la muestra de xoconostle fresco fue de 35.42 ± 0.80 mg EAG/ g de extracto. Estos valores son cercanos a lo encontrado por Morales et al. (2012), quienes reportaron un contenido de polifenoles de 38.57 ± 6.87 mg EAG/ g de extracto de xoconostle. Otros autores cuantificaron concentraciones superiores de polifenoles en frutos de xoconostle analizados: 108 - 278 mg EAG/100 g (Hernández-Fuentes et al., 2015), 918.52 mg EAG/100 g (Morales, 2009) y 919 - 986 mg EAG/100 g (Guzmán-Maldonado et al., 2010) lo cual podría atribuirse a diferencias en factores como especies, suelo, cultivo, etc. Los resultados obtenidos indican que el xoconostle puede ser considerado como fuente de compuestos fenólicos, comparable con el contenido de algunas frutas y vegetales comunes (Proteggente et al., 2002).

La concentración de betalaínas determinada en el xoconostle fue de 5.26 mg/100 g para la fracción de betacianinas y 3.17 mg/100 g para la fracción de betaxantinas. En los trabajos de Morales (2009) y Osorio et al. (2011) se reportaron contenidos de betacianinas de 5.3 mgEB/100g y 7.1 mgEB/100g respectivamente y de betaxantinas de 1.14-1.30 mg/100g y 2.00 -

2.34 mg/100 g respectivamente. Gorostiola (2015) reportó valores de 4.05 mg/100g de betaxantinas y 3.64 mg/100g de betalaínas para xoconostle cuaresmeño rosa.

3.2. Caracterización fisicoquímica del xoconostle deshidratado

Una vez deshidratadas, todas las muestras presentaron valores de humedad menores a 2.5% (Tabla 2). Los valores de a_w obtenidos en este trabajo fueron inferiores a 0.60, rango óptimo para inhibir el crecimiento de microorganismos (Badui, 2013; Monroy-Gutiérrez et al., 2017). La única muestra susceptible al ataque de hongos y levaduras es la MD40/40 ($a_w 0.65 \pm 0.01$). Los valores obtenidos en las muestras, tanto de actividad de agua como de humedad permiten clasificarlas como alimentos deshidratados (Barbosa and Vega, 2000), demostrando la efectividad de los agentes osmóticos para la obtención de este tipo de productos (Ahmed et al., 2016; Monroy-Gutiérrez et al., 2017).

La Tabla 2 muestra los resultados de la ganancia de sólidos (SGssi) que presentó cada una de las muestras deshidratadas, observándose diferencias estadísticamente significativas. La muestra que presentó una mayor ganancia de sólidos fue S-NaCl60/60, mientras que MD40/60 presentó la mayor pérdida de sólidos. La pérdida de sólidos de las muestras MD40/40, MD40/60 y MD60/60 coincide con lo reportado por (Phisut, 2012), quien afirmó que la maltodextrina, al poseer un alto peso molecular, penetra difícilmente en el tejido vegetal, propiciando la pérdida de sólidos (Ahmed et al., 2016). Para los prototipos deshidratados con maltodextrina-cloruro de sodio, la pérdida de sólidos fue mayor cuando el tratamiento se llevó a cabo a mayor temperatura (MD-NaCl40/60 y MD-NaCl60/60), obteniéndose un efecto similar para la solución de S-NaCl. Tepper (1996) reportó que la mezcla mixta de maltodextrina y cloruro de sodio genera productos con una mayor ganancia de sólidos en comparación con la solución de maltodextrina, lo cual coincide con lo observado en los prototipos MD60/40 y MD-NaCl60/40.

La ganancia de sólidos que presentaron los prototipos S-NaCl40/60, S-NaCl60/40 y S-NaCl60/60 concuerda con reportes anteriores que indican que la acumulación de sacarosa en la capa superficial conduce a la compactación del tejido permitiendo la penetración de la sal a una mayor profundidad del mismo. La existencia de sal en la solución osmótica permite una mayor ganancia de sólidos (Ahmed et al., 2016; Pattanapa et al., 2010; Tadesse et al., 2015).

Acidez titulable

La acidez es una de las principales características fisicoquímicas del fruto de xoconostle. En la Tabla 2 se observa que la acidez titulable de las muestras de xoconostle se encuentra entre 0.12 y 0.31 y que para los prototipos MD60/60, MD60/40 y MD-NaCl40/40 no se observó diferencia estadística respecto a la acidez titulable del xoconostle fresco. Entre los prototipos deshidratados osmóticamente con maltodextrina se observó que cuando la combinación de temperaturas fue mayor, se obtuvo una mayor acidez titulable. En el caso de la solución sacarosa - cloruro de sodio, se observó un efecto similar, pero con temperaturas menores. El prototipo S-NaCl60/60, cuya acidez titulable fue menor (0.12 ± 0.01), presentó diferencias estadísticas con todos los prototipos (Tabla 2); esto puede ser derivado de la migración de los solutos de la solución osmótica hacia el fruto durante la deshidratación (Ahmed et al., 2016).

Tabla 2 Parámetros fisicoquímicos de muestras de xoconostle fresco y deshidratado.

Muestra*	Actividad de agua (a _w)	Humedad (%)	SG _{ssi} (g _{sóluto} /g _{ssi})	Acidez titulable (g AC/100 g)	pH	Betacianinas (mg/ 100 g)	Betaxantinas (mg/ 100 g)	Polifenoles (mg EAG/g extracto)	ΔE
Fresco	0.99 ± 0.01 ^a	73.95 ± 0.13 ^a	0 ^a	0.30 ± 0.02 ^{ac}	3.14 ± 0.02 ^a	5.26 ± 0.39 ^a	3.17 ± 0.61 ^a	35.42 ± 0.80 ^a	0
MD40/40	0.65 ± 0.01 ^b	0.80 ± 0.23 ^b	-0.654 ± 0.001 ^b	0.21 ± 0.01 ^{bg}	3.50 ± 0.02 ^b	0.69 ± 0.19 ^b	1.64 ± 0.11 ^{cdef}	10.44 ± 1.19 ^b	10.42 ± 1.32 ^{bc}
MD40/60	0.56 ± 0.01 ^{cd}	1.12 ± 0.08 ^b	-0.686 ± 0.001 ^b	0.27 ± 0.01 ^{cd}	3.27 ± 0.01 ^c	1.29 ± 0.09 ^{cd}	2.34 ± 0.31 ^{bc}	27.42 ± 4.52 ^{ac}	11.28 ± 0.59 ^{abc}
MD60/40	0.35 ± 0.02	0.82 ± 0.08 ^b	0.024 ± 0.001 ^c	0.29 ± 0.01 ^{acc}	3.27 ± 0.02 ^c	2.16 ± 0.62 ^d	2.58 ± 0.24 ^{ab}	11.50 ± 1.57 ^b	14.15 ± 3.20 ^{abc}
MD60/60	0.44 ± 0.02 ^g	0.72 ± 0.06 ^b	-0.581 ± 0.001 ^d	0.31 ± 0.01 ^a	3.29 ± 0.01 ^{cdf}	1.02 ± 0.19 ^{bc}	1.92 ± 0.16 ^{bcde}	22.82 ± 5.17 ^c	18.24 ± 5.03 ^a
MD-NaCl40/40	0.49 ± 0.02 ^{ef}	0.90 ± 0.15 ^b	-0.199 ± 0.001 ^e	0.30 ± 0.02 ^{ae}	3.42 ± 0.03 ^e	0.58 ± 0.11 ^b	1.10 ± 0.15 ^f	29.13 ± 5.74 ^{ac}	12.97 ± 2.16 ^{abc}
MD-NaCl40/60	0.48 ± 0.01 ^f	0.80 ± 0.01 ^b	-0.405 ± 0.001 ^f	0.21 ± 0.01 ^{bg}	3.46 ± 0.02 ^{be}	0.50 ± 0.18 ^b	1.33 ± 0.28 ^{def}	7.25 ± 5.20 ^b	15.78 ± 1.02 ^{ab}
MD-NaCl60/40	0.59 ± 0.02 ^c	0.88 ± 0.21 ^b	0.163 ± 0.002 ^g	0.26 ± 0.01 ^d	3.57 ± 0.02 ^g	0.46 ± 0.33 ^b	1.01 ± 0.26 ^f	21.95 ± 1.79 ^{cd}	14.12 ± 1.52 ^{abc}
MD-NaCl60/60	0.47 ± 0.02 ^{fg}	0.78 ± 0.12 ^b	-0.592 ± 0.001 ^d	0.26 ± 0.01 ^d	3.34 ± 0.02 ^f	0.55 ± 0.00 ^b	1.14 ± 0.16 ^{ef}	12.25 ± 2.38 ^{bd}	15.97 ± 2.15 ^{ab}
S-NaCl40/40	0.52 ± 0.01 ^{de}	0.72 ± 0.29 ^b	-0.062 ± 0.003 ^h	0.28 ± 0.01 ^{cde}	3.29 ± 0.02 ^{cd}	1.56 ± 0.37 ^{cd}	2.59 ± 0.29 ^{ab}	27.46 ± 4.72 ^{ac}	7.78 ± 2.61 ^{cd}
S-NaCl40/60	0.59 ± 0.01 ^c	2.25 ± 0.5 ^c	0.119 ± 0.006 ⁱ	0.25 ± 0.01 ^{df}	3.26 ± 0.00 ^c	1.07 ± 0.42 ^{bc}	2.02 ± 0.28 ^{bcd}	31.55 ± 2.12 ^{ac}	2.37 ± 0.66 ^d
S-NaCl60/40	0.53 ± 0.01 ^d	0.58 ± 0.15 ^b	0.260 ± 0.002 ^j	0.22 ± 0.00 ^{bfg}	3.27 ± 0.01 ^c	0.82 ± 0.16 ^{bc}	1.50 ± 0.25 ^{def}	23.32 ± 2.65 ^c	9.65 ± 0.49 ^{bcd}
S-NaCl60/60	0.53 ± 0.01 ^d	0.73 ± 0.12 ^b	0.529 ± 0.002 ^l	0.12 ± 0.01	3.33 ± 0.02 ^{df}	0.85 ± 0.05 ^{bc}	1.22 ± 0.07 ^{def}	22.60 ± 2.43 ^{cd}	7.61 ± 4.43 ^{cd}

Letras diferentes indican diferencia estadística significativa entre filas (n=3, p≤0.05). *La nomenclatura de cada prototipo se proporciona en la Tabla 1

pH

El pH presentado por los prototipos deshidratados se encuentra en el intervalo de $3.26-3.57 \pm 0.02$, valores superiores respecto al pH del xoconostle fresco (3.14 ± 0.02). En estos rangos de pH y con la actividad de agua presente en cada uno de los prototipos deshidratados analizados ($0.35 \pm 0.02 - 0.65 \pm 0.01$), todos se encuentran en la zona de alta estabilidad de los alimentos (Badui, 2013). Los prototipos deshidratados osmóticamente con sacarosa-cloruro de sodio presentaron los valores de pH más bajos.

Betalainas y polifenoles

Los prototipos MD60/40 y S-NaCl40/40 presentaron los mayores contenidos de betacianinas y betaxantinas después del tratamiento de deshidratación. La solución de maltodextrina-cloruro de sodio mostró un mayor efecto de degradación del contenido de betalainas. Estos compuestos son responsables de las propiedades funcionales del xoconostle por lo que su preservación durante su conservación es importante. Respecto a los polifenoles, los tratamientos efectuados a 40°C (deshidratación osmótica) generaron prototipos con mayores contenidos de dichos compuestos, esto puede deberse a que bajas temperaturas favorecen la estabilidad de los mismos.

El tratamiento osmótico con sacarosa-cloruro de sodio generó prototipos con altos contenidos de polifenoles. Se ha reportado que la sacarosa ayuda a retener los compuestos volátiles durante la deshidratación (Ahmed et al., 2016). El mismo efecto protector se observó en el caso de las betalainas y betaxantinas, lo que demuestra el efecto protector de la solución sacarosa-cloruro de sodio sobre los compuestos funcionales durante el tratamiento de deshidratación del xoconostle. Los cambios ocurridos en el contenido de betacianinas y betaxantinas se vieron reflejados en la apariencia del fruto deshidratado (Figura 1).

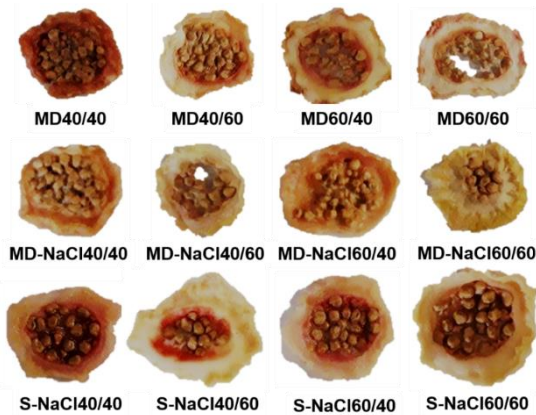


Figura 1 Apariencia de los prototipos deshidratados.

Color

La diferencia total de color (ΔE) nos indica la comparación numérica entre la muestra deshidratada con el xoconostle fresco, por lo tanto, cuando ΔE tiende a cero, no hay diferencia entre ellas. El análisis estadístico mostró que el color de las muestras deshidratadas con sacarosa-cloruro de sodio no se modificó significativamente respecto al del xoconostle fresco. De los prototipos tratados la muestra S-NaCl40/60 (2.37 ± 0.66) es la que conservó en mayor medida el color del xoconostle fresco, lo que corresponde con las muestras que mostraron los valores más altos de betalainas. Por otra parte, el color de las muestras

pertencientes al prototipo MD60/60 (18.24 ± 5.03) fue el que presentó mayores cambios (Figura 1).

Respecto a los parámetros de color L^* , a^* y b^* , se observó diferencia significativa entre todos los prototipos analizados. La luminosidad disminuyó en los prototipos MD40/40 y S-NaCl40/40, mientras que en el resto de los prototipos aumentó. En cuanto a la coordenada a^* , la intensidad del color rojo disminuyó, principalmente en los prototipos MD60/60 y MD-NaCl40/60. En cuanto a la coordenada b^* todos los prototipos aumentaron la intensidad del color amarillo respecto al xoconostle fresco. La apariencia de los prototipos ya se refirió a esa figura unos párrafos arriba.

Selección de prototipos para las pruebas sensoriales

Con el fin de evaluar sensorialmente las muestras de xoconostle deshidratadas, se seleccionaron los prototipos que no presentaran diferencia significativa respecto al xoconostle fresco en al menos 2 de los criterios de selección (polifenoles, betalainas o acidez titulable), siendo estos MD60/40, MD-NaCl40/40, S-NaCl40/40 y MD40/60.

3.3. Caracterización sensorial

Xoconostle fresco

Durante la caracterización sensorial del fruto fresco, los jueces mencionaron entre 7 y 12 características del xoconostle, tuna verde, roja y amarilla. En total se obtuvieron 41 descriptores, de los cuales 9 fueron semánticamente diferentes: tres atributos de apariencia, tres de textura, dos de sabor y una sensación trigeminal. Dichos atributos fueron: número de semillas, tamaño de semillas, distribución de semillas, viscosidad, jugosidad, firmeza, acidez, dulzor y astringencia.

El principal resultado que proporciona el Perfil Rápido es un mapa sensorial. Con este fin, las tablas de datos individuales obtenidas para las dos sesiones de caracterización sensorial se compilan y analizan por medio de una técnica de análisis multivariado (el AGP). La Figura 2 (a) muestra los residuos por frutos frescos, como resultado del AGP. El análisis de la varianza residual indica que los jueces utilizaron criterios similares para evaluar la tuna amarilla, la tuna roja y el xoconostle. Sin embargo, para la tuna verde, el valor del residual fue más alto y, por lo tanto, el consenso entre los panelistas para este fruto fue menor en comparación con los demás frutos. Con respecto a los residuales de los jueces (Fig 2b), los resultados muestran que la mayoría de ellos (excepto los jueces 3 y 8) presentaron un buen acuerdo con respecto a los atributos que utilizaron para describir los frutos. Lo anterior se sustenta con el valor del índice de consenso ($Rc1=0.654$), el cual es aceptable para los fines requeridos ya que con el método de Perfil Rápido no se realiza una etapa de entrenamiento que permita al juez conocer con exactitud las características que distinguen al producto (Dehlholm et al., 2012).

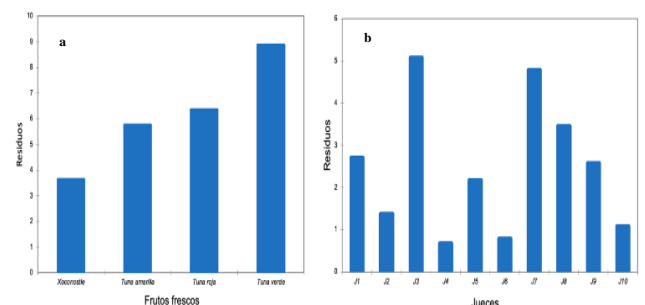


Figura 2 Residuos por frutos frescos (a) y por jueces (b) obtenidos del análisis GPA.

La Figura 3 muestra el mapa sensorial de los frutos frescos y los atributos obtenidos por los jueces extraídos del AGP, que explica el 88.86% de la variabilidad total en dos dimensiones (68.42% para la primera y 20.44% para la segunda). Entre los nueve atributos mencionados: número de semillas, tamaño de semillas, distribución de semillas, acidez, viscosidad y jugosidad fueron los atributos que mejor se correlacionaron con la primera dimensión (valores de correlación -0.947, -0.963, -0.787, 0.787, -0.943 y -0.830, respectivamente). Para la segunda dimensión, los atributos dulzor y firmeza mostraron correlaciones aceptables (valores de correlación 0.770 y 0.910, respectivamente). Se observó que los productos están separados entre sí. La tuna verde y la tuna amarilla presentan características similares entre ellas puesto que resultaron agrupadas juntas, pero separadas de la tuna roja y del xoconostle. Esto indica que los jueces diferenciaron al xoconostle de las tunas, el cual presentó características completamente diferentes a las percibidas en las tunas. La principal característica que diferencia al xoconostle de las tunas es la acidez ya que todos los jueces coincidieron en que el xoconostle fue la muestra más ácida (Fig.3). De acuerdo a Torres-Bojórquez et al., (2017), el sabor dulce predomina en las tunas (especies *opuntia ficus-indica* y *robusta*), además, resaltan notas frutales (betabel y garambullo) y aromas florales.

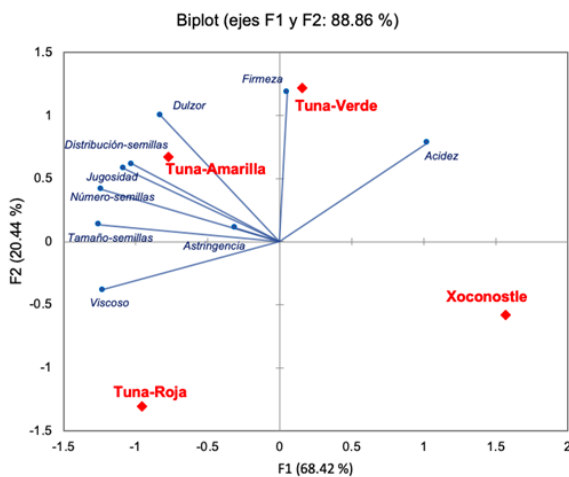


Figura 4 Mapa sensorial de los cuatro frutos frescos y los términos utilizados para describirlos.

Xoconostle deshidratado

Para la caracterización sensorial de los prototipos S-NaCl40/40, MD-NaCl40/40, MD40/60 y MD60/40 los jueces proporcionaron entre 7 a 10 características principales. En total se obtuvieron 29 descriptores, de los cuales 6 fueron semánticamente diferentes: dos atributos de apariencia (color del centro, tamaño), uno de textura (firmeza) y tres de sabor (acidez, salado y dulzor). La deshidratación afectó de manera considerable la percepción de los atributos sensoriales ya que los jueces detectaron menos atributos en el xoconostle deshidratado en comparación con el fresco. Cano-Lamadrid et al. (2017) señalan que el perfil sensorial de los arilos de granada cambió considerablemente una vez que fueron sometidos al proceso de deshidratación, manteniendo el dulzor como el atributo más destacable. En el caso del xoconostle, la nota ácida que lo caracteriza se mantiene presente, sobre todo en las muestras que fueron sometidas a la solución de maltodextrina.

En la Figura 4a se muestran los residuos por prototipos, como resultado del GPA. El análisis de la varianza residual mostró que los jueces utilizaron criterios similares para evaluar los prototipos S-NaCl40/40, MD40/60 y MD60/40. Sin embargo, para el

prototipo MD-NaCl40/40 el valor del residual fue más alto, lo que indica que para esta muestra, el consenso entre los panelistas fue menor en comparación con los demás prototipos analizados. Los residuales de los jueces (Fig 4b) indican que las mayoría de ellos presentaron (excepto para el juez 7) un buen acuerdo con respecto a los atributos que utilizaron para describir los prototipos.

En la Figura 3b se muestra el mapa sensorial de muestras, en el que los componentes F1 y F2 explican el 82.06% de la varianza total. Se observó que los prototipos MD60/40 y MD-NaCl40/40 presentan características similares, agrupándose juntas y separadas de los prototipos S-NaCl40/40 y MD40/60, los cuales a su vez, son diferentes entre sí.

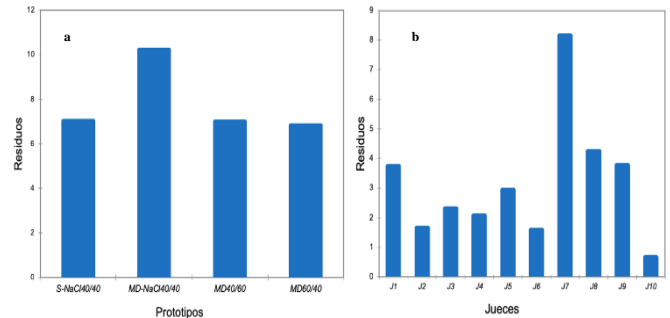


Figura 3 Mapa sensorial de prototipos y las características que los describen.

En la Figura 5 se puede observar que las principales características que posee el prototipo S-NaCl40/40 son su sabor dulce, salado y color rosa del centro. El prototipo MD40/60 se distingue por su sabor ácido, color rosa del centro y por el tamaño de rebanada más grande. Los prototipos MD60/40 y MD-NaCl40/40 presentaron sabor salado y similitudes en la firmeza. Los jueces acordaron definir a la firmeza en función de qué tan crujiente o duro era el prototipo. Cuando el prototipo fue crujiente se consideró poco firme y cuando fue duro se consideró muy firme. En este caso, los prototipos MD60/40 y MD-NaCl40/40 resultaron ser muy firmes. En frutos tropicales (mango y piña) que han sido sometido a deshidratación, las características sensoriales que presentaron son más apreciadas por los consumidores (Mohammed et al., 2020).

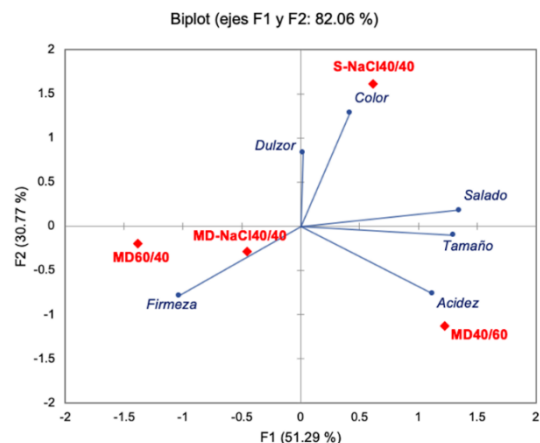


Figura 5 Mapa sensorial de prototipos y las características que los describen.

4. Conclusiones

La deshidratación osmótica combinada bajo condiciones óptimas (maltodextrina 60°Bx, a 40°C + deshidratación convectiva a 60°C y sacarosa – cloruro de sodio a 40°C +

deshidratación convectiva a 40°C) es un método factible y prometedor para la conservación de xoconostle, considerado como un fruto funcional debido a su composición fisicoquímica y nutricional. La deshidratación osmótica combinada permite la conservación de una mayor proporción de compuestos bioactivos, así como adecuadas características sensoriales del producto final. Estos resultados pueden ser valiosos para productores y empresas interesados en prolongar la vida útil del xoconostle sin alterar sus propiedades funcionales y sensoriales.

Agradecimientos

Los autores agradecen al programa Cátedras-CONACYT.

Referencias

- A.O.A.C., (1996). Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical chemist. E.U.A.
- A.O.A.C., (2000). Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical chemist. E.U.A.
- A.O.A.C., (2012). Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical chemist. E.U.A.
- Ahmed, I., Qazi, I. M., Jamal, S., (2016). Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 34, 29–43. DOI: 10.1016/j.ifset.2016.01.003
- Badui, S., (2013). *La ciencia de los alimentos en la práctica*. Journal of Chemical Information and Modeling (Cuarta., Vol. 53). México: PEARSON EDUCACIÓN. DOI: 10.1017/CBO9781107415324.004
- Barbosa, G., Vega, H., (2000). Introducción a la deshidratación de alimentos. *Deshidratación de alimentos* (pp. 1–6).
- Cano-Lamadrid, M., Lech, K., Michalska, A., Wasilewska, M., Figiel, A., Wojdyło, A., Carbonell-Barrachina, Á. A., (2017). Influence of osmotic dehydration pre-treatment and combined drying method on physicochemical and sensory properties of pomegranate arils, cultivar Mollar de Elche. *Food Chemistry*, 232(October 2019), 306–315. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.04.033
- Castañeda, J., Arteaga, H., Siche, R., Rodríguez, G., (2010). Comparative study of the loss of vitamin C in chalarina (*Casimiroa edulis*) by four methods of dehydration. *Scientia Agropecuaria*, 1, 75–80.
- Cornejo, V., (2010). *Deshidratación de rebanadas de aguacate variedad Hass por el método OSMO-VAC (osmótico-vacío) y evaluación de la calidad del producto*. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas Instituto Politécnico Nacional.
- Dehlholm, C., Brockhoff, P. B., Meinert, L., Aaslyng, M. D., Bredie, W. L. P., (2012). Rapid descriptive sensory methods - Comparison of Free Multiple Sorting, Partial Napping, Napping, Flash Profiling and conventional profiling. *Food Quality and Preference*, 26(2), 267–277. DOI: 10.1016/j.foodqual.2012.02.012
- González de la Rosa, L., Campos-Montiel, R. G., Pinedo-Espinoza, J. M., Hernández-Fuentes, A., (2016). Comportamiento poscosecha del fruto de xoconostle Ulapa, (*Opuntia oligacantha* C. F. Först) por efecto de corte e índices de madurez. *Boletín de Ciencias Agropecuarias del ICAP*, 2(3 SE-Artículos). DOI: 10.29057/icap.v2i3.996
- Gorostiola, H., (2015). *Efecto del secado por aspersión en la actividad hipoglucemiantes de jugo de Xoconostle (Opuntia joconostle)*. INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL.
- Guzmán-Maldonado, S. H., Morales-Montelongo, A. L., Mondragón-Jacobo, C., Herrera-Hernández, G., Guevara-Lara, F., Reynoso-Camacho, R., (2010). Physicochemical, nutritional, and functional characterization of fruits xoconostle (*Opuntia matudae*) pears from central-México Region. *Journal of Food Science*, 75(6). DOI: 10.1111/j.1750-3841.2010.01679.x
- Hernández-Fuentes, A. D., Trapala-Islas, A., Gallegos-Vázquez, C., Campos-Montiel, R. G., Pinedo-Espinoza, J. M., Guzmán-Maldonado, S. H., (2015). Physicochemical variability and nutritional and functional characteristics of xoconostles (*Opuntia* spp.) accessions from Mexico. *Fruits*, 70(2), 109–116. DOI: 10.1051/fruits/2015002
- Khan, M. R., (2012). Osmotic dehydration technique for fruits preservation-A review. *Pakistan Journal of Food Sciences*, 22(2), 71–85.
- Liu, J., Bredie, W. L. P., Sherman, E., Harbertson, J. F., Heymann, H., (2018). Comparison of rapid descriptive sensory methodologies: Free-Choice Profiling, Flash Profile and modified Flash Profile. *Food Research International*, 106, 892–900. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.01.062
- Mohammed, S., Edna, M., Siraj, K., (2020). The effect of traditional and improved solar drying methods on the sensory quality and nutritional composition of fruits: A case of mangoes and pineapples. *Heliyon*, 6(6), e04163. DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e04163
- Monroy-Gutiérrez, T., Martínez-Damián, M. T., Barrientos-Priego, A. F., Gallegos-Vázquez, C., Rodríguez-Pérez, J. E., Colinas-León, M. T. B., (2017). Evaluation of some physical and chemical characteristics of fruits of xocotuna, tuna and xoconostle in postharvest. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(1), 189. DOI: 10.29312/remexca.v8i1.82
- Morales, A., (2009). *Caracterización fitoquímica funcional del fruto de xoconostle cuaresmeño (Opuntia matudae) y el efecto de su consumo en parámetros bioquímicos de ratas diabéticas*. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Morales, P., Barros, L., Ramírez-Moreno, E., Santos-Buelga, Ferreira, I. C. F. R. F. R., Santos-Buelga, C., Ferreira, I. C. F. R. F. R., et al., (2014). Exploring xoconostle by-products as sources of bioactive compounds. *Food Research International*, 65(PC), 437–444. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.05.067
- Morales, P., Ramírez-Moreno, E., Sanchez-Mata, M. de C., Carvalho, A. M., Ferreira, I. C. F. R., Sánchez-Mata, M. de C., Carvalho, A. M., et al., (2012). Nutritional and antioxidant properties of pulp and seeds of two xoconostle cultivars (*Opuntia joconostle* F.A.C. Weber ex Duguet and *Opuntia matudae* Scheinvar) of high consumption in Mexico. *Food Research International*, 46(1), 279–285. Elsevier Ltd. DOI: 10.1016/j.foodres.2011.12.031
- Osorio, O. E., Ortiz Moreno, A., Álvarez, V., Dorantes Álvarez, L., Giusti, M. M., (2011). Phenolics, betacyanins and antioxidant activity in *Opuntia joconostle* fruits. *Food Research International*, 44(7), 2160–2168. DOI: 10.1016/j.foodres.2011.02.011
- Pattanapa, K., Therdthai, N., Chantrapornchai, W., Zhou, W., (2010). Effect of sucrose and glycerol mixtures in the osmotic solution on characteristics of osmotically dehydrated mandarin cv. (Sai-Namphaung). *International Journal of Food Science & Technology*, 45(9), 1918–1924. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2010.02353.x
- Phisut, N., (2012). Factors affecting mass transfer during osmotic dehydration of fruits. *International Food Research Journal*, 19(1), 7–18.
- Proteggente, A. R., Pannala, A. S., Paganga, G., van Buren, L., Wagner, E., Wiseman, S., van de Put, F., et al., (2002). The Antioxidant Activity of Regularly Consumed Fruit and Vegetables Reflects their Phenolic and Vitamin C Composition. *Free Radical Research*, 36(2), 217–233. Taylor & Francis. DOI: 10.1080/10715760290006484
- Rodríguez-Saona, L. E., Wrolstad, R. E., (2001). Extraction, Isolation, and Purification of Anthocyanins. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, F1.1.1-F1.1.11. DOI: 10.1007/978-1-61779-624-1
- SIAP, (2018). *Boletín mensual de producción Maíz grano*.
- da Silva, W. P., e Silva, C. M. D. P. S., Lins, M. A. A., Gomes, J. P., (2014). Osmotic dehydration of pineapple (*Ananas comosus*) pieces in cubical shape described by diffusion models. *Food Science and Technology*, 55(1), 1–8. DOI: https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.08.016
- Sutar, P. P., Raghavan, G. V. S., Garipey, Y., Prasad, S., Trivedi, A., (2012). Optimization of Osmotic Dehydration of Potato Cubes Under Pulsed Microwave Vacuum Environment in Ternary Solution. *Drying Technology*, 30(13), 1449–1456. DOI: 10.1080/07373937.2012.688909
- Szadzinska, J., Kowalski, S. J., Stasiak, M., (2016). Microwave and ultrasound enhancement of convective drying of strawberries: Experimental and modeling efficiency. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 103, 1065–1074. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.08.001
- Tadesse, T., Abera, S., Worku, S., (2015). Nutritional and Sensory Properties of Solar-Dried Carrot Slices as Affected by Blanching and Osmotic Pre-Treatments. *International Journal of Food Science and Nutrition Engineering*, 5(1), 24–32. DOI: 10.5923/j.food.20150501.04
- Tepper, P., (1996). *Transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de palta cv Fuerte*. Universidad de Chile.
- Torres-Bojórquez, A. E., García-Rubio, O. R., Miranda-López, R., Cardador-Martínez, A., (2017). Evaluación de la capacidad antioxidante, características fisicoquímicas y perfil sensorial de *Opuntia robusta* y *O. ficus-indica*. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 67, 291–299.
- Tortoe, C., (2010). A review of osmotic dehydration for food industry. *African Journal of Food Science*, 4(6), 303–324.
- Varela, P., Ares, G., (2012). Sensory profiling, the blurred line between sensory and consumer science. A review of novel methods for product characterization. *Food Research International*, 48(2), 893–908. DOI: 10.1016/j.foodres.2012.06.037