

## Influencia del método de deshidratación sobre la calidad de *snacks* de zapallito redondo [*Cucurbita maxima* var. Zapallito (Carr.) Millán]

Massolo, Juan Facundo<sup>1,3</sup>; Cristian Matías Ortiz<sup>2</sup>; Analía Concellón<sup>1</sup>; Ariel Roberto Vicente<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecología de Alimentos (CIDCA) (CONICET-UNLP), La Plata, Buenos Aires, Argentina; <sup>2</sup>Laboratorio de Investigación en Productos Agroindustriales (LIPA), Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Buenos Aires, Argentina; <sup>3</sup>facundomassolo@quimica.unlp.edu.ar

Massolo, Juan Facundo; Cristian Matías Ortiz; Analía Concellón; Ariel Roberto Vicente (2020) Influencia del método de deshidratación sobre la calidad de *snacks* de zapallito redondo [*Cucurbita maxima* var. Zapallito (Carr.) Millán]. Rev. Fac. Agron. Vol 119 (1): 1-8. <https://doi.org/10.24215/16699513e045>

El creciente interés por los *snacks* de vegetales no amiláceos, preparados sin fritura se explica por su menor densidad calórica, respecto a la papa deshidratada y frita. Los métodos convencionales de secado a alta temperatura en ciertos casos pueden provocar pérdidas de componentes bioactivos. Es por ello que existe interés en la búsqueda de nuevos métodos de procesamiento que reduzcan el desperdicio de estos productos. En este trabajo, se evaluó la calidad (antioxidantes fenólicos, carotenoides, azúcares, acidez, color, aceptabilidad sensorial e higroscopicidad) de *snacks* de zapallito redondo obtenidos por dos métodos diferentes: 1) secado con aire caliente (SAC) o 2) por un método combinado de deshidratación osmótica (DO) con NaCl seguido de una etapa de secado por aire caliente (DO+SAC). Dependiendo de la concentración de NaCl empleada, la etapa de DO permitió reducir la humedad inicial del vegetal en 15-30%. La incorporación de un pre-tratamiento de DO antes del secado por aire caliente no afectó la acidez, azúcares ni contenido de compuestos fenólicos del producto final. Los *snacks* obtenidos por el método combinado DO+SAC, mostraron mejor color y aceptabilidad sensorial, mayor nivel de carotenoides extraíbles y menor higroscopicidad que los producidos por SAC. Los resultados del presente trabajo muestran que los tratamientos combinados de DO y aire caliente, resultan en *snacks* de zapallito redondo con mejores propiedades físicas (color, higroscopicidad), nutricionales (carotenoides) y sensoriales (aceptabilidad) que aquellos obtenidos sólo por secado convencional con aire caliente.

**Palabras clave:** hortalizas, deshidratación osmótica, antioxidantes, carotenoides

Massolo, Juan Facundo; Cristian Matías Ortiz; Analía Concellón; Ariel Roberto Vicente (2020) Influence of the dehydration method on the quality of round summer squash snacks [*Cucurbita maxima* var. Zapallito (Carr.) Millán] Rev. Fac. Agron. Vol 119 (1): 1-8. <https://doi.org/10.24215/16699513e045>

The growing interest in snacks of non-starchy vegetables, prepared without frying is explained by its lower caloric density, compared to dehydrated and fried potatoes. Occasionally, conventional high-temperature drying methods may cause losses of bioactive components. Consequently, there is interest in the search for new processing methods that reduce such losses. In this work, the quality of round summer squash snacks (phenolic antioxidants, carotenoids, sugars, acidity, color, sensory acceptability and hygroscopicity) obtained by two different methods was evaluated: 1) hot air drying (SAC) or 2) by combined method of osmotic dehydration (DO) with NaCl followed by a hot air drying stage (DO + SAC). Depending on the concentration of NaCl used, the DO stage allowed to reduce the initial humidity of this vegetables by 15-30%. The incorporation of a DO pre-treatment before hot air drying did not affect product acidity, sugars and phenolic compounds. The snacks obtained by the combined DO + SAC method, showed better color and sensory acceptability, higher level of extractable carotenoids and lower hygroscopicity than those produced by SAC. Results show that combining osmotic dehydration with hot drying, improve the physical, nutritional and sensory properties of vegetable snacks.

**Keywords:** vegetables, osmotic dehydration, antioxidants, carotenoids

<https://revistas.unlp.edu.ar/revagro>

Recibido: 27/03/2019

Aceptado: 16/08/2019

Disponible on line: 01/07/2020

ISSN 0041-8676 - ISSN (on line) 1669-9513, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, Argentina

## INTRODUCCIÓN

La Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO) recomienda un consumo de 400 g de frutas y hortalizas sin incluir la papa para una dieta saludable (Hawkes, 2013). Desafortunadamente, los niveles de consumo de la población suelen ubicarse a nivel mundial por debajo de este valor. En la Argentina el consumo de frutas y hortalizas se ubica en 271 g por habitante y por día (INTA, 2015). Si bien se han realizado diferentes campañas de difusión y educación para promover el consumo de vegetales, existen otras alternativas que podrían contribuir a este fin, como la obtención de nuevos productos procesados (Kowalska et al., 2017; Majerska et al., 2019). De todos modos, de ser posible resulta de interés conservar los vegetales en estado fresco para mantener lo máximo posible el nivel de componentes beneficiosos como antioxidantes fenólicos y carotenoides. Así mismo, resulta deseable que no incorporen sustancias que sean poco deseables como sal en exceso, conservantes, aceite (Ainsworth & Plunkett, 2007; Torres et al., 2015; Mitchell, 2016; Pankaj & Keener, 2017).

Los *snacks* de vegetales no amiláceos preparados sin fritura han comenzado a difundirse recientemente en Argentina, debido a su menor densidad calórica respecto al producto tradicional obtenido a partir de la papa. De todos modos, la información disponible acerca de las mejores condiciones de producción de los mismos es aun escasa y acotada (Onwude et al., 2016, 2017). El secado por aire caliente (SAC) ha sido utilizado por largo tiempo para la estabilización de hortalizas y frutas (Huang & Zang, 2012). Posee numerosas ventajas, tales como i) la generación de productos estables a temperatura ambiente, ii) la reducción del uso de materiales de embalaje, iii) la disminución de costos de transporte, iv) el agregado de valor a la producción primaria y v) la oferta de nuevas alternativas de consumo de hortalizas. De todos modos, en algunos casos este proceso puede causar pérdidas significativas de compuestos bioactivos (Sablani, 2006). Por ejemplo, en pimiento se ha demostrado que la deshidratación a 65 °C redujo el contenido de vitamina C en un 70% (Reis et al., 2013). En berenjena, la pérdida de la capacidad antioxidante luego de un proceso de secado fue casi total (Zaro et al., 2015). Por otro lado, como el SAC altera la estructura de los tejidos vegetales, algunas propiedades físicas, químicas y sensoriales se ven afectadas, como el color, la higroscopicidad, el sabor y con ellos la aceptabilidad (Troncoso & Pedreschi, 2007).

Desde hace varios se ha despertado un creciente interés en el desarrollo de tratamientos combinados de deshidratación con el fin de lograr una mejor calidad de producto final con respecto a aquellos obtenidos netamente por SAC (Chavan, 2012). La deshidratación osmótica (DO) consiste en la remoción parcial de agua en alimentos por inmersión en soluciones de alta presión osmótica (Tiware, 2005). La diferencia de concentración entre el producto y el medio de incubación conduce al agua desde el alimento hacia la solución circundante, incluso a bajas temperaturas (Lombard et al., 2008). En tal sentido, esta metodología se ha propuesto como una forma de remoción de agua a temperaturas más bajas que las empleadas en los

métodos de SAC, con un consecuente beneficio para algunos metabolitos termolábiles de interés presentes en el alimento a deshidratar (Torreggiani & Bertolo, 2004; Yadav & Satya, 2012). Además, al modificar la compartimentación de componentes celulares, la DO puede alterar la estabilidad, extractabilidad y biodisponibilidad de algunos compuestos (Yadav & Satya, 2012). A fin de aumentar la información disponible acerca de la forma de procesamiento de este vegetal para la producción de productos deshidratados (Doymaz, 2007; Mujumdar, 2007; Wang et al., 2007), el objetivo de este trabajo fue evaluar las propiedades físicas, químicas y sensoriales de *snacks* de zapallito obtenidos por 1) secado con aire caliente a 60 °C o 2) por un método combinado de deshidratación osmótica con NaCl seguido de una etapa de secado por aire caliente.

## METODOLOGÍA

### Material vegetal

Se cosecharon zapallitos redondos producidos a campo en La Plata, Argentina, en estado de madurez comercial con un tamaño de  $80 \pm 8$  mm de diámetro ecuatorial. Los frutos se transportaron inmediatamente al laboratorio, se seleccionaron basándose en el color, uniformidad, ausencia de daño mecánico o pudriciones. Los zapallitos se lavaron con agua clorada ( $200 \text{ mg L}^{-1}$  NaClO pH 7,0) y se orearon a temperatura ambiente por 5 min.

### Deshidratación osmótica (DO) de rodajas de zapallito

Los frutos se procesaron en un equipo industrial (Moretti, Argentina) para obtener rodajas de  $3 \pm 0,3$  mm de espesor de la zona ecuatorial. Las rodajas se sumergieron en un recipiente con diferentes disoluciones salinas, con una relación muestra / disolución de 1:10 en peso, en agitación (50 rpm) por 2 horas. Las disoluciones empleadas fueron las siguientes:

- i) NaCl 0,5% p/v,
- ii) NaCl 1,0% p/v (DO<sub>1,0%</sub>)
- iii) NaCl 2,0% p/v (DO<sub>2,0%</sub>)

En todos los casos la temperatura de las soluciones se mantuvo a 20 °C. A su vez, se incluyeron tratamientos osmóticos con similares concentraciones de NaCl pero añadiendo ácido ascórbico 1,0% p/v y ácido cítrico 1,0% como antioxidantes. Este agregado tuvo como objetivo establecer si los cambios de color observados durante la DO se asociaban a un proceso de oxidación. Seguidamente, un grupo de rodajas sin tratamiento de DO fueron utilizadas como control. Se utilizaron 15 rodajas para cada tratamiento. El experimento se llevó a cabo por triplicado.

### Humedad durante la etapa de deshidratación osmótica

Se determinó el cambio en la humedad durante el proceso de deshidratación osmótica para los diferentes tratamientos. Para ello se tomaron muestras a distintos tiempos del secado en estufa (a 105 °C) y se midió la humedad de forma gravimétrica, hasta obtención de la

materia seca (MS) tras peso constante (AOAC, 2000). El contenido de humedad (H) se calculó según (Ecuación 1):

$$H (\%) = 100 \times (\text{Peso} - \text{MS}) / \text{MS}$$

Se evaluaron 5 rodajas para cada tratamiento y tiempo de muestreo.

#### Color y contenido de antioxidantes fenólicos y carotenoides luego de la etapa de deshidratación osmótica

Al finalizar el tratamiento de deshidratación osmótica, se midió el color en el centro de cada rodaja empleando un colorímetro (Minolta CR-400, Japón). Así, se obtuvieron los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  y con ellos se calculó la diferencia de color ( $\Delta E$ ), con el fruto fresco como referencia (Ecuación 2).

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

Se evaluaron 20 rodajas para cada tratamiento.

Para la determinación de compuestos fenólicos, los frutos se congelaron en  $N_2$  y se procesaron en un molinillo. Un gramo del polvo resultante se extrajo en 10 mL de etanol 96% v/v. La suspensión se agitó en forma mecánica por 1 minuto y se centrifugó a  $10.000 \times g$  por 10 min a 4 °C. El sobrenadante se conservó y el pellet se re-extrajo y centrifugó como se describió previamente. Los sobrenadantes se unificaron y a esta mezcla se la diluyó a 100 mL con agua destilada. Para cada tratamiento, se prepararon tres extractos independientes. Los compuestos fenólicos se determinaron de acuerdo a la metodología señalada por Singleton et al. (1999). Cincuenta microlitros del reactivo de Folin-Ciocalteu se pipetearon dentro de tubos de ensayo conteniendo 100  $\mu\text{L}$  de los extractos diluidos a 1,4 mL con agua. Las muestras se agitaron en forma mecánica por 1 minuto y luego de 3 min a 20 °C se adicionaron 100  $\mu\text{L}$  de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  20% (p/v) disuelto en NaOH 0,1 M. Las muestras se mezclaron e incubaron a 20 °C por 1 h y la absorbancia a 760 nm se midió en un espectrofotómetro (Beckman Modelo UV Mini-1240, EEUU). El ácido clorogénico (ChA) se utilizó como un estándar fenólico y los resultados se expresaron en miligramos de ChA por kg de zapallito ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), en base húmeda (b.h.) y en base seca (b.s.). Las medidas se realizaron por triplicado.

Para la determinación de carotenoides 1 g de polvo de tejido se extrajo con 5 mL de hexano:acetona:etanol (2:1:1). Las muestras se mezclaron utilizando un vortex y se añadió 1 mL de agua para inducir la separación de fases. La fase de hexano (superior) se tomó cuidadosamente con una pipeta Pasteur y se utilizó para las mediciones de absorbancia a 454 nm. Las determinaciones se llevaron a cabo por triplicado. El contenido de carotenoides se calculó utilizando el coeficiente de extinción molar del  $\beta$ -caroteno en hexano (a 454 nm) de  $1,39 \times 10^5 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ . Los resultados se expresaron en miligramos de  $\beta$ -caroteno por kg de zapallito ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en bases húmeda y seca. Las medidas se realizaron por triplicado.

#### Tratamientos de secado final para la obtención de snacks (SAC)

El proceso de obtención de snacks de zapallito finalizó con una etapa de secado con aire caliente. Se obtuvieron productos secados por los siguientes métodos:

- i) Secado por aire caliente (SAC)
- ii) Método combinado: deshidratación osmótica seguido por una etapa de secado por aire caliente (DO+SAC)

Para ello, se colocaron aproximadamente 150 g de zapallito (en rodajas) control sin DO, DO<sub>1.0%</sub> y DO<sub>2.0%</sub> en bandejas de aluminio y se secaron en estufa a 60 °C. La humedad relativa fue de  $62,0 \pm 5,2\%$ , medida con un termo-higrómetro digital (Extech Instrument Inc., 445703, Waltham, EEUU). La pérdida de peso se analizó con una balanza analítica (Ohaus, SP402, EEUU) con una precisión de  $\pm 0.01 \text{ g}$  a intervalos de tiempo definidos (0, 10, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 300 y 390 min). El tratamiento de secado se consideró finalizado cuando las muestras alcanzaron un contenido de agua de 10% p/p. Las muestras deshidratadas se envasaron inmediatamente en bolsas de polietileno luego de alcanzar la temperatura ambiente y se almacenaron en un desecador hasta la evaluación de calidad. El experimento se realizó por triplicado.

#### Propiedades físicas y químicas de los snacks de zapallito

##### Color e higroscopicidad

El color se evaluó con un colorímetro (Minolta CR-400) analizando los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ . Se realizaron diez medidas en el centro de las rodajas para cada tratamiento.

Para la determinación de higroscopicidad, los snacks (0,8 g) se colocaron a temperatura ambiente (25 °C) en un desecador sellado, con solución salina de NaCl para dar una HR de 90%. Luego del equilibrio, las muestras se volvieron a pesar y el aumento de peso se calculó como porcentaje de humedad absorbida en relación al peso inicial. Las medidas se realizaron por triplicado.

##### Azúcares, acidez y antioxidantes

Los snacks se rehidrataron en agua destilada, se congelaron en nitrógeno líquido y se trituraron en un molinillo. La extracción de azúcares se realizó en etanol 96% v/v. Las muestras se centrifugaron y el sobrenadante se empleó para el dosaje de azúcares por el método de antrona. Luego, se añadió lentamente 1 mL de antrona  $0,5 \text{ g L}^{-1}$  (en  $\text{H}_2\text{SO}_4$  98% p/p) dentro de tubos de ensayo contenidos en un recinto con agua hielo, con 100  $\mu\text{L}$  de extracto de muestra y 150  $\mu\text{L}$  de agua destilada. Los tubos se calentaron a 100 °C por 10 min, se enfriaron en un baño de agua y se midió la absorbancia a 620 nm. Se realizaron cuatro mediciones para cada tratamiento. Se utilizó glucosa como estándar y los resultados se expresaron en gramos equivalentes de glucosa por kilogramo en base seca ( $\text{g kg}^{-1}$ ).

Para las determinaciones de pH y acidez, se agregaron 2 g de las muestras de snacks rehidratados y pulverizados sobre 100 mL de agua. El pH de la suspensión resultante se determinó

potenciométricamente y la acidez se evaluó por titulación con NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup> hasta pH 8,2 (AOAC, 2000). Se realizaron tres determinaciones para cada tratamiento. Los resultados fueron expresados en mmol [H<sup>+</sup>] kg<sup>-1</sup> en base seca. La determinación de carotenoides y compuestos fenólicos se realizó como se describió anteriormente.

### Evaluación sensorial de rodajas de zapallito deshidratado

Se realizó un ensayo de aceptabilidad por atributos con consumidores no entrenados. Para ello se empleó una escala hedónica de 9 puntos siendo 1 pobre y 9 excelente para los atributos color, sabor y aceptabilidad. Las rodajas de zapallito deshidratado SAC, DO<sub>1,0%</sub> y DO<sub>2,0%</sub> se codificaron al azar y se sirvieron a 18-20 °C con galletitas sin sal y agua sin gas a 90 panelistas no entrenados (con igual distribución entre hombres y mujeres, entre 35 y 40 años).

### Análisis estadístico

Los datos se analizaron utilizando un ANAVA y las medias se compararon mediante un test de Tukey, con un nivel de significancia de P<0,05, utilizando el software InfoStat versión 2010 (Group Infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Contenido de agua, diferencia de color, carotenoides, compuestos fenólicos, acidez y azúcares luego de la etapa de deshidratación osmótica

La incubación de las rodajas de zapallito en una solución de NaCl 0,5% resultó en un incremento de su contenido de agua (Figura 1).

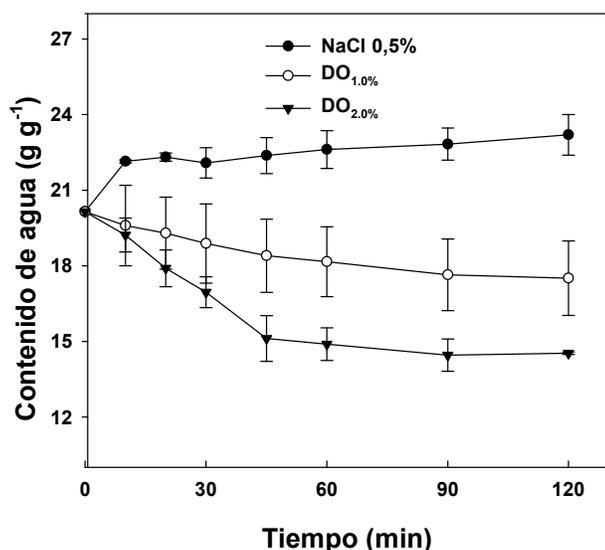


Figura 1. Humedad (b.s.) de rodajas de zapallito deshidratadas osmóticamente en NaCl 0,5, 1,0 o 2,0% p/v (NaCl 0,5%; DO<sub>1,0%</sub> y DO<sub>2,0%</sub>).

Esto indicó que la presión osmótica dentro del tejido resultó mayor que aquella de la disolución de inmersión, y en consecuencia esta concentración fue descartada *a posteriori*.

En contraste, la incubación en NaCl 1,0 (DO<sub>1,0%</sub>) y 2,0% (DO<sub>2,0%</sub>) causó una reducción del 15 y 30% del contenido de agua en b.s. respectivamente. El tratamiento con DO<sub>2,0%</sub> generó rugosidades en el epicarpio del fruto. Mayor et al. (2008) encontraron resultados similares en zapallo calabaza y sugirieron que los cambios superficiales se debieron a plasmólisis celular diferencial de los tejidos. La DO<sub>1,0%</sub> no indujo cambios notables en la forma externa de las rodajas. Luego del tratamiento de DO las rodajas de zapallito se tornaron más oscuras. La variación de color fue mayor a medida que la concentración de NaCl se incrementó (Figura 2 A). Trabajos previos en otros vegetales han informado que la principal fuente de cambio de color en productos trozados es el pardeamiento enzimático por oxidación de compuestos fenólicos (Pizzocaro et al., 1993; García & Barrett, 2002). A fin de determinar si el cambio de color ( $\Delta E$ ) en las rodajas de zapallito se asociaba a un proceso de oxidación, se realizaron DO en presencia de antioxidantes (ácido cítrico y ácido ascórbico). La presencia de estos compuestos en el medio de DO no eliminó el  $\Delta E$  observado en ausencia de antioxidantes (Figura 2 A). Esto indirectamente sugirió que los cambios de color detectados no se debieron a reacciones de pardeamiento enzimático. En función de esto y de la dependencia de la concentración de NaCl del  $\Delta E$ , se especuló que esta modificación probablemente se asociara con una concentración de carotenoides preexistentes resultantes de la remoción de agua de las muestras durante el tratamiento de DO. El incremento en el contenido de carotenoides en las muestras provenientes de los tratamientos de DO similar a la variación de color detectada confirmó esta hipótesis (Figura 2 B).

Dependiendo de la temperatura, la duración del tratamiento, las dimensiones de las rodajas, la estructura de los tejidos y la naturaleza y concentración de osmolitos utilizada, los tratamientos con DO pueden causar pérdidas variables de componentes vegetales (Pan et al., 1993). A fin de determinar si los tratamientos de DO provocaban pérdidas en otros metabolitos de interés, se determinó el contenido de azúcares, compuestos fenólicos y acidez. Bajo las condiciones empleadas para el tratamiento de DO (1,0 o 2,0% de NaCl, 2 h, 20 °C) las variaciones encontradas entre tratamientos en el contenido de fenoles y de azúcares en b.s. no presentaron significancia estadística (Tabla 1), sugiriendo que la pérdida de electrolitos durante la incubación fue limitada. En contraste, ocurrió una reducción de la acidez.

### Cinéticas de secado

Tanto las rodajas control como las deshidratadas osmóticamente (DO) en NaCl 1,0 o 2,0% fueron sometidas a un proceso de secado en estufa con aire a 60 °C (SAC) para finalizar el proceso de obtención de snacks. Las cinéticas del proceso de secado se observan en la Figura 3 A. Como es esperable, tras la deshidratación osmótica las rodajas tuvieron una

remoción parcial de agua, su contenido inicial de humedad resultó menor al de los frutos control (SAC).

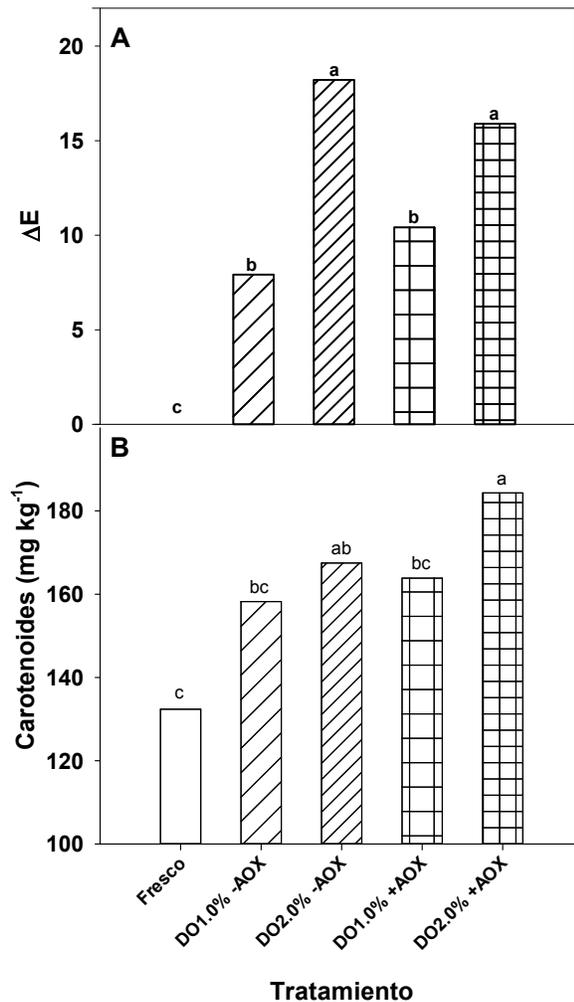


Figura 2. A) Diferencia de color ( $\Delta E$ ) y B) carotenoides (b.s.), de rodajas de zapallito deshidratadas osmóticamente en NaCl 1,0 o 2,0% p/v ( $DO_{1,0\%}$  y  $DO_{2,0\%}$ ) con o sin ácido ascórbico (+AOX o -AOX, respectivamente). Letras distintas indican diferencias significativas en un test de Tukey con  $P < 0,05$ .

Tabla 1. Compuestos fenólicos, acidez y azúcares (todo en b.s.) de rodajas de zapallito control o deshidratadas osmóticamente (DO) en NaCl 1,0 o 2,0% p/v ( $DO_{1,0\%}$  and  $DO_{2,0\%}$ ). Letras distintas indican diferencias significativas en un test de Tukey con  $P < 0,05$ .

Tratamiento	Fenoles (mg kg <sup>-1</sup> )	Acidez (mmol H <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> )	Azúcares (g kg <sup>-1</sup> )
Control	9317 <sup>a</sup>	159 <sup>a</sup>	520 <sup>a</sup>
DO <sub>1,0%</sub>	10282 <sup>a</sup>	150 <sup>b</sup>	515 <sup>a</sup>
DO <sub>2,0%</sub>	9717 <sup>a</sup>	151 <sup>b</sup>	588 <sup>a</sup>

La velocidad inicial de secado registrada en los diferentes pretratamientos fue similar. En tal sentido, los frutos pretratados por  $DO_{2,0\%}$  mostraron una reducción del 25% en el tiempo de secado necesario para llegar a la humedad final del producto control o sometidos al tratamiento de  $DO_{1,0\%}$ . Revaskar et al. (2014) encontraron resultados similares en rodajas de cebolla sometidas a pretratamientos de DO antes del SAC. Sin embargo, en dicho estudio las concentraciones de NaCl utilizadas fueron mucho mayores (10-20% p/v). Considerando la duración del tratamiento de DO sumado al de SAC, el tratamiento  $DO_{2,0\%}$  tiene un tiempo total de proceso similar al control. Sin embargo, las rodajas tratadas mediante  $DO_{2,0\%}$  fueron expuestas al calor por un período más corto. Los frutos SAC y  $DO_{1,0\%}$  presentaron tiempos de secado con aire caliente similares entre sí. Al finalizar el proceso de secado con aire caliente se obtuvieron los *snacks* correspondientes a los tres tratamientos ensayados. A pesar de que todos los *snacks* presentaron una humedad final comparable, el producto proveniente del tratamiento  $DO_{2,0\%}+SAC$  mostró un color más amarillo respecto de los demás tratamientos (Figura 3 B). Esto sugiere que el cambio de color ya observado al final de la DO podría no ser atribuido a una concentración de carotenoides solamente. Una posible explicación para ello sería que los tratamientos de DO hayan ocasionado cambios en la compartimentación de pigmentos, como se ha descrito para otros compuestos coloreados en vegetales deshidratados osmóticamente (Nieto et al., 2004; Yadav & Satya, 2012).

El color de las rodajas de zapallito cambió significativamente durante la etapa de secado en estufa (Tabla 2). Los frutos de los tres tratamientos mostraron contenidos similares de azúcares, indicando que las pérdidas durante la etapa de DO no fueron significativas (Tabla 2). En contraste, una acidez más baja de las rodajas tratadas por DO sugirió que el pretratamiento causa pérdidas de estos compuestos (Tabla 2).

Para los tres tratamientos evaluados los *snacks* de zapallito mostraron una reducción significativa del contenido de compuestos fenólicos (Figura 4 A). Zaro et al. (2015) demostraron que en rodajas de berenjena la pérdida de fenoles es casi completa, aún a 50 °C y bajo vacío. Resultados similares fueron reportados en pimientos, secados a temperaturas tan bajas como 45 °C (Reis et al., 2013).

El contenido de carotenoides en zapallito redondo fresco fue de 180 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 4 B). Interesantemente, los 3 tratamientos de secado ensayados causaron un incremento neto en b.s. del nivel de carotenoides libres. Dewanto et al. (2002) encontraron resultados similares en tomate sometido a tratamientos térmicos e indicaron que el incremento aparente de carotenoides podría haber resultado de una mayor extractabilidad de los mismos. Llamativamente, los frutos sujetos a los tratamientos combinados de DO+SAC mostraron un aumento del 60% en el contenido de antioxidantes carotenoides extraíbles. Este comportamiento ha sido descrito en otros vegetales (Prabuthas et al., 2009). Los carotenoides son conocidos por estar presentes en plástidos especializados dentro de cuerpos grasos o formando complejos con proteínas estabilizados por

interacciones no covalentes (Britton & Helliwell, 2008). Consecuentemente, la DO en un medio salino podría favorecer la disociación parcial de los carotenoides de estos complejos permitiendo su redistribución subcelular. El flujo de masa generado por la diferencia de concentración entre la muestra y el medio

proveería además la fuerza motriz para dicho proceso (Rastogi & Niranjani, 1998). Si bien futuros estudios resultarían de interés para evaluar estos mecanismos, los resultados del presente trabajo indican que la inclusión de un tratamiento de DO antes del SAC permite incrementar marcadamente la extractabilidad de antioxidantes carotenoides en *snacks* de vegetales.

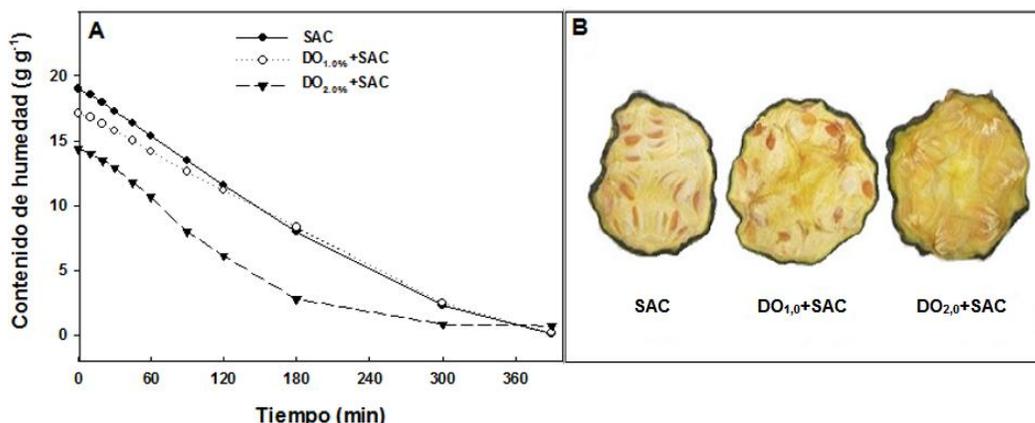


Figura 3. A) Cinéticas de secado (b.s.) y B) apariencia de rodajas de zapallito secadas con aire caliente (SAC) sin pretratamiento (SAC) o deshidratadas osmóticamente en NaCl 1,0 o 2,0% p/v antes del secado en estufa (DO<sub>1,0%</sub>+SAC y DO<sub>2,0%</sub>+SAC).

Tabla 2. Diferencia de color ( $\Delta E$ ), luminosidad ( $L^*$ ), tono (Hue), azúcares, pH y acidez (en b.s.), de rodajas de zapallito secadas con aire caliente (SAC) o deshidratadas osmóticamente (DO) en NaCl 1,0 o 2,0% p/v seguidos de SAC (DO<sub>1,0%</sub>+SAC and DO<sub>2,0%</sub>+ SAC). Letras distintas indican diferencias significativas en un test de Tukey con  $P < 0,05$ .

Tratamiento	$\Delta E$	$L^*$	Hue	Azúcares (g kg <sup>-1</sup> )	pH	Acidez (mmol kg <sup>-1</sup> )
SAC	0,0 <sup>c</sup>	84,2 <sup>a</sup>	96,7 <sup>a</sup>	338 <sup>a</sup>	6,31 <sup>b</sup>	417 <sup>a</sup>
DO <sub>1,0%</sub> +SAC	8,2 <sup>b</sup>	78,7 <sup>b</sup>	95,7 <sup>a</sup>	458 <sup>a</sup>	6,43 <sup>a</sup>	302 <sup>b</sup>
DO <sub>2,0%</sub> +SAC	28,8 <sup>a</sup>	56,1 <sup>c</sup>	90,6 <sup>b</sup>	371 <sup>ab</sup>	6,40 <sup>a</sup>	299 <sup>b</sup>

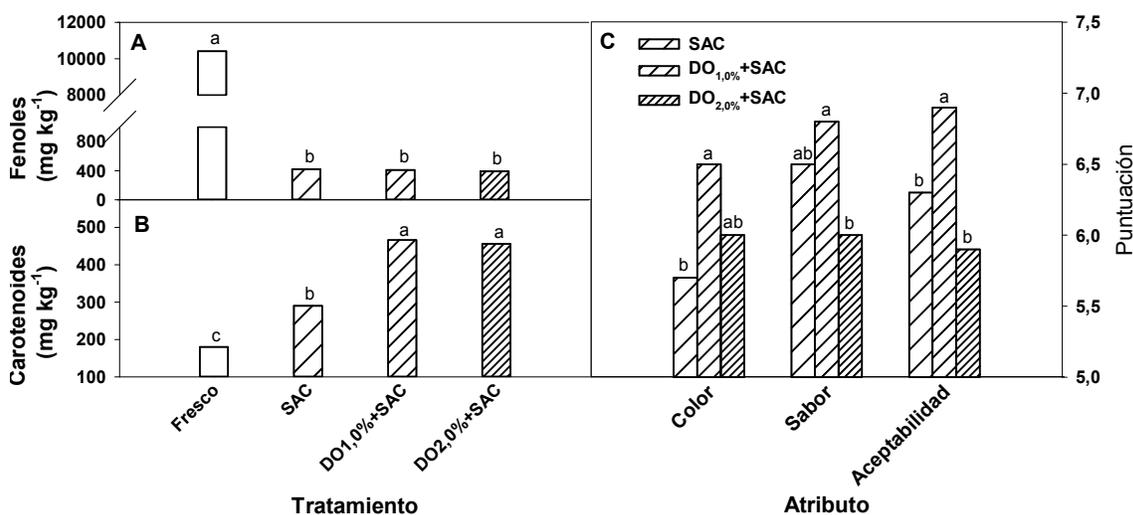


Figura 4. A) Fenoles totales (b.s.) y B) carotenoides (b.s.) y C) evaluación sensorial de rodajas de zapallito secadas con aire caliente (SAC) directamente o deshidratadas osmóticamente en NaCl 1,0 o 2,0% p/v seguido de SAC (DO<sub>1,0%</sub>+SAC y DO<sub>2,0%</sub>+SAC). Letras distintas indican diferencias significativas en un test de Tukey con  $P < 0,05$ .

Una propiedad deseable de los *snacks* en general es su baja higroscopicidad, dado que la absorción de agua reduce marcadamente la textura del producto. En este estudio, la higroscopicidad del producto obtenido por DO+SAC fue menor que la de los *snacks* obtenidos sólo por SAC. Esto podría atribuirse a que la metodología de secado modula la porosidad del producto final, la superficie y la naturaleza de compuestos expuestos, y con ello la incorporación de agua del medio y/o la difusión de la misma (Troncoso & Pedreschi, 2007; Mayor et al., 2008) (Tabla 3).

Tabla 3. Higroscopicidad (b.s.) de rodajas de zapallito secadas con aire caliente (SAC) o deshidratadas osmóticamente (DO) en NaCl 1,0 o 2,0% p/v seguidos de SAC (DO<sub>1,0%</sub>+SAC y DO<sub>2,0%</sub>+SAC). Letras distintas indican diferencias significativas en un test de Tukey con  $P < 0,05$ .

Tratamiento	Higroscopicidad (%)
SAC	7,7 <sup>a</sup>
DO <sub>1,0%</sub> +SAC	5,8 <sup>b</sup>
DO <sub>2,0%</sub> +SAC	1,5 <sup>c</sup>

Una característica central de los alimentos, más allá de los niveles de componentes bioactivos que aporten, es la aceptabilidad sensorial. Con el fin de evaluar este aspecto se llevó a cabo un panel sensorial del producto obtenido por los diferentes métodos de deshidratación. Los *snacks* deshidratados en forma combinada con un pretratamiento de DO en NaCl 1% y con un secado final con aire caliente (DO<sub>1,0%</sub>+SAC) presentaron puntuaciones más elevadas para los atributos color, sabor y aceptabilidad global (Figura 4 C).

## CONCLUSIONES

La obtención de *snacks* de zapallito redondo por medio de tratamientos combinados de deshidratación osmótica y secado con aire caliente proporcionó mejoras en las propiedades físicas (color, higroscopicidad), nutricionales (carotenoides) y sensoriales (aceptabilidad) con respecto a los que se obtuvieron por secado por aire caliente directamente. Dicha combinación de tratamientos podría ser mayormente explotada en la industria de vegetales no amiláceos destinados a la elaboración de *snacks*.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Dr. Juan Manuel Castagnini y al Ing. Juan Cruz Amigo por la ayuda brindada al inicio del proyecto durante una estadía de trabajo en el Instituto de Investigación de Alimentos para el Desarrollo (IIAD), Valencia, España.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ainsworth, P. & A. Plunkett.** 2007. Reducing salt in snack products. En: Reducing Salt in Foods. Kilcast D. & F. Angus (Eds.), Woodhead Publishing, Cambridge, Sawston. pp. 296-315.
- AOAC** (Association of Official Analytical Chemists) Methods. 2000. En: Official Methods of Analysis, 17th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- Britton, G. & J.R. Helliwell.** 2008. Carotenoid-protein interactions. En: Carotenoids. Ed. Britton G., Liaaen-Jensen S., Pfander H. Basel: Birkhauser Verlag. pp. 99-118.
- Chavan, U.D.** 2012. Osmotic dehydration process for preservation of fruits and vegetables. Journal of Food Research 1: 202-209.
- Dewanto, V., X. Wu, K.K. Adom & R.H. Liu.** 2002. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. Journal of Agricultural Food Chemistry 50: 3010-3014.
- Doymaz, I.** 2007. The kinetics of forced convective air-drying of pumpkin slices. Journal of Food Engineering 79: 243-248.
- García, E. & D.M. Barrett.** 2002. Preservative treatments for fresh-cut fruits and vegetables. In: Fresh-cut fruits and vegetables: Science, Technology, and Market. Lamikanra, O. (Ed.). CRC Press. pp. 274-311.
- Hawkes, C.** 2013. Promoting healthy diets through nutrition education and changes in the food environment: an international review of actions and their effectiveness. Background paper for the international conference on nutrition (ICN2). pp. 78.
- Huang, L. & M. Zang.** 2012. Trends in development of dried vegetable products as snacks. Drying Technology 30: 448-461.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).** 2015. Atlas de consumo de alimentos. Instituto de Economía del INTA (IE).
- Kowalska, H., K. Czajkowska, J. Cichowska & A. Lenart.** 2017. What's new in biopotential of fruit and vegetable by-products applied in the food processing industry. Trends in Food Science & Technology 67: 150-159.
- Lombard, G.E., J.C. Oliveira, P. Fito & A. Andrés.** 2008. Osmotic dehydration of pineapple as a pre-treatment for further drying. Journal of Food Engineering 85: 277-284.
- Majerska, J., A. Michalska & A. Figiel.** 2019. A review of new directions in managing fruit and vegetable processing by-products. Trends in Food Science & Technology, 88: 2017-219.
- Mayor, L., J. Pissarra & A.M. Sereno.** 2008. Microstructural changes during osmotic dehydration of parenchymatic pumpkin tissue. Journal of Food Engineering 85: 326-339.
- Mitchell, H.** 2016. Developing food products for consumers with low sodium/salt requirements. En: Developing food products for consumers with specific dietary needs. Osborn, S. & W. Morley (Eds.), Woodhead Publishing, Sawston, Cambridge. pp. 81-105.
- Mujumdar, A.S.** (Ed.). 2007. Handbook of Industrial Drying, 3ra edición. Chemical Rubber Company (CRC) Press, Boca Raton, Florida, EEUU.

- Nieto, A.B., D.M. Salvatori, M.A. Castro & S.M. Alzamora.** 2004. Structural changes in apple tissue during glucose and sucrose osmotic dehydration: shrinkage, porosity, density and microscopic features. *Journal of Food Engineering* 61: 269–278.
- Onwude, D.T., H. Hashima & G. Chenc.** 2016. Recent advances of novel thermal combined hot air drying of agricultural crops. *Trends in Food Science & Technology* 57: 132-145.
- Onwude, D.T., H. Hashim, R. Janius, K. Abdan, G. Chen & A.O. Oladejo.** 2017. Non-thermal hybrid drying of fruits and vegetables: A review of current technologies. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 43: 223-238.
- Pan, Y.K., L.J. Zhao, Y. Zhang, G. Chen & A.S. Mujumdar,** 2003. Osmotic dehydration pretreatment in drying of fruits and vegetables. *Drying Technology* 21: 1101–1114.
- Pankaj, S.K. & M.K. Keener.** 2017. A review and research trends in alternate frying technologies. *Current Opinion in Food Science* 16: 74-79.
- Pizzocaro, F., D. Torreggiani & G. Gilardi.** 1993. Inhibition of apple polyphenoloxidase (PPO) by ascorbic acid, citric acid and sodium chloride. *Journal of Food Processing and Preservation* 17: 21-30.
- Prabuthas, P., P.P. Srivastav & H.N. Mishra.** 2009. Optimization of pigment extraction from *Spirulina platensis* var. Inon biomass. *Seaweed Research and Utilization* 31: 117-125.
- Rastogi, N.K. & K. Niranjana.** 1998. Enhanced mass transfer during osmotic dehydration of high pressure treated pineapple. *Journal of Food Science* 63: 508-511.
- Reis, R.C., V.C. Castro, I.A. Devilla, C.A. Oliveira, L.S. Barbosa & R. Rodvalho.** 2013. Effect of drying temperature on the nutritional and antioxidant qualities of cumari peppers from Pará (*Capsicum chinense* Jacqui). *Brazilian Journal of Chemical Engineering* 30: 337-343.
- Revaskar, V.A., P.S. Pisalkar, P.B. Pathare & GP. Sharma.** 2014. Dehydration kinetics of onion slices in osmotic and air convective drying process. *Research in Agricultural Engineering* 60: 92–99.
- Sablani, S.S.** 2006. Drying of fruits and vegetables: Retention of nutritional/functional quality. *Drying Technology* 24: 428-432.
- Singleton, V.L., R. Orthofer & R.M. Lamuela-Raventos.** 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology* 299: 152-178.
- Tiwari, R.B.** 2005. Application of osmo-air dehydration for processing of tropical fruits in rural areas. *Indian Food Industry Journal* 24: 62–69.
- Torreggiani, D. & G. Bertolo.** 2004. Present and future in process control and optimization of osmotic dehydration. From unit operation to innovative combined process: An overview. *Advances in Food Nutrition Research* 48: 174–225.
- Torres, C.A., L.A. Romero & R.I. Diaz.** 2015. Quality and sensory attributes of apple and quince leathers made without preservatives and with enhanced antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology* 62: 996-1003.
- Troncoso, E. & F. Pedreschi.** 2007. Modeling of textural changes during drying of potato slices. *Journal of Food Engineering* 82: 577–584.
- Wang, J., J.S. Wang & Y. Yu.** 2007. Microwave drying characteristics and dried quality of pumpkin. *International Journal of Food Science & Technology* 42: 148–156.
- Yadav, A.K. & V.S. Satya.** 2012. Osmotic dehydration of fruits and vegetables: a review. *Journal of Food Science and Technology* 51: 1654-1673.
- Zaro, M.J., L.C. Ortiz, S. Keunchkarian, A.R. Chaves, A.R. Vicente & A. Concellon.** 2015. Chlorogenic acid retention in white and purple eggplant after processing and cooking. *LWT-Food Science and Technology* 64: 802-808.