



Efecto de la osmodeshidratación sobre el contenido de antocianinas y capacidad de rehidratación de arándanos (*Vaccinium corymbosum* L.) liofilizados

Effect of the osmotic dehydration on the anthocyanin content and capacity for rehydration of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) lyophilized

Hubert Arteaga^{a, *}; Mario Espinoza^b; Julio Aguilar^b; Elvia Gómez^b; Jhonatan Cabanillas^a, Miguel Santa Cruz^a

a. Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agropecuarias (Universidad Nacional de Trujillo) Av. Juan Pablo II s/n, Ciudad Universitaria, Trujillo Perú.

b. Gabinete Estudiantil de Investigación Científica de Ingeniería Agroindustrial (Universidad Nacional de Trujillo) Av. Juan Pablo II s/n Trujillo Perú.

*Autor para correspondencia: harteaga@unitru.edu.pe (H. Arteaga).

Recibido 27 Noviembre 2015; Aceptado 12 Diciembre 2015

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la osmodeshidratación como pretratamiento a la liofilización sobre el contenido de antocianinas en el arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) y su capacidad de rehidratación. Se utilizó el diseño compuesto central rotacional (DCCR) con concentraciones de sacarosa de 40 a 60 °Brix y temperaturas de 30 a 50°C de la solución osmótica, totalizando 11 ensayos, los que tuvieron una duración de 4 horas. Los arándanos osmodeshidratados se congelaron con nitrógeno líquido (-196 °C) a presión atmosférica y se liofilizaron a condiciones de 0,22 mbar y -50 °C durante 24 horas; cuantificándose el contenido de antocianinas (mg cianidina-3-glucosido/L) y la capacidad de rehidratación (CR) en el arándano liofilizado. Los arándanos sometidos a una solución osmótica de 50 °Brix y 50 °C presentaron el mayor contenido de antocianinas 126,64 (mg cianidina-3-glucosido/L) en tanto con solución osmótica de 57 °Brix y 47 °C, se obtuvo el mayor porcentaje de rehidratación 69,15%, que es superior al 25,27% encontrado para el arándano fresco liofilizado. Los resultados sugieren que la aplicación de la deshidratación osmótica como pretratamiento a la liofilización es una tecnología que no favorece la retención de las antocianinas del arándano (*Vaccinium corymbosum* L.), debido a que ocasiona un alto porcentaje de pérdida de estos compuestos por lixiviación, sin embargo, representa una opción para obtener productos con una mayor capacidad de rehidratación luego de ser liofilizados.

Palabras clave: Arándanos, osmodeshidratación, liofilización, antocianinas, rehidratación.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the effect of osmotic dehydration as pretreatment to freeze on the content of anthocyanins in blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) and their ability to rehydration. The central composite design rotational (DCCR) was used with sucrose concentrations of 40 to 60 °Brix and temperature of 30 to 50 °C osmotic solution, totaling 11 assays, which lasted 4 hours. The Osmo-dehydrated blueberries were frozen in liquid nitrogen (-196 °C) at atmospheric pressure and lyophilized to conditions of 0.22 mbar and -50 °C for 24 hours; quantifying the content of anthocyanins (mg cyanidin-3-glucoside / L) and rehydration (CR) in the lyophilized blueberry. Blueberries subjected to osmotic solution of 50 °Brix and 50 °C showed the highest anthocyanin content 126.64 (mg cyanidin-3-glucoside / L) in both osmotic solution of 57 °Brix and 47 °C, it was obtained the greatest rehydration percentage of 69.15%, which is higher than 25.27% found for fresh lyophilized blueberry. The results suggest that the application of osmotic dehydration as pretreatment to freeze drying is a technology that does not favor the retention of anthocyanins blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.), because it causes a high percentage of loss of these compounds by leaching, however represents an option to obtain products with a greater capacity for rehydration after being lyophilized.

Keywords: Blueberry, osmotic dehydration, freeze drying, anthocyanins, rehydration.

1. Introducción

En años recientes los arándanos, al igual que otros pequeños frutos rojos, se han vuelto más populares y solicitados por el consumidor debido a su valor nutraceutico y características sensoriales apreciadas. Estas bayas contienen altas cantidades de antioxidantes en la dieta, representados principalmente por sustancias polifenólicas, en particular antocianinas, flavonoides, catequinas y ácidos fenólicos (Hakkinen *et al.*, 1999; Kalt *et al.*, 2001; Prior *et al.*, 2001), que son responsables de la capacidad de captación de radicales libres (Moyer *et al.*, 2002; Prior *et al.*, 1998) y, por lo tanto, proporcionan una protección contra el estrés oxidativo.

Las antocianinas constituyen una gran familia de polifenoles en plantas y son responsables de los colores para muchas frutas y flores observadas en la naturaleza (Oh *et al.*, 2008). Se encuentran típicamente en frutas tales como arándanos, fresas y uvas. Investigaciones recientes se han enfocado a los beneficios en la salud de estos pigmentos, especialmente a su actividad antioxidante (Camire, 2002). La acumulación de datos muestra que las antocianinas y los extractos de plantas ricos en antocianinas pueden proveer diversos beneficios a la salud, incluyendo protección del ADN (Ramírez-Tortosa *et al.*, 2001; Lazze *et al.*, 2003), actividad anti-inflamatoria (Rossi *et al.*, 2003), actividad anticancerígena (Hou *et al.*, 2003; Hou *et al.*, 2004), actividad antioxidante (Wang y Jiao, 2000; Matsumoto *et al.*, 2002; Oh *et al.*, 2006), actividad antidiabética (Jankowski *et al.*, 2000; Tsuda *et al.*, 2003) y prevención de enfermedades cardiovasculares y neurodegenerativas (Joseph *et al.*, 1999; Youdim *et al.*, 2000). Actualmente, el estudio del contenido y estabilidad de este tipo de compuestos es de gran importancia, ya que las antocianinas son relativamente inestables y presentan reacciones degradativas en el proceso y almacenamiento de las mismas.

Como pretratamiento en diferentes métodos de conservación de materiales biológicos se ha empleado con éxito la deshidratación osmótica (DO), para mejorar propiedades físicas, fisicoquímicas y nutricionales relacionadas con la calidad del producto final, y reducir el tiempo de proceso y el

ahorro energético (Arroyo *et al.*, 2010). La DO consiste en extraer agua de un producto que se sumerge en una solución osmótica (SO) hipertónica, durante un tiempo y a una temperatura específicos (Falade *et al.*, 2007). Se ha utilizado ampliamente como pretratamiento al secado con aire (Pani *et al.*, 2008), la pasteurización (Lazarides, 2007), la congelación (Marani *et al.*, 2007), la fritura (Ikoko y Kuri, 2007), y el microondas (Erle y Schubert, 2001); sin embargo, en la literatura científica es escasa la DO como pretratamiento a la liofilización.

La capacidad de rehidratación se puede considerar como una medida del daño estructural o celular ocurrido durante el secado o la deshidratación del alimento (Krokida y Marinos-Kouris, 2003). En algunos casos la velocidad de rehidratación sirve como medida de la calidad del producto deshidratado.

El proceso de liofilización es una alternativa de interés como método de conservación de alimentos que permite prolongar el tiempo de vida útil conservando las propiedades físicas y fisicoquímicas relacionadas con la calidad. Consiste en la eliminación del agua de un producto por sublimación del agua libre de la fase sólida acompañada de la evaporación de algunas porciones remanentes de agua no congelable (Abdelwahed *et al.*, 2006). La sublimación ocurre cuando la presión de vapor y la temperatura de la superficie del hielo se encuentran por debajo del punto triple del agua (Song *et al.*, 2005). La liofilización se considera uno de los mejores métodos de conservación de las propiedades organolépticas y nutricionales de productos biológicos (Shui y Leong, 2006.). Los productos liofilizados se caracterizan por su baja actividad de agua, bajos cambios de volumen y de forma, alta capacidad de rehidratación, aumento en su porosidad y por presentar un estado vítreo. La porosidad influye fuertemente en la capacidad de rehidratación de los vegetales deshidratados; a mayor porosidad mayor capacidad de rehidratación (Krokida y Maroulis, 2000).

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la osmodeshidratación como pretratamiento a la liofilización sobre la retención de antocianinas en el arándano

(*Vaccinium corymbosum* L.) y la capacidad de rehidratación de los arándanos liofilizados.

2. Materiales y métodos

Los arándanos (*Vaccinium corymbosum* L.) de la variedad Biloxi procedieron del distrito de Chao, Provincia de Virú, Departamento de La Libertad, de color azul; textura lisa y firme, calibre de 1 cm – 1,5 cm. Se lavaron por inmersión en agua clorada a 150 ppm; se caracterizó el fruto fresco en: Humedad AOAC. 930.15 (AOAC, 1997), Cenizas AOAC 923.03 (AOAC, 1997), Sólidos solubles y las antocianinas monoméricas por el método diferencial de pH (Giusti y Wrolstad, 2001).

Osmodeshidratación (DO). Los arándanos se sometieron a inmersión en solución osmótica de sacarosa (40 - 60%) por 4 horas a fin de tener una menor lixiviación de antocianinas y aprovechar la mayor velocidad de deshidratación osmótica (Bianchi *et al.*, 2000; Ríos *et al.*, 2005); a temperaturas entre 30 – 50 °C.

Ultracongelación. Se procedió a sumergir las muestras de arándano osmodeshidratados en nitrógeno líquido (-195,8 °C) durante un tiempo de 2 minutos.

Liofilización. Se colocaron las muestras de arándano ultracongelado sobre las bandejas de carga de un Liofilizador LABCONCO a presión de vacío de 0,22 mbar y -50 °C por 24 horas, luego envasadas en bolsas de polietileno.

Rehidratación. Se realizó con 5 g de muestra liofilizada sobre un tamiz plástico el cual se sumergió en vasos de precipitación de 1 litro de agua destilada a 25 °C en 5, 10, 15, 20, 25 y 30 min (Meda y Ratti, 2005), se pesó y se cuantificaron las antocianinas monoméricas y la capacidad de rehidratación a través del coeficiente de rehidratación (CR) (Meda y Ratti, 2005) según la ecuación:

$$CR = \frac{W_r - W_{fd}}{W_o - W_{fd}} * 100$$

Donde W_r es el peso de la muestra después de la rehidratación (g), W_{fd} es el peso de la muestra seca (g) y W_o es el peso inicial de la muestra sin ningún proceso (g).

Diseño y Análisis Estadístico

Se utilizó el Diseño Compuesto Central Rotacional (DCCR) en la osmodeshidratación a concentraciones de 40 a 60% de sacarosa y temperatura de 30 a 50 °C, lo que permitió ajustar un modelo cuadrático:

$$Y \approx \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{12} X_1 X_2$$

3. Resultados y discusión

Caracterización fisicoquímica del arándano fresco (*Vaccinium corymbosum* L.)

El arándano fresco presentó; un contenido de sólidos solubles de 11,50±1,50 g/100 g, que se encuentran dentro de 10 y 15 °Brix, rango descrito para el fruto maduro por Buzeta (1997) y Skrede *et al.* (2000); una humedad de 84,10 ± 0,16 g/100 g la cual según Wills *et al.* (1984) está dentro del rango 80 a 95% que es estipulado para la mayoría de frutas y hortalizas, en tanto Giovanelli *et al.* (2013) obtuvieron una humedad de 87.31% para el arándano (*Vaccinium corymbosum* L.); en cenizas se encontró 0,246 ± 0,024 g/100 g, que es cercano a lo reportado por Wrolstad *et al.* (1980) para berries como la frambuesa y la zarzamora, lo que concuerda con el rango 0,15 a 0,31% indicado por Hassimotto *et al.* (2008); el contenido de antocianinas monoméricas, presentó un valor total de 96,45±1,89 mg cianidina 3-glucósido/100g (608,71±11,89 mg cianidina 3-glucósido/100 g solido seco) similar al reportado por Scibisz y Mitek (2009) de 94,6 mg cianidina 3-glucósido/100 g, la cantidad de antocianinas que generalmente se acumula durante la madurez de frutos coloreados depende de la temperatura y localidad en donde son plantados (Connor *et al.*, 2002a) así como de los variados solventes utilizados en la extracción (Connor *et al.*, 2002b).

Contenido de antocianinas monoméricas de arándano osmodeshidratado liofilizado

En la tabla 1, se presentan el contenido de antocianina y capacidad de rehidratación de los arándanos osmodeshidratados liofilizados. Se evidencia que, al incrementar la concentración de la solución osmótica, así como la temperatura se incrementa la

retención de antocianinas y la capacidad de rehidratación. Sin embargo, las pérdidas de antocianinas durante la osmodeshidratación, liofilización y rehidratación presentan un máximo de 96% que corresponde al ensayo 5 a 40 °Brix y 40 °C.

Tabla 1. Contenido de antocianinas y capacidad de rehidratación de arándanos osmodeshidratados liofilizados

Ensayos	Concen- tración (%)	Tempe- ratura (°C)	Antocianinas (mg_cianidina 3- glucósido/100g_s.s)	Capaci- dad de rehidra- tación (%)
	X ₁	X ₂	Y ₁	Y ₂
1	43	33	47,76	44,46
2	57	33	55,71	49,31
3	43	47	93,38	54,99
4	57	47	117,96	69,15
5	40	40	21,44	46,67
6	60	40	98,26	55,68
7	50	30	94,98	53,84
8	50	50	126,64	55,58
9	50	40	112,02	58,02
10	50	40	106,03	61,93
11	50	40	111,62	60,45

Las altas pérdidas en el contenido de antocianinas monoméricas se deben a su alta hidrosolubilidad y su localizan en la piel que hace ayuda a que estas pasen por lixiviación a la solución osmótica utilizada en cada ensayo (Osorio *et al.*, 2007). Lo que además es favorecido por el aumento de la temperatura pudiendo llegar a obtener productos prácticamente incoloros (Moyer *et al.*, 2002); sin embargo, los resultados sugieren que el incremento de la concentración de la solución osmótica disminuye la solubilidad de las antocianinas con ligera independencia de la temperatura. Giovanelli *et al.* (2013) evaluaron el efecto de los ensayos de osmodeshidratación-secado con aire sobre las características químicas, antioxidantes y morfológicas de los arándanos (*Vaccinium corymbosum* L.), encontrando que los ensayos osmóticos con sacarosa (60 °Brix) causaron pérdidas significativas en los componentes antioxidantes (fenoles totales, antocianinas totales e individuales) siendo de un 20 a 60% de pérdida en el contenido de

antocianinas (delfinidina, cianidina y petunidina glucósidos) a 25 °C durante 24 h de osmodeshidratación. En tanto Lohachoompol *et al.* (2004) estudiaron los efectos del tratamiento osmótico con azúcar en el contenido de antocianinas y la actividad antioxidante de arándanos. Las bayas osmodeshidratadas mostraron una pérdida ligeramente más alta en el contenido de antocianinas en comparación con las no tratadas, mientras que no hubo diferencias significativas en la actividad antioxidante de las muestras sin tratar y osmodeshidratadas.

En otro estudio Giovanelli *et al.* (2012) evaluaron los efectos del escaldado como pretratamiento y la composición del azúcar de la solución osmótica en las características fisicoquímicas, morfológicas y antioxidantes (fenoles y antocianinas) de arándanos (*Vaccinium corymbosum* L.) osmodeshidratados; encontrando que ambos, polifenoles totales y antocianinas totales se perdieron parcialmente en los ensayos osmóticos (60 °Brix); se observaron mayores pérdidas de hasta el 36% de antocianinas totales en las muestras no escaldadas, sin diferencias relacionadas con el tipo de solución osmótica utilizada (sacarosa, fructuosa o glucosa), indicando que el escaldado tiene un efecto positivo en la conservación de los componentes polifenólicos debido a la inactivación de las polifenoloxidasas endógenas por el escaldado a 85 °C por 3 min. Lo que podría estar explicando el incremento en la retención de antocianinas con el incremento de temperatura, siempre que la concentración de la solución osmótica sea superior a 40 °Brix.

Mazur y Borowska (2007) mostraron que la liofilización del arándano (*Vaccinium oxycoccus*) resultó en una reducción en el contenido fenólico y en el contenido de antocianinas en comparación con fruta fresca. En el presente estudio se alcanzó un porcentaje de pérdida de 79.10% de antocianos luego del proceso de rehidratación de las muestras previamente osmodeshidratadas y posteriormente liofilizadas con respecto al tratamiento que mayor contenido de antocianinas obtuvo (ensayo 8).

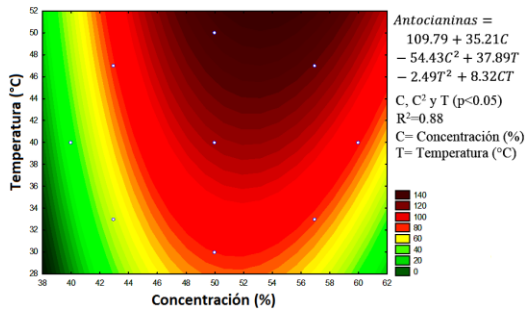


Figura 1. Superficie de contorno para el contenido de antocianinas monoméricas en arándanos liofilizados.

La figura 1 muestra que a una concentración de 52% a 56% de sacarosa y temperaturas de 50 a 52 °C en la solución osmótica para la DO, se obtiene un mayor contenido de antocianinas monoméricas retenidas luego de la liofilización. Este resultado puede atribuirse a la eliminación de agua del arándano por efecto de los azúcares presentes en la solución osmótica, protegiéndose de esta manera el catión flavilio (2-fenilbenzopirilio), evitando así su degradación, este catión constituye la estructura básica de las antocianidinas (aglicona) a la que se le une un azúcar por medio de un enlace glucosídico para formar las antocianinas (Aguilera-Ortiz *et al.*, 2011). La degradación del catión flavilio puede variar, dependiendo de la

concentración de azúcares o con el fenómeno denominado copigmentación, cuando los azúcares se encuentran a altas concentraciones, la actividad de agua es baja, lo que resultaría conveniente para disminuir las probabilidades de ataque nucleofílico del agua al catión, evitándose la formación de la base carbinol incolora. Sin embargo, cuando los azúcares están en bajas concentraciones la actividad de agua no se ve afectada, por lo que los productos de degradación de los azúcares (hidroximetilfurfural y furfural) acelerarían la degradación de las antocianinas (Kopjar y Piližota, 2009).

La figura 2 nos muestra el porcentaje de ganancia de sólidos para los 11 ensayos obtenidos luego de someterlos a deshidratación osmótica en soluciones de sacarosa entre 40 y 60 °Brix por un tiempo de 4 horas a temperaturas entre 30 y 50 °C. Además, se aprecian los cambios en el color y en las características morfológicas como el volumen, la superficie, forma y dimensión de las bayas osmodeshidratadas conforme varía la temperatura y concentración de los ensayos. Los ensayos 4 y 6 (57% - 47 °C y 60% - 40 °C), quienes presentaron mayor porcentaje de ganancia de sólidos alrededor de 50%, tienen mayor cambio en las características morfológicas.

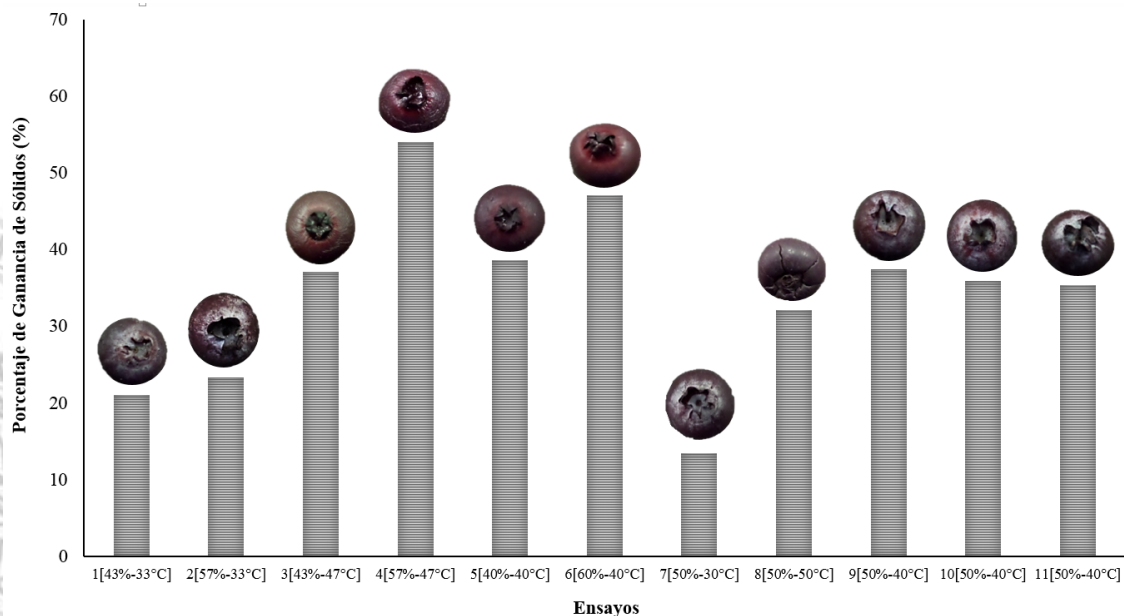


Figura 2. Porcentaje de ganancia de sólidos (%) después de la deshidratación osmótica de arándanos (*Vaccinium corymbosum* L.).

Conway *et al.* (1983) menciona que no conviene deshidratar más allá de una pérdida del 50% del peso pues la tasa osmótica disminuye en el tiempo.

Capacidad de Rehidratación (CR) de arándano osmodeshidratado liofilizado

El comportamiento de los alimentos deshidratados en su rehidratación es un indicativo de su capacidad para absorber agua y adquirir un estado próximo al producto original. Es una medida del daño ocasionado en el material durante el secado, así como la pérdida de la integridad y la reducción de las propiedades hidrofílicas. (Ramaswamy y Marcotte, 2006). En la figura 3, se observa el porcentaje de rehidratación de los arándanos osmodeshidratados y liofilizados de los diferentes ensayos, así como el porcentaje de rehidratación de la muestra control (arándano fresco liofilizado). La rehidratación no es el proceso inverso de la deshidratación, puesto que ésta provoca la pérdida de la presión osmótica celular, cambios en la permeabilidad de la membrana celular, migración de solutos, cristalización de polisacáridos y coagulación de proteínas celulares que

contribuyen a que se modifique su textura y estructura (Fellows, 2007). En la tabla 1 se aprecia que a temperaturas de solución osmótica mayores (47 - 50 °C) y concentraciones de 57% a 60%, las muestras presentan un mayor porcentaje de rehidratación en comparación con las temperaturas de osmodeshidratación menores (33 °C), debido a que, a una mayor temperatura, la velocidad de deshidratación es mayor, el tiempo es menor, y las muestras de arándanos osmodeshidratados pueden presentar una mayor porosidad (Jamaradloedluk *et al.*, 2007). Sin embargo, las características organolépticas del producto se pueden ver deterioradas (Vega y Lemus, 2006).

Al evaluar la capacidad de rehidratación de las muestras sin pretratamiento (arándano fresco), estas presentaron un coeficiente de rehidratación mucho menor (25,27%) a las tratadas osmóticamente. Para Kaymark-Ertekin (2000) muestras osmodeshidratadas presentan una mayor porosidad en la superficie debido a la intensidad de la temperatura del proceso, permitiendo una mayor capacidad de rehidratación en las mismas.

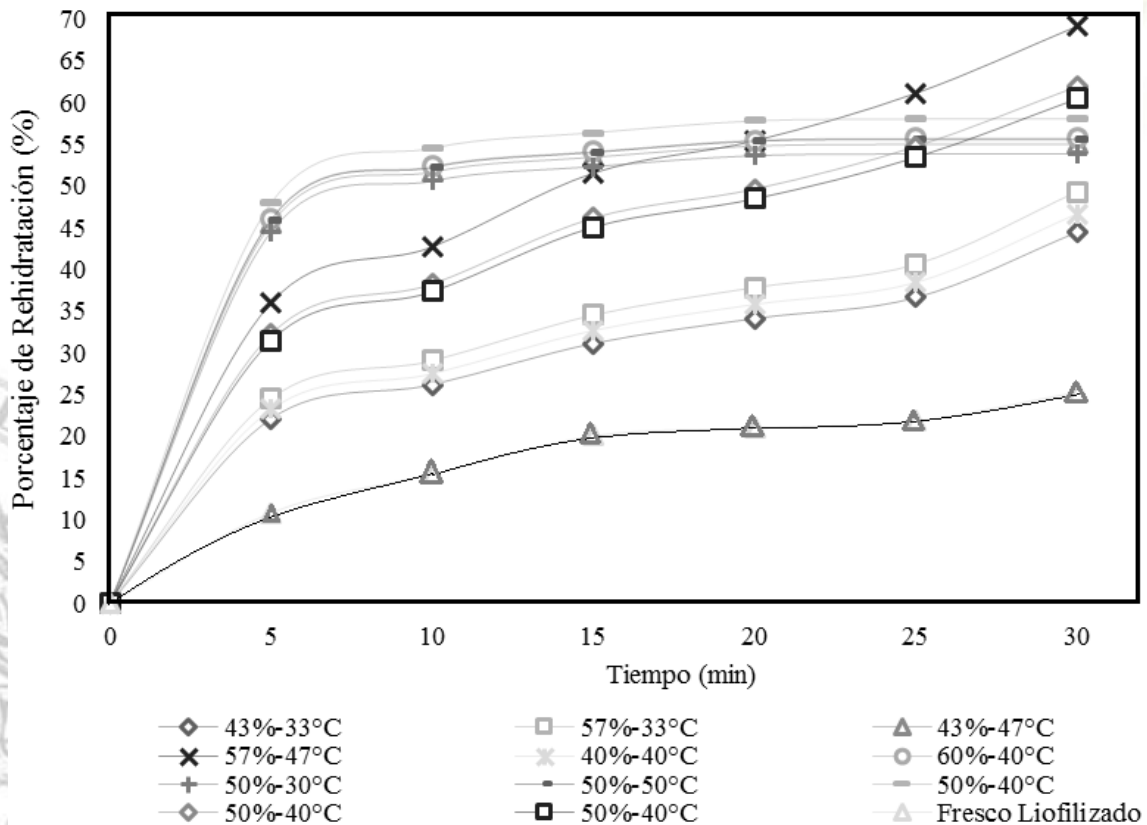


Figura 3. Curvas de rehidratación para los diferentes ensayos.

Las operaciones previas a la deshidratación, llamadas pretratamientos, tienen marcada influencia sobre las características y la composición del producto finalmente rehidratado. Aquellos pretratamientos que contribuyen a mantener la integridad de los tejidos permiten evitar mayores pérdidas de sólidos solubles hacia el medio de rehidratación (Lewicki, 1998). Ya durante el escaldado de vegetales, existen pérdidas por difusión de sólidos: vitaminas, azúcares, aminoácidos, minerales; adicionalmente una cantidad importante de sólidos solubles puede migrar a la solución durante la rehidratación, afectando la calidad nutricional del producto y su capacidad de imbibición de agua (Marabi *et al.*, 2004).

4. Conclusiones

La osmodeshidratación, la liofilización y posterior rehidratación de las muestras producen pérdidas en el contenido de antocianinas monoméricas; sin embargo, evidencian ser buenos métodos para obtener productos de mejor capacidad de rehidratación. Los rangos que permiten la mayor retención de antocianinas y capacidad de rehidratación se produce a concentraciones entre 50% a 57% de sacarosa y a temperaturas entre 47 a 50 °C.

Referencias

Abdelwahed, W.; Degobert, G.; Stainmesse, S.; Fessi, H. 2006. Freezedrying of nanoparticles: Formulation, process and storage considerations. *Adv Drug Deliver Rev.* 58 (15): 1688-1713.

Aguilera-Ortiz, M.; Reza-Vargas, M.; Chew-Madinaveitia, R.; Meza-Velázquez, J. 2011. Propiedades funcionales de las antocianinas. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud XIII:* 16-22.

AOAC. 1997. Métodos oficiales de análisis. 16va. edición. Editorial AOAC. Internacional. Gaithersburg, Maryland, Estados Unidos de América.

Arroyo, J.; Arteaga, H.; Siche, R. 2010. Synergism between sodium chloride, sucrose and tricalcium phosphate in the osmotic dehydration of oca (*Oxalis tuberosa*) with and without chitosan coating. *Scientia Agropecuaria* 1(3-4): 197-206.

Bianchi, M.; Guarnaschelli, P. y Mascheroni, R. 2000. Transferencia de masa en deshidratación osmótica de frutas. Determinación experimental. La Plata, Argentina.

Buzeta, A. 1997. Chile: Berries para el 2000. Departamento Agroindustrial. Fundación Chile. Santiago, Chile.

Camire, E.; Chaovanalikit, A.; Dougherty, P.; Briggs, J. 2002. Blueberry and grape anthocyanins as breakfast cereal colorants. *J. Food Sci.* 67(1): 438-441.

Connor, A.; Luby, J.; Hancock, J.; Berkheimer, S. y Hanson, E. 2002a. Changes in fruit antioxidant activity among blueberry cultivars during cold-temperature storage. *J. Agric. Food. Chem.* 50 (4): 893-898.

Connor, A.; Luby, J.; Tong, C. 2002b. Genotypic and environmental variation in antioxidant activity, total phenolic content, and anthocyanin content among blueberry cultivars. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 127 (1): 89-97.

Conway, J. 1983. Mass transfer considerations in the osmotic dehydration of apples. *Canadian Institute Food Science and Technology Journal.* 16 (1): 25-29.

Erle, U.; Schubert, H. 2001. Combined osmotic and microwave-vacuum dehydration of apples and strawberries. *J Food Eng.* 49 (2-3): 193-199.

Falade, K.; Igbeka, J.; Ayanwuyi, F. 2007. Kinetics of mass transfer, and colour changes during osmotic dehydration of watermelon. *J Food Eng.* 80 (3): 979-985.

Fellows, P. 2007. Tecnología del procesado de los alimentos: Principios y Prácticas. Ed. Acribia. España. 708 pp.

Giovanelli, G.; Brambilla, A.; Rizzolo, A. y Sinelli, N. 2012. Effects of blanching pretreatment and sugar composition of the osmotic solution on physico-chemical, morphological and antioxidant characteristics of osmodehydrated blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). *Food Research International.* (49): 263-271.

Giovanelli, G.; Brambilla, A.; Sinelli, N. 2013. Effects of osmo-air dehydration treatments on chemical, antioxidant and morphological characteristics of blueberries. *Food Science and Technology* (54): 577-584.

Giusti, M.; Wrolstad, R. 2001. Anthocyanins. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. In *Current protocols in food analytical chemistry* (R.E. Wrolstad ed.) p. F1.2.1-13. New York, USA: John Wiley & Sons.

Hakkinen, S.; Karenlampi, S.; Heinonen, I.; Mykkanen, H.; Torronen, A. 1999. Content of the flavonols-queretin, myricetin, and kaempferol in 25 edible berries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* (47): 2274-2279.

Hassimotto, N.; Vieira da Mota, R.; Cordenunsi, B.; Lajolo, F. 2008. Physico-chemical characterization and bioactive compounds of blackberry fruits (*Rubus* sp.) grown. *Journal of Food and Chemistry* (28): 702-703.

Hou, D.; Kai, K.; Li, J.; Lin, S.; Terahara, N.; Wakamatsu, M.; Fuji, M.; Young, M.; Colburn, N. 2004. Anthocyanidins inhibit activator protein 1 activity and cell transformation: Structure-activity relationship and molecular mechanisms. *Carcinogenesis* 25: 29-36.

Hou, F.; Wang, S.; Hu, Y. 2003. Effects of noise on antioxidant enzymes of cochlea in guinea pigs. *Zhonghua Lao Dong Wei Sheng Zhi Ye Bing Za Zhi.* 21(2): 121-123.

- Ikoko, J. y Kuri, V. 2007. Osmotic pre-treatment effect on fat intake reduction and eating quality of deep-fried plantain. *Food Chem.* 102(2): 523-531.
- Jamradloedluk, J.; Nathakaranakule, A.; Soponronnarit, S. y Prachayawarakorn, S. 2007. Influences of drying medium and temperature on drying kinetics and quality attributes of durian chip. *Journal of Food Engineering* 78(1): 198-205.
- Jankowski, A.; Janlowska, B.; Niwdworok, J. 2000. The effect of anthocyanin dye from grapes on experimental diabetes. *Folia Med Cracov.* (41): 5-15.
- Joseph, J.; Shuktt-Hale, B.; Denisova, N.; Bielinsk, D.; Martin, A.; McEwen, J.; Bickford, P. 1999. Reversals of age-related declines in neuronal signal transduction, cognitive, and motor behavioral deficits with blueberry, spinach, or strawberry dietary supplementation. *J Neurosci.* (19): 8114-8121.
- Kalt, W.; Ryan, D.; Duy, J.; Prior, R.; Ehlenfeldt, M.; Vander Kloet, S. 2001. Interspecific variation in anthocyanins, phenolic, and antioxidant capacity among genotypes of highbush and lowbush blueberries (*Vaccinium* Section *cyanococcus* spp.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* (49): 4761-4767.
- Kaymark-Ertekin, E. 2000. Drying and rehydration kinetics of green and red peppers. *Journal of Food Science* 67(1): 168-175.
- Kopjar, M.; Piližota, V. 2009. Copigmentation effect of phenolic compounds on red currant juice anthocyanins during storage. *Croatian Journal of Food Science and Technology* 1: 16-20.
- Krokida, M. y Maroulis, Z. 2000. Quality changes during drying of food materials. In: Mujumdar, A.S. (Ed.). *Drying technology in agriculture and food sciences*. Enfield, NH. Science Publishers. 70-82.
- Krokida, M.; Marinos-Kouris, D. 2003. Rehydration kinetics of dehydrated products. *Journal of Food Engineering* 57(1): 1-7.
- Lazarides, H.; Mitrakas, G.; Matsos, K. 2007. Edible coating and counter-current product/solution contacting: A novel approach to monitoring solids uptake during osmotic dehydration of a model food system. *Journal of Food Eng.* 82 (2): 171-177.
- Lazze, M.; Pizzala, R.; Savio, M.; Stivala, L.; Prosperi, E.; Bianchi, L. 2003. Anthocyanins project against DNA damage induced by tert-butyl-hidroperoxide in rat smooth muscle and hematoma cells. *Mutat Res.* 535: 103-115.
- Lewicki, P. 1998. Effect of pre-drying treatment, drying and rehydration on plant tissue properties: a review. *Internat Journal of Food Properties* 1(1): 1-22.
- Lohachoopol, V.; Szrednicki, G. y Craske, J. 2004. The change of total anthocyanins in blueberries and their antioxidant effect after drying and freezing. *Journal of Biomedicine and Biotechnology* 5: 248-252.
- Marabi, A.; Dilak, C.; Shah, J.; Saguy, I. 2004. Kinetic of solids leaching during rehydration of particulate dry vegetables, *Journal of Food Science* 69: 3.
- Marani, C.; Agnelli, M.; Mascheroni, R. 2007. Osmo-frozen fruits: mass transfer and quality evaluation. *J Food Eng.* 79 (4): 1122-1130.
- Matsumoto, H.; Nakamura, Y.; Hirayama, M.; Yoshiki, Y.; Okubo, K. 2002. Antioxidant activity of black currant anthocyanin aglycons and their glycosides measured by chemiluminescence in a neutral pH region and in human plasma. *J. Agric. Food Chem.* 50(18): 5034-5037.
- Mazur, B. y Borowska, E. 2007. The products from *Vaccinium oxycoccus* L. - phenolic compounds content and antioxidant properties. *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna* 40: 239-243.
- Moyer, R.; Hummer, K.; Finn, C.; Frei, B. y Wrolstad, R. 2002. Anthocyanins, phenolics, and antioxidant capacity in diverse small fruits: *Vaccinium*, *Rubus* and *Ribes*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50: 519-525.
- Meda, L. y Ratti, C. 2005. Rehydration of freeze-dried strawberries at varying temperatures. *Journal of Food Process and Engineering* 28: 233-246.
- Oh, Y.; Lee, J.; Yoon, S.; Oh, C.; Choi, D.; Choe, E.; Jung, M. 2008. Characterization and quantification of anthocyanins in grape juices obtained from the grapes cultivated in Korea by HPLC/DAD, HPLC/MS, and HPLC/MS/MS. *J. Food Sci.* 73(5): 378-389.
- Oh, J.; Kim, S.; Imm, J. 2006. Antioxidative effect of crude anthocyanins in water-in-oil microemulsion system. *Food Science Biotechnology* 15: 283-288.
- Osorio, C.; Franco, M.; Castaño, M.; González-Miret, M.; Heredia, F. y Morales, A. 2007. Colour and flavour changes during osmotic dehydration of fruits. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 8: 353-359.
- Pani, P.; Leva, A.; Riva, M.; Maestrelli, A.; Torreggiani, D. 2008. Influence of an osmotic pre-treatment on structure-property relationships of air-dehydrated tomato slices. *J Food Eng.* 86 (1): 105-112.
- Prior, R.; Cao, G.; Martin, A.; Sofic, E.; McEwen, J.; O'Brien, C. 1998. Antioxidant capacity as influenced by total phenolic and anthocyanin content, maturity, and variety of *vaccinium* species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46: 2686-2693.
- Prior, R.; Lazarus, S.; Cao, G.; Muccitelli, H. y Hammerstone, J. 2001. Identification of procyanidins and anthocyanins in blueberries and cranberry (*Vaccinium* spp.) using high-performance liquid chromatography/mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49: 1270-1276.
- Ramírez-Tortosa, C.; Andersen, O.; Gardener, P.; Morrice, P.; Wood, S.; Duthie, S.; Collins, A.; Duthie, G. 2001. Anthocyanin-rich extract decreases indices of lipid peroxidation and DNA damage in vitamin E-depleted rats. *Free Radic. Biol. Med.* 31: 1033-1037.
- Ramaswamy, H. y Marcotte, M. 2006. *Food processing principles and applications*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, F.L. pp. 233-277.

- Rossi, M.; Giussani, E.; Morelli, R.; Lo Scalzo, R.; Nani, R. y Torreggiani, D. 2003. Effect of fruit blanching on phenolics and radical scavenging activity of highbush blueberry juice. *Food Research International* 36: 999–1005.
- Ríos, M.; Márquez, C.; Ciro, H. 2005. Deshidratación osmótica de papaya hawaiana (*Carica Papaya* L.) en cuatro agentes edulcorantes. *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín* 58 (2): 2989-3002.
- Scibisz, I. y Mitek, M. 2009. Effect of processing and storage conditions on phenolic compounds and compounds and antioxidant capacity of high bush blueberry jams. *Polish J. Food Nutri. Sci.* 59: 45-52.
- Shui, G. y Leong, L. 2006. Residue from star fruit as valuable source for functional food ingredients and antioxidant nutraceuticals. *Food Chem.* 97 (2): 277-284.
- Skrede, G.; Wrolstad, R.; y Durst, R. 2000. Changes in anthocyanins and polyphenolics during juice processing of highbush blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). *Journal of Food Science* 65: 357-364.
- Song, C.; Nam, J.; Kim, C.; Ro, S. 2005. Temperature distribution in a vial during freeze-drying of skim milk. *J Food Eng.* 67 (4): 467-475.
- Tsuda, T.; Horio, F.; Uchida, K.; Aoki, H.; Osawa, T. 2003. Dietary cyaniding 3-o-beta-D-glucoside-rich purple corn color prevents obesity and ameliorates hyperglycemia in mice. *Journal of Nutrition* 133: 2125-2130.
- Vega, A. y Lemus, R. 2006. Modelado de la cinética de secado de la papaya chilena (*Vasconcellea pubescens*). *Rev Información Technology* 27(3): 23-31.
- Wang, S. y Jiao, H. 2000. Scavenging capacity of berry crops on superoxide radicals, hydrogen peroxide, hydroxyl radicals, and singlet oxygen. *Journal of Agriculture Food Chem.* 48: 5677-5684.
- Wills, R.; Lee, T.; McGlasson, W.; Hall, E.; Gtaham, D. 1984. Fisiología y manipulación de frutas y hortalizas post- recolección. Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España.
- Wrolstad, E.; Culbertson, D.; Nagaki, A. 1980. Sugars and Volatile acids of blackberries. *Journal Agriculture of Food Chemistry* 28: 553-558.
- Youdim, M.; Gassen, M.; Gross, A.; Mandel, S.; Grunblatt, E. 2000. Iron chelating, antioxidant and cytoprotective properties of dopamine receptor agonist, apomorphine. *Journal of Neural Transm Suppl.* 58: 83-96.

Agroind Sci
Agroind Sci
www.agsci.com

