

# Quality attributes of pitaya (*Stenocereus pruinosus*) fruit handled in postharvest with and without thorns under refrigerated storage

## Atributos de calidad de frutos de pitaya (*Stenocereus pruinosus*) manejados en postcosecha con y sin espinas bajo almacenamiento refrigerado

Adrián Rosas-Benítez<sup>1</sup>; Lucía Trujillo-Cárdenas<sup>1</sup>; Salvador Valle-Guadarrama<sup>1\*</sup>; Yolanda Salinas-Moreno<sup>2</sup>; Leticia García-Cruz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Texcoco de Mora, México, C. P. 56230, MÉXICO. svalleg@taurus.chapingo.mx, tel.: +52 595 952 1629 (\*Corresponding author).

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Tepatitlán-Lagos de Moreno km 8, Tepatitlán de Morelos, Jalisco, MÉXICO.

### Abstract

Pitaya (*Stenocereus pruinosus*) is a columnar cactus that can be found in semi-arid regions. Fruit have deciduous thorns and shelf life is less than six days at ambient temperature, which limits commercialization. The objective of this study was to evaluate the postharvest behavior of pitaya fruit under refrigeration conditions and also to evaluate the effect of thorn removal on fruit quality attributes. Storage for 21 d at 12 °C was conducted with pitaya fruit of red and orange flesh, handled with or without thorns. Fruit weighed between 168.1 and 197.6 g, with respiration rate between 11.9 and 12.6 mL·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>, and with soft consistency, expressed through firmness in flesh less than 2 N. Color attributes, total soluble solids (TSS), betalains and total soluble phenols (TSP) contents, and antioxidant activity were different between variants. Hue angle, chroma, and lightness in flesh were 22.0-25.0°, 29.0-31.0, and 22.8-23.8, respectively, in red fruit, and 35.5-37.7°, 38.9-41.5, and 29.7-32.6, in orange fruit. The TSS/acidity ratio was higher in orange (152.8-157.0) than in red (115.5-132.0) fruit. Betalains and TSP had average values of 4.7-423.0 and 2.5-221.6 mg·kg<sup>-1</sup> in red and orange material, respectively, which caused higher antioxidant activity in the former. Betalains content remained constant over time, but TSP diminished and this caused a reduction in antioxidant activity. Thorn removal only affected weight loss and it was considered an advisable practice. Based on firmness modification and loss of antioxidant activity, shelf life was estimated to be 12-14 d.

**Keywords:** *Stenocereus pruinosus*, antioxidant activity, betalains, phenols, postharvest life.

### Resumen

La pitaya (*Stenocereus pruinosus*) es una cactácea de hábito columnar que puede ser encontrada en regiones semiáridas. El fruto tiene espinas deciduas y su vida de anaquel es menor de seis días a temperatura ambiente, lo que limita su comercialización. El objetivo de este estudio fue evaluar el comportamiento postcosecha del fruto de pitaya bajo condiciones de refrigeración y el efecto sobre los atributos de calidad del fruto al remover las espinas. Se almacenaron frutos de pitaya de pulpa roja y naranja, con o sin espinas, durante 21 días a 12 °C. Los frutos pesaron entre 168.1 y 197.6 g, presentaron tasa de respiración entre 11.9 y 12.6 mL·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup> y consistencia suave, expresada a través de firmeza en pulpa menor a 2 N. Los atributos de color, contenido de sólidos solubles totales (SST), betalainas, fenoles solubles totales (FST) y actividad antioxidante fueron diferentes entre variantes. El ángulo de tono, la cromaticidad y la luminosidad en frutos rojos fueron de 22.0 a 25.0°, 29.0 a 31.0 y 22.8 a 23.8, respectivamente, y en frutos naranja de 35.5 a 37.7°, 38.9 a 41.5 y 29.7 a 32.6. La relación SST/acidez fue más alta en frutos naranja (entre 152.8 y 157.0) que en los rojos (entre 115.5 y 132.0). Los valores promedio de las betalainas y los FST presentados en los materiales rojo y naranja fueron de 4.7 a 423.0 y de 2.5 a 221.6 mg·kg<sup>-1</sup>, respectivamente, lo que causó actividad antioxidante mayor en los primeros. El contenido de betalainas permaneció constante a lo largo del tiempo, pero los FST disminuyeron causando reducción en la actividad antioxidante. La remoción de espinas sólo afectó la pérdida de peso y fue considerada una práctica recomendable. Con base en la modificación de firmeza y la pérdida de actividad antioxidante, se estimó que la vida de anaquel fue de 12 a 14 días.

**Palabras clave:** *Stenocereus pruinosus*, actividad antioxidante, betalainas, fenoles, vida postcosecha.

Please cite this article as follows (APA 6): Rosas-Benítez, A., Trujillo-Cárdenas, L., Valle-Guadarrama, S., Salinas-Moreno, Y., & García-Cruz, L. (2016). Quality attributes of pitaya (*Stenocereus pruinosus*) fruit handled in postharvest with and without thorns under refrigerated storage. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 22(3), 191-207. doi: 10.5154/r.rchsh.2016.04.011



Revista Chapingo  
Serie Horticultura

## Introduction

*Stenocereus pruinosus* (Otto) Buxbaum is a cactus species of columnar habit that develops in arid and semi-arid regions like those located in the Balsas river basin and Tehuacán Valley in Mexico (Luna-Morales, 2006; Martínez-Villegas et al., 2011; Parra, Pérez-Nasser, Lira, Pérez-Salicrup, & Casas, 2008). Fruit are oval berries, with epicarp that possesses deciduous thorns (Figure 1), and flesh with multiple seeds and with different colors (Luna-Morales, 2007). Consumption of this type of fruit provides nutrients like vitamins B, C, and E (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada, 1991), minerals such as iron, copper, and zinc, as well as antioxidant compounds like soluble phenols and betalains (García-Cruz, Valle-Guadarrama, Salinas-Moreno, & Joaquín-Cruz, 2013). Due to the presence of some of these compounds in flesh, pitaya fruit have been classified as functional foods (Beltrán-Orozco, Oliva-Coba, Gallardo-Velázquez, & Osorio-Revilla, 2009).

Pitaya fruit have good acceptance and high potential in the fresh fruit market, but their shelf life is less than six days at ambient temperature (García-Cruz, Valle-Guadarrama, Salinas-Moreno, & Luna-Morales, 2016), and this limits their commercialization and consumption to local production areas. Additionally, the presence of thorns makes their postharvest handling difficult and such a feature can be a factor leading to mechanical damage. However, the impact of removing those anatomical structures on the quality attributes of fruit has not been assessed.

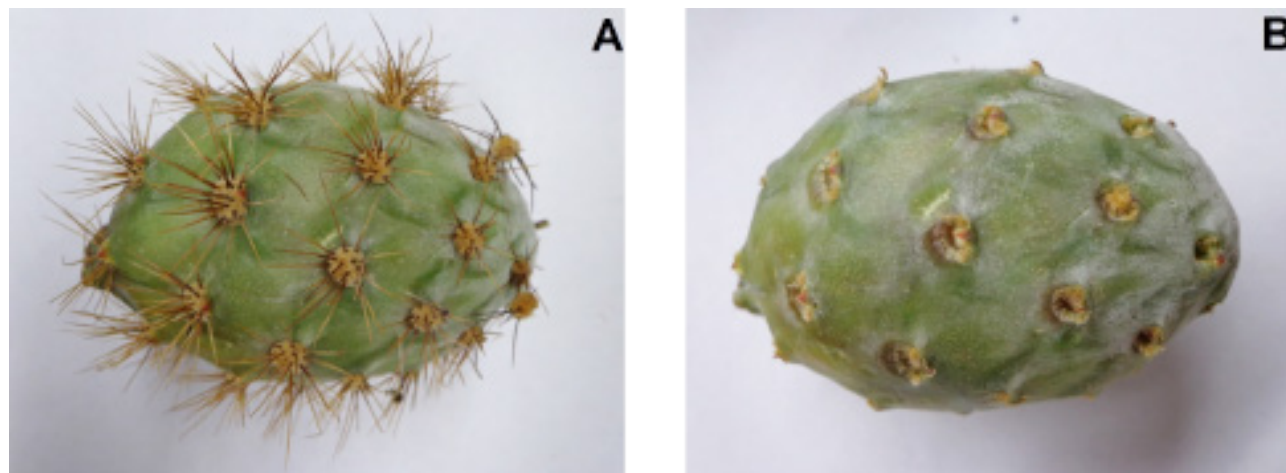
Refrigeration is considered an efficient strategy to reduce the effect of deterioration factors in horticultural products and to extend shelf life (Nunes & Emond, 2003), but so far this alternative has not been evaluated for handling pitaya fruit in postharvest. In this regard, this work was performed to evaluate the postharvest

## Introducción

*Stenocereus pruinosus* (Otto) Buxbaum es una especie cactácea de hábito columnar que se desarrolla en regiones áridas y semiáridas, como las que se encuentran en la cuenca del río Balsas y el Valle de Tehuacán en México (Luna-Morales, 2006; Martínez-Villegas et al., 2011; Parra, Pérez-Nasser, Lira, Pérez-Salicrup, & Casas, 2008). Los frutos son bayas ovaladas, con epicarpio que posee espinas deciduas (Figura 1) y pulpa de diferentes colores con muchas semillas (Luna-Morales, 2007). El consumo de este tipo de fruto aporta vitaminas B, C y E (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada, 1991), minerales como el hierro, cobre y zinc, además de compuestos antioxidantes como fenoles solubles y betalainas (García-Cruz, Valle-Guadarrama, Salinas-Moreno, & Joaquín-Cruz, 2013). Debido a la presencia de algunos de estos compuestos en la pulpa, los frutos de pitaya han sido clasificados como alimentos funcionales (Beltrán-Orozco, Oliva-Coba, Gallardo-Velázquez, & Osorio-Revilla, 2009).

Los frutos de pitaya tienen buena aceptación y potencial alto en el mercado de fruta fresca, pero su vida de anaquel es menor a seis días a temperatura ambiente (García-Cruz, Valle-Guadarrama, Salinas-Moreno, & Luna-Morales, 2016), lo que limita su comercialización y consumo a áreas de producción local. Adicionalmente, la presencia de espinas hace difícil su manejo postcosecha y tal característica puede ser un factor que conduzca a daño mecánico; sin embargo, el impacto sobre los atributos de calidad del fruto al remover esas estructuras anatómicas no ha sido evaluado.

La refrigeración es considerada una estrategia eficiente para reducir el efecto de factores de deterioro en productos hortícolas y para extender la vida de anaquel (Nunes & Emond, 2003), pero hasta ahora esta alternativa no ha sido evaluada para el manejo de frutos de pitaya en



**Figure 1. External appearance of pitaya (*Stenocereus pruinosus*) fruit with orange flesh with (A) and without thorns (B).  
Figura 1. Apariencia externa de frutos de pitaya (*Stenocereus pruinosus*) de pulpa naranja con espinas (A) y sin espinas (B).**

behavior of pitaya fruit under refrigeration conditions and to determine the effect of removing thorns on fruit quality attributes. Fruit of cactaceae species are sensitive to chilling injury and the optimal storage temperature has been located between 8 and 12 °C (Esquivel, 2004; Rodríguez, Casóliba, Questa, & Felker, 2005). In the present work, in order to avoid incidence of chilling injury in fruit, a temperature of 12 °C was selected to conduct the experimental storage.

## Materials and methods

### Plant material

Two hundred pitaya (*Stenocereus pruinosus* (Otto) Buxbaum) fruit with red flesh and 200 fruit with orange flesh were collected in Tepexi de Rodríguez, Puebla, Mexico (18° 35' 46" NL, 97° 55' 48" WL; 1644 masl) at commercial maturity, which occurred when thorns were easily released and skin had become bright (Figure 1).

### Experimental organization

Fruit were immersed in NaClO solution (500 mg·L<sup>-1</sup>) for 5 min in order to reduce microbial load. Thereafter, they were dried with absorbent paper and weighed. One hundred and fifty fruit that were free of defects and with uniform size were chosen from each variant. Thorns were removed from half of the fruit and the following treatments were formed: fruit of red flesh with thorns (RwT) and without thorns (RoT), and fruit of orange flesh with thorns (OwT) and without thorns (OoT). All fruit were stored at 12 °C for 21 days, during which time the relative humidity reached 76 %.

The day when storage began (0 d) five fruit were sampled from each treatment in order to make an initial characterization. Thereafter, every other day six fruit from each treatment were removed from the storage room and three experimental units with two fruit each were formed, with the purpose of carrying out a characterization in terms of weight loss, color, respiration rate, firmness, total soluble solids (TSS) content, pH, titratable acidity, betalains content, total soluble phenols (TSP) content, and antioxidant activity.

### Physical and physiological variables

Weight was assessed with a digital scale (Ohaus, USA) with precision of 0.1 g. Cumulative weight loss was evaluated in percentage (% WL) based on the initial condition. Color was measured in fruit skin and fruit flesh with a Hunter Lab colorimeter (Mini Scan XE Plus 45/0-L, USA) and was expressed in hue angle (h°), chromaticity (C\*), and lightness (L\*) (McGuire, 1992).

The respiration rate was evaluated with a static method (Hernández-Muñoz, Almenar, del Valle, Velez,

postcosecha. En este sentido, esta investigación se realizó con el objetivo de evaluar el comportamiento postcosecha de frutos de pitaya bajo condiciones de refrigeración y el efecto sobre los atributos de calidad del fruto al remover las espinas. Los frutos de especies cactáceas son sensibles al daño por frío y su temperatura óptima para almacenamiento ha sido ubicada entre 8 y 12 °C (Esquivel, 2004; Rodríguez, Casóliba, Questa, & Felker, 2005). En la presente investigación, con el fin de evitar la incidencia de daño por frío, el fruto se almacenó a 12 °C.

## Materiales y métodos

### Material vegetal

Se colectaron 200 frutos de pitaya (*Stenocereus pruinosus* (Otto) Buxbaum) con pulpa roja y 200 con pulpa naranja en Tepexi de Rodríguez, Puebla, México (18° 35' 46" LN, 97° 55' 48" LO; 1,644 msnm) en madurez comercial, la cual ocurrió cuando las espinas se desprendían con facilidad y la cáscara se había tornado brillante (Figura 1).

### Organización del experimento

Los frutos se sumergieron en solución de NaClO (500 mg·L<sup>-1</sup>) por 5 min con el propósito de reducir la carga microbiana. Posteriormente, se secaron con papel absorbente y se pesaron. De cada variante se eligieron 150 frutos libres de defectos y con tamaño uniforme. Se removieron las espinas de la mitad de los frutos y se formaron los siguientes tratamientos: frutos de pulpa roja con espinas (RcE) y sin espinas (RsE), y frutos con pulpa naranja con espinas (NcE) y sin espinas (NsE). Todos los frutos se almacenaron a 12 °C por 21 días, durante ese tiempo la humedad relativa alcanzó 76 %.

El día en que inició el almacenamiento (0 d) se muestrearon cinco frutos de cada tratamiento con objeto de hacer una caracterización inicial. Cada tercer día se retiraron seis frutos de cada tratamiento del cuarto de almacenamiento y se formaron tres unidades experimentales con dos frutos cada una. Esto último con el fin de realizar una caracterización en términos de pérdida de peso, color, tasa de respiración, firmeza, contenido de sólidos solubles totales (SST), pH, acidez titulable, contenido de betalainas, contenido de fenoles solubles totales (FST) y actividad antioxidante.

### Variables físicas y fisiológicas

El peso se evaluó con una balanza digital (Ohaus, EE.UU.) con precisión de 0.1 g. La pérdida acumulativa de peso se determinó en porcentaje (% PP) con base en la condición inicial. El color se midió en la cáscara y en la pulpa del fruto con un colorímetro Hunter Lab (Mini Scan XE Plus 45/0-L, EE.UU.) y se expresó en ángulo de tono (h°), cromaticidad (C\*) y luminosidad (L\*) (McGuire, 1992).

& Gavara, 2008). The experimental unit was placed in an airtight container for 45 min and the change in CO<sub>2</sub> concentration ( $\Delta y_{CO_2}$ ) was determined. To do this, gaseous samples of 3 mL were obtained from the headspace of recipients and they were placed in glass tubes of 7 mL with 4 mL of a sodium bicarbonate solution containing bromothymol blue as indicator. Agitation was applied for 15 s and absorbance was measured with a spectrophotometer (Perkin Elmer Lambda 25 UV/Vis, USA) at 615 nm. CO<sub>2</sub> mixtures with concentration in the range of 0.2 to 12.5 % were prepared in order to construct a standard curve, which was used to quantify the concentration of CO<sub>2</sub> in the headspace of samples (García-Cruz et al., 2016). Then, based on fruit weight ( $m_{fr}$ ), container free volume ( $V_L$ ), and elapsed time ( $\Delta t = 45 \text{ min} = 0.75 \text{ h}$ ), respiration rate ( $R$ ) was determined in mL·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup> with the calculation:  $R = (\Delta y_{CO_2} V_L) / (m_{fr} \Delta t)$ .

Firmness was evaluated using a texture analyzer (TA-XT2i, Stable Micro Systems, UK) at two points of the equatorial region of fruit, with a routine that consisted of applying a compression force with a spherical probe of 10 mm in diameter that deformed tissue to a depth of 5 mm at a velocity of 5 mm·s<sup>-1</sup>. Additionally, a microphotograph of the epidermal section of fruit was obtained. Samples of the epicarpic region were crushed and fixed with 2.5 % glutaraldehyde for 24 h. Three washes with a phosphate buffer were applied, and materials were then sequentially suspended in ethanol solutions with concentrations from 50 to 100 % (v/v) and subsequently dried. A fine layer of gold was applied using a sputter coater (JFC-1100 Fine Coat; JEOL LTD, Japan). Finally, a scanning electron microscope (JSM-6390; JEOL Ltd., Japan) was used to obtain images of the cross section of samples.

### Chemical variables

Total soluble solids (TSS) were expressed in °Brix and were measured with a Master-M refractometer (Atago®, Japan) in a drop of juice taken from fruit flesh. To evaluate pH and titratable acidity, 5 g of fruit flesh were macerated with 50 mL of distilled water. Filtration with cheesecloth was applied and the liquid was first analyzed with a potentiometer (Hanna Instruments, Romania) to determine pH and thereafter it was titrated with NaOH 0.01 N to determine titratable acidity (Horwitz, 1980).

### Betalains and total soluble phenols content

The method of Wu et al. (2006) was used to obtain a methanolic extract from fruit. Two grams of flesh were macerated with 20 mL of methanol 80 % (v/v). Sonication was applied for 10 min with a Branson® (USA) bath. Mixtures were then shaken in dark for 20 min at room temperature and centrifuged at 2,200 × g on a Hettich Zentrifugen unit

La tasa de respiración se evaluó con un método estático (Hernández-Muñoz, Almenar, del Valle, Velez, & Gavara, 2008). Se colocó la unidad experimental en un recipiente hermético durante 45 min para determinar el cambio en la concentración de CO<sub>2</sub> ( $\Delta y_{CO_2}$ ). Para lo anterior se obtuvieron muestras gaseosas de 3 mL del espacio de cabeza de los recipientes y se colocaron en tubos de vidrio de 7 mL, junto con 4 mL de una solución de bicarbonato de sodio que contenía azul de bromotimol como indicador. Se aplicó agitación durante 15 s y la absorbancia se midió con un espectrofotómetro (Perkin Elmer Lambda 25 UV/Vis, EE.UU.) a 615 nm. Se prepararon mezclas de CO<sub>2</sub> con concentraciones en el rango de 0.2 a 12.5 % con objeto de construir una curva estándar, la cual se usó para cuantificar la concentración de CO<sub>2</sub> en el espacio de cabeza de las muestras (García-Cruz et al., 2016). Posteriormente, con base en el peso del fruto ( $m_{fr}$ ), volumen libre del recipiente ( $V_L$ ) y tiempo transcurrido ( $\Delta t = 45 \text{ min} = 0.75 \text{ h}$ ), se determinó la tasa de respiración ( $R$ ) en mL·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup> mediante el cálculo:  $R = (\Delta y_{CO_2} V_L) / (m_{fr} \Delta t)$ .

La firmeza se evaluó utilizando un analizador de textura (TA-XT2i, Stable Micro Systems, R.U.) en dos puntos de la región ecuatorial del fruto. La rutina empleada consistió en aplicar una fuerza de compresión con una sonda esférica de 10 mm de diámetro que deformó el tejido hasta una profundidad de 5 mm, a 5 mm·s<sup>-1</sup> de velocidad. Adicionalmente, se obtuvo una microfotografía de la sección epidérmica del fruto. Se maceraron muestras del epicarpio y se fijaron con 2.5 % de glutaraldehído por 24 h. Las muestras se lavaron tres veces con un buffer de fosfatos; los materiales se suspendieron secuencialmente en soluciones de etanol, con concentraciones de 50 a 100 % (v/v), y enseguida se secaron. Se aplicó una capa fina de oro con un equipo de recubrimiento catódico (JFC-1100 Fine Coat; JEOL LTD, Japón). Finalmente, se usó un microscopio electrónico de barrido (JSM-6390; JEOL Ltd., Japón) para obtener imágenes de la sección transversal de las muestras.

### Variables químicas

Los SST fueron expresados en °Brix y se midieron con un refractómetro Master-M (Atago®, Japón) en una gota de jugo tomada de la pulpa del fruto. Para evaluar pH y acidez titulable se maceraron 5 g de pulpa de fruto con 50 mL de agua destilada. Se aplicó filtración con manta de cielo y el líquido se analizó primero con un potenciómetro (Hanna Instruments, Rumania) para determinar el pH y posteriormente se tituló con NaOH 0.01 N para obtener la acidez titulable (Horwitz, 1980).

### Betalainas y contenido de fenoles solubles totales

Para obtener un extracto metanólico del fruto se utilizó el método de Wu et al. (2006). Primero se maceraron 2 g de pulpa con 20 mL de metanol 80 % (v/v). Se aplicó



(Model Universal 32, Germany). The supernatant was separated and the residue was subjected to a similar second extraction. The supernatants were pooled, filtered with No. 4 Whatman paper, and concentrated to dryness at 40 °C on a rotary evaporator (Laborata 4010, Germany). Finally, residues were re-suspended in 10 mL of a solution of methanol 80 % and they were stored in amber containers at -20 °C.

Betacyanin and betaxanthin concentrations were determined with the method of Castellanos-Santiago and Yahia (2008) through spectrophotometry and the calculation:  $B = (A \times DF \times W \times V) / (\epsilon \times P \times L)$ , where  $B$  is content of betacyanins or betaxanthins ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ),  $A$  is absorbance (538 nm for betacyanins and 483 nm for betaxanthins),  $DF$  is a dilution factor when reading was made,  $W$  is molecular weight ( $550 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  for betanin and  $308 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  for indicaxanthin),  $\epsilon$  is the molar extinction coefficient ( $60,000 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$  for betanin and  $48,000 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$  for indicaxanthin),  $P$  is mass of sample (g), and  $L$  is the length (1 cm) of the cuvette used during the determination. Results were expressed as total content of betalains per 100 g of fresh weight, through the sum of the contents of betacyanins and betaxanthins.

The determination of TSP was carried out in the same methanolic extract, using the Folin-Ciocalteu method (Singleton & Rossi, 1965). 100  $\mu\text{L}$  of the extract reacted with 125  $\mu\text{L}$  of the Folin-Ciocalteu reagent for 6 min. Then neutralization was applied with 1,250  $\mu\text{L}$  of a solution of  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (19 %) and the volume was adjusted to 3 mL with distilled water. Mixtures were shaken on a vortex and placed in darkness for 90 min to achieve stabilization. Centrifugation (Hermle Z200 equipment, Labortechnik, Germany) was applied at  $15,300 \times g$  for 10 min and absorbance (Perkin Elmer Lambda 25 UV/Vis, USA) was measured at 760 nm. A standard curve with gallic acid was prepared to express TSP content as mg of gallic acid equivalents per kilogram of fresh weight ( $\text{mg GAE} \cdot \text{kg}^{-1}$ ).

### Antioxidant activity

A 7 mM solution of ABTS [2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid)] was mixed with 2.45 mM of potassium persulfate ( $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ; PP) at a 2:1 ratio. The mixture was placed in darkness for 16 h to allow free radical generation and afterwards diluted with a phosphate buffer at pH 7.4 until absorbance was 0.7 at 734 nm (Wu et al., 2006). Aliquots of 200  $\mu\text{L}$  of the methanolic extract reacted with 2,800  $\mu\text{L}$  of the ABTS-PP solution and absorbance was measured every minute for 7 min. The reduced ABTS was determined with the calculation:  $\%ABTS = (A_0 - A_n)100/A_0$ , where  $A_0$  and  $A_n$  were blank and sample absorbances, respectively. Trolox [(±)-6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchromane-2-carboxylic acid] at different concentrations ( $50\text{--}300 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) was used to

sonicación por 10 min con un baño Branson® (EE.UU.). En seguida se agitaron las mezclas en oscuridad durante 20 min a temperatura ambiente y se centrifugaron a  $2,200 \times g$  en un equipo Hettich Zentrifugen (Model Universal 32, Alemania). El sobrenadante se separó y el residuo se sometió a una segunda extracción similar. Los sobrenadantes se juntaron, se filtraron con papel Whatman No. 4 y se concentraron hasta sequedad a 40 °C en un evaporador rotatorio (Laborata 4010, Alemania). Finalmente, los residuos se re-suspendieron en 10 mL de una solución de metanol 80 % y se almacenaron en recipientes ámbar a -20 °C.

Las concentraciones de betacianinas y betaxantinas se determinaron con el método de Castellanos-Santiago y Yahia (2008), mediante espectrofotometría y el cálculo:  $B = (A \times FD \times W \times V) / (\epsilon \times P \times L)$ , donde  $B$  es contenido de betacianinas o betaxantinas ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ),  $A$  es absorbancia (538 nm para betacianinas y 483 nm para betaxantinas),  $FD$  es el factor de dilución cuando se realizó la lectura,  $W$  es peso molecular ( $550 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  para betanina y  $308 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  para indicaxantina),  $\epsilon$  es el coeficiente de extinción molar ( $60,000 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$  para betanina y  $48,000 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$  para indicaxantina),  $P$  es masa de la muestra (g) y  $L$  es la longitud (1 cm) de la celda utilizada durante la determinación. Los resultados se expresaron como contenido total de betalainas por 100 g de peso fresco, mediante la suma de los contenidos de betacianinas y betaxantinas.

La determinación de los FST se condujo en el mismo extracto metanólico, utilizando el método Folin-Ciocalteu (Singleton & Rossi, 1965). Reaccionaron 100  $\mu\text{L}$  del extracto con 125  $\mu\text{L}$  del reactivo de Folin-Ciocalteu durante 6 min. Después se aplicó neutralización con 1,250  $\mu\text{L}$  de una solución de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (al 19 %) y el volumen se ajustó a 3 mL con agua destilada. Las mezclas se agitaron en un equipo tipo vórtex y se colocaron en oscuridad durante 90 min para alcanzar estabilización. La centrifugación (Hermle Z200 equipment, Labortechnik, Alemania) se aplicó a  $15,300 \times g$  por 10 min y la absorbancia (Perkin Elmer Lambda 25 UV/Vis, EE.UU.) se midió a 760 nm. Se preparó una curva estándar con ácido gálico para expresar el contenido de FST como miligramos equivalentes de ácido gálico por kilogramo de peso fresco ( $\text{mg EAG} \cdot \text{kg}^{-1}$ ).

### Actividad antioxidante

Para esta variable se mezcló una solución de 7 mM de ABTS [ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico)] con otra de 2.45 mM de persulfato de potasio ( $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ; PP) a una relación 2:1. La mezcla se colocó en oscuridad durante 16 h para permitir la generación de radicales libres; posteriormente se diluyó con un buffer de fosfatos con pH de 7.4 hasta que la absorbancia fue de 0.7 a 734 nm (Wu et al., 2006). Reaccionaron alícuotas de 200  $\mu\text{L}$  del extracto metanólico con 2,800  $\mu\text{L}$

prepare a standard curve and antioxidant capacity was expressed in  $\mu\text{mol}$  of Trolox equivalents per kilogram of sample ( $\mu\text{mol TE}\cdot\text{kg}^{-1}$ ).

### Data analysis

The work was conducted according to a  $2\times 2$  factorial arrangement in a completely randomized design. Variation factors were fruit variant (with red or orange flesh) and the presence or absence of thorns. In addition, the significance of changes over the storage time was evaluated. An analysis of variance, complemented with means comparison routines (Tukey,  $P \leq 0.05$ ), was carried out to analyze data.

## Results and discussion

### Physical and physiological variables

Fruit weight ranged from 168.1 to 197.6 g and during storage showed continuous mass loss that occurred at a rate of 0.55, 0.86, 0.46, and 0.82 % per day in the RwT, RoT, OwT, and OoT treatments, respectively (Figure 2A). Transpiration is a phenomenon resulting from the presence of a water vapor deficit (Maguire, Banks, & Opara, 2001) and in this case it was caused by 76 % relative humidity, which led to water transport from within the product to the surrounding air. This phenomenon was similar in both variants of fruit, red and orange, but it was significantly affected by thorn removal ( $P \leq 0.05$ ; Table 1), since the highest losses occurred in fruit without thorns.

The epicarp of *S. pruinosus* fruit is approximately 0.61 cm thick and possesses areoles ranging in number from 24 to 28 (García-Cruz et al., 2016). The most external region consists of a continuous cuticle and through microphotography the presence of waxes on the surface could be detected (Figure 3), which suggests that transpiration occurs mainly in the areole points, where cuticle is interrupted and, when thorns are removed, the contact area with the external environment is increased, causing an increment in the transpiration rate, which enhances mass loss by up to 43.8 % in red fruit and up to 75.5 % in orange fruit. On the other hand, the behavior over time was similar between fruit without thorns, but it contrasted slightly between fruit variants with thorns, which explained the significance of the  $V\times S$  and  $S\times F$  interactions (Table 1).

The respiration rate was not affected by fruit variant (Table 1). During storage there were fluctuations (Figure 2B) resulting from the fact that different experimental units were used at different temporal sampling points. However, such changes over time were not significant ( $P > 0.05$ ; Table 1). According to Armella, Yáñez-López, Soriano, and Ramírez (2003), the

de la solución de ABTS-PP y la absorbancia se midió cada minuto, durante 7 min. El ABTS reducido se determinó con el cálculo:  $\%ABTS = (A_0 - A_n)100/A_0$ , donde  $A_0$  y  $A_n$  son las absorbancias del blanco y de la muestra, respectivamente. Se utilizó Trolox [(±) ácido-6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico] a diferentes concentraciones (50 a 300  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ) para preparar una curva estándar y la capacidad antioxidante se expresó en  $\mu\text{mol}$  equivalentes de Trolox por kilogramo de muestra ( $\mu\text{mol ET}\cdot\text{kg}^{-1}$ ).

### Análisis de datos

El estudio se realizó de acuerdo con un arreglo factorial  $2\times 2$  en un diseño completamente al azar. Los factores de variación fueron variante de fruto (con pulpa roja o naranja) y la presencia o ausencia de espinas. Además, se evaluó la significancia de los cambios durante el tiempo de almacenamiento. Para analizar los datos se realizó un análisis de varianza, complementado con comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

## Resultados y discusión

### Variables físicas y fisiológicas

El peso del fruto se ubicó en el rango de 168.1 a 197.6 g, y durante el almacenamiento mostró una continua pérdida de masa que ocurrió a una tasa de 0.55, 0.86, 0.46 y 0.82 % por día en los tratamientos RcE, RsE, NcE y NsE, respectivamente (Figura 2A). La transpiración es un fenómeno que resulta de la presencia de un déficit de vapor de agua (Maguire, Banks, & Opara, 2010), y en este caso fue causada por la humedad relativa de 76 %, que derivó en el transporte de agua desde el interior del producto hacia el aire que lo rodea. Este fenómeno fue similar en ambas variantes de fruto, rojo y naranja, pero se vio afectada significativamente por la remoción de espinas ( $P \leq 0.05$ ; Cuadro 1), puesto que las pérdidas más altas ocurrieron en los frutos sin espinas.

El epicarpio de *S. pruinosus* es de aproximadamente 0.64 cm de grosor y posee entre 24 y 28 areolas (García-Cruz et al., 2016). La región más externa consiste en una cutícula continua, y mediante microfotografía se pudo detectar la presencia de ceras en la superficie (Figura 3). Lo anterior sugiere que la transpiración ocurre, principalmente, en los puntos de areolas, donde la cutícula es interrumpida y cuando las espinas son removidas el área de contacto con el medio externo se incrementa. Esto causa aumento en la tasa de transpiración, lo que incrementó la pérdida de masa hasta 43.8 % en los frutos rojos y hasta 75.5 % en los naranja. Por otro lado, el comportamiento a lo largo del tiempo fue similar entre los frutos sin espinas, pero contrastó ligeramente entre las variantes de frutos con espinas; lo que explicó la significancia de las interacciones  $V\times S$  y  $S\times \Phi$  (Cuadro 1).

fruit of the *Stenocereus* genus exhibit a non-climacteric behavior and respiration activity occurs without significant modifications during ripening and also after consumption maturity is reached.

La tasa de respiración no se afectó por la variante de fruto (Cuadro 1). Durante el almacenamiento hubo fluctuaciones (Figura 2B) originadas por el hecho de que se utilizaron diferentes unidades experimentales

**Table 1. Percentile values of the Fisher distribution ( $F_{0.05}$ ) with  $\alpha = 0.05$  and F values corresponding to the analysis of variance of the postharvest behavior evaluation of *S. pruinosus* fruit stored at 12 °C for 21 d.**

**Cuadro 1. Valores percentiles de la distribución de Fisher ( $F_{0.05}$ ) con  $\alpha = 0.05$  y valores F correspondientes con el análisis de varianza de la evaluación del comportamiento postcosecha de frutos de *S. pruinosus* almacenados a 12 °C durante 21 días.**

Var	Variation factor / Factor de variación							Error	VC / CV
	V	S	$\Phi$	V×S	V× $\Phi$	S× $\Phi$	V×S× $\Phi$		
df / gl	1	1	7	1	7	7	7	72	--
$F_{0.05}$	3.97	3.97	2.14	3.97	2.14	2.14	2.14	--	--
Physical and physiological variables / Variables físicas y fisiológicas									
WL / PP	1.20 ns	255.03 *	216.77 *	9.54 *	1.17 ns	16.43 *	0.43 ns	--	14.71
Resp	0.01 ns	1.50 ns	2.01 ns	0.07 ns	6.78 *	4.72 *	6.12 *	--	17.48
$h^{\circ}_{\text{skin}} / h^{\circ}_{\text{cáscara}}$	112.27 *	3.52 ns	1.96 ns	0.02 ns	0.80 ns	0.35 ns	1.06 ns	--	16.93
$C^{*}_{\text{skin}} / C^{*}_{\text{cáscara}}$	79.32 *	3.90 ns	3.53 *	0.67 ns	0.85 ns	1.24 ns	0.86 ns	--	17.22
$L^{*}_{\text{skin}} / L^{*}_{\text{cáscara}}$	15.89 *	2.80 ns	1.60 ns	1.27 ns	1.96 ns	1.31 ns	0.54 ns	--	6.87
$h^{\circ}_{\text{flesh}} / h^{\circ}_{\text{pulpa}}$	222.92 *	2.79 ns	1.94 ns	0.25 ns	0.58 ns	0.33 ns	1.45 ns	--	18.41
$C^{*}_{\text{flesh}} / C^{*}_{\text{pulpa}}$	164.35 *	2.14 ns	6.56 *	0.13 ns	0.66 ns	1.13 ns	1.57 ns	--	13.69
$L^{*}_{\text{flesh}} / L^{*}_{\text{pulpa}}$	195.81 *	10.43 *	2.82 ns	2.43 ns	0.85 ns	0.84 ns	1.33 ns	--	10.90
$F_{\text{skin}} / F_{\text{cáscara}}$	0.01 ns	0.57 ns	6.36 *	0.05 ns	1.46 ns	1.44 ns	0.92 ns	--	37.65
$F_{\text{flesh}} / F_{\text{pulpa}}$	3.14 ns	1.60 ns	9.38 *	0.19 ns	1.46 ns	2.05 ns	0.59 ns	--	16.75
Chemical variables / Variables químicas									
TSS / SST	4.92 *	2.00 ns	1.76 ns	3.60 ns	2.90 ns	0.84 ns	1.60 ns	--	13.72
pH	1.62 ns	0.01 ns	0.60 ns	0.40 ns	1.05 ns	0.64 ns	1.81 ns	--	6.67
Aci	2.24 ns	0.01 ns	0.22 ns	0.27 ns	1.42 ns	0.79 ns	0.94 ns	--	31.99
Betalains content, TSP content, and antioxidant activity / Contenido de betalainas, contenido de FST y actividad antioxidante									
Bet	35.17 *	1.79 ns	1.02 ns	0.03 ns	2.43 ns	0.35 ns	0.60 ns	--	22.95
TSP / FST	7.91 *	1.14 ns	2.23 *	1.30 ns	4.73 *	0.84 ns	2.12 ns	--	35.38
Aox	142.77 *	0.06 ns	16.66 *	0.01 ns	0.43 ns	1.49 ns	0.78 ns	--	22.09

Var: variable; V: variation factor given by fruit variant (red or orange flesh); S: variation factor given by presence or absence of thorns;  $\Phi$ : variation factor given by storage time; V×S, V× $\Phi$ , S× $\Phi$ , V×S× $\Phi$ : interactions between variation factors; df: degrees of freedom; VC: variation coefficient (%); WL: weight loss;  $L^{*}_{\text{skin}}$ : lightness of skin;  $C^{*}_{\text{skin}}$ : chroma of skin;  $h^{\circ}_{\text{skin}}$ : hue angle of skin;  $F_{\text{skin}}$ : firmness of epicarp;  $L^{*}_{\text{flesh}}$ : lightness of flesh;  $C^{*}_{\text{flesh}}$ : chroma of flesh;  $h^{\circ}_{\text{flesh}}$ : hue angle of flesh;  $F_{\text{flesh}}$ : firmness of flesh; Aci: titratable acidity; TSS: total soluble solids; Resp: respiration rate; Bet: betalains content; TSP: total soluble phenols content; Aox: antioxidant activity. Symbol \* indicates that at least one level inside the variation factor produced different effect in relation to the rest ( $\alpha = 0.05$ ).

Symbol ns indicates that there was no difference in effect ( $\alpha = 0.05$ ) caused among levels inside the variation factor.

Var: variable; V: factor de variación dado por variable de fruto (pulpa roja o naranja); S: factor de variación dado por la presencia o ausencia de espinas;  $\Phi$ : factor de variación dado por el tiempo de almacenamiento; V×S, V× $\Phi$ , S× $\Phi$ , V×S× $\Phi$ : interacciones entre factores de variación; gl: grados de libertad; CV: coeficiente de variación (%); PP: pérdida de peso;  $L^{*}_{\text{cáscara}}$ : luminosidad de la cáscara;  $C^{*}_{\text{cáscara}}$ : cromaticidad de la cáscara;  $h^{\circ}_{\text{cáscara}}$ : ángulo de tono de la cáscara;  $F_{\text{cáscara}}$ : firmeza del epicarpio;  $L^{*}_{\text{pulpa}}$ : luminosidad de la pulpa;  $C^{*}_{\text{pulpa}}$ : cromaticidad de la pulpa;  $h^{\circ}_{\text{pulpa}}$ : ángulo de tono de la pulpa;  $F_{\text{pulpa}}$ : firmeza de la pulpa; Aci: acidez titulable; SST: sólidos solubles totales; Resp: tasa de respiración; Bet: contenido de betalainas; FST: contenido de fenoles solubles totales; Aox: actividad antioxidante.

\* Indica que al menos un nivel dentro del factor de variación produjo efecto diferente en relación con el resto ( $\alpha = 0.05$ ).

ns = Indica que no hubo diferencia en el efecto ( $\alpha = 0.05$ ) causada entre los niveles dentro del factor de variación.

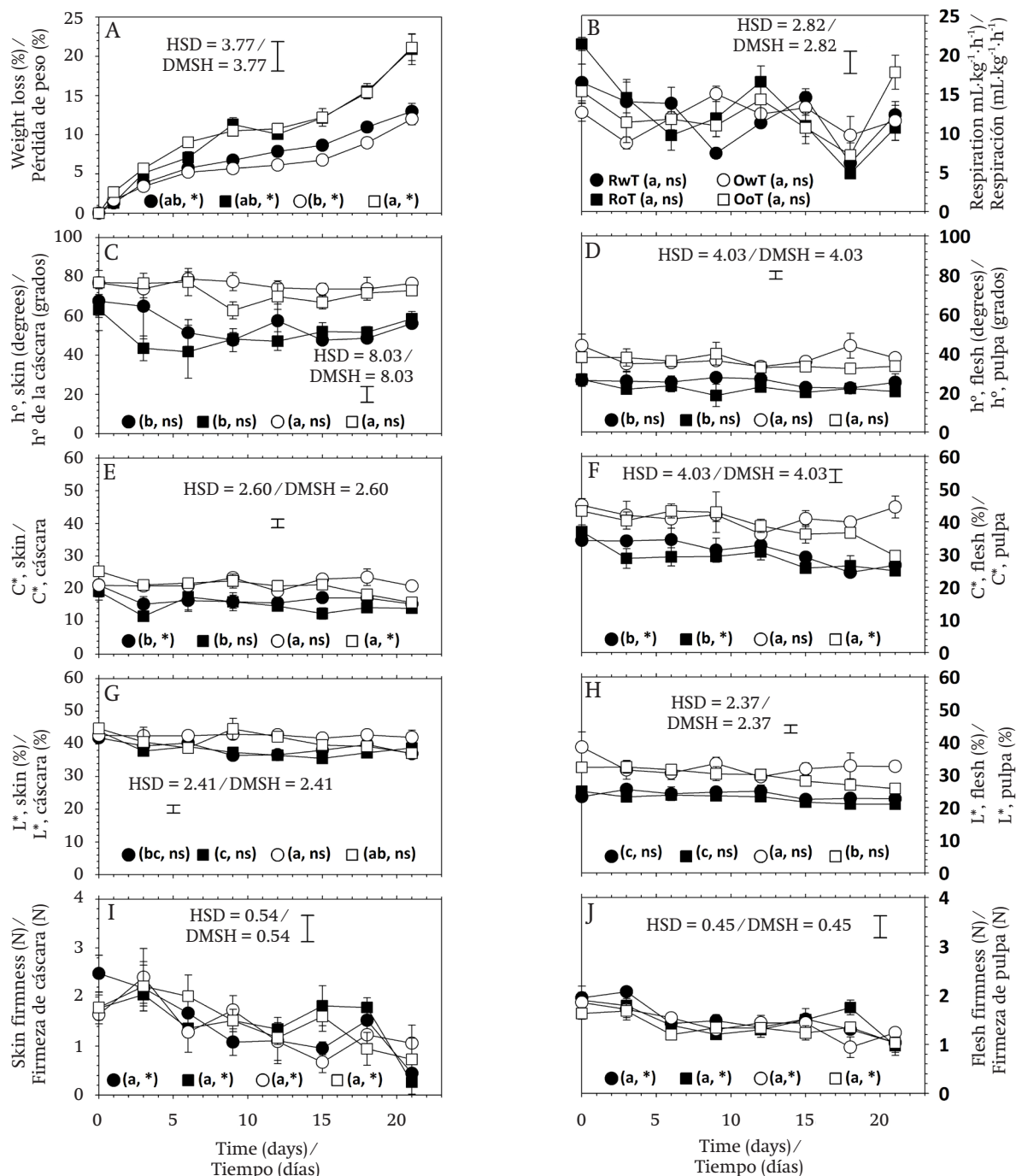


Figure 2. Postharvest behavior of cumulated weight loss (A), respiration rate (B), hue angle ( $h^\circ$ ) in skin (C) and flesh (D), chroma ( $C^*$ ) in skin (E) and flesh (F), lightness ( $L^*$ ) in skin (G) and flesh (H), firmness of epicarp (I), and firmness of flesh (J), in *S. pruinosus* red fruit with thorns (RwT) and without thorns (RoT), and *S. pruinosus* orange fruit with thorns (OwT) and without thorns (OoT). Different lowercase letters indicate significant difference between treatments. HSD is honest significant difference and applies to treatment comparison. Symbols \* and ns indicate significant and non-significant ( $\alpha = 0.05$ ) change of the treatment over the storage time.

Figura 2. Comportamiento postcosecha de la pérdida acumulada de peso (A), tasa de respiración (B), ángulo de tono ( $h^\circ$ ) en cáscara (C) y pulpa (D), cromaticidad ( $C^*$ ) en cáscara (E) y pulpa (F), luminosidad ( $L^*$ ) en cáscara (G) y pulpa (H), firmeza del epicarpio (I) y firmeza de la pulpa (J), en frutos rojos de *S. pruinosus* con espinas (RcE) y sin espinas (RsE), y frutos naranjas de *S. pruinosus* con espinas (NcE) y sin espinas (NsE). Letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. DMSH = diferencia mínima significativa honesta. \* y ns indican cambio significativo y no significativo ( $\alpha = 0.05$ ) del tratamiento durante el tiempo de almacenamiento.



On the other hand, although major effects were non-significant, the statistical analysis reported that two double interactions were significant and, among all variables, respiration was the only case where the triple interaction was significant (Table 1). The respiratory activity in the present work was evaluated at 12 °C and had average values of 11.99 ( $\pm$  3.59), 12.55 ( $\pm$  4.82), 11.90 ( $\pm$  2.28), and 12.41 ( $\pm$  3.44) mL·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup> in RwT, RoT, OwT, and OoT, respectively. This suggests that thorn removal caused a slight increment in metabolic activity. Even though such anatomical elements are deciduous and their separation does not require any mechanical effort, the presence of greater open areas could favor gaseous exchange with the environment, resulting in a higher respiration rate, similarly to what occurred with the weight loss. However, variability in measurements was high and the significance in interactions was in fact due to contrasts that occurred in several days during storage, but without any clear tendency (Figure 2B). On the other hand, García-Cruz et al. (2016) reported values of respiratory activity at 24 °C of 9.5  $\mu$ g·kg<sup>-1</sup>·s<sup>-1</sup> (24.71 mL·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>) and 11.1  $\mu$ g·kg<sup>-1</sup>·s<sup>-1</sup> (28.79 mL·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>) for fruit of *S. pruinosa* with red and orange flesh, respectively, which implies that a Q<sub>10</sub> value equal to 1.83 and 2.09 characterized the dependence of respiration with temperature in the range from 12 to 24 °C for red and orange fruit, respectively.

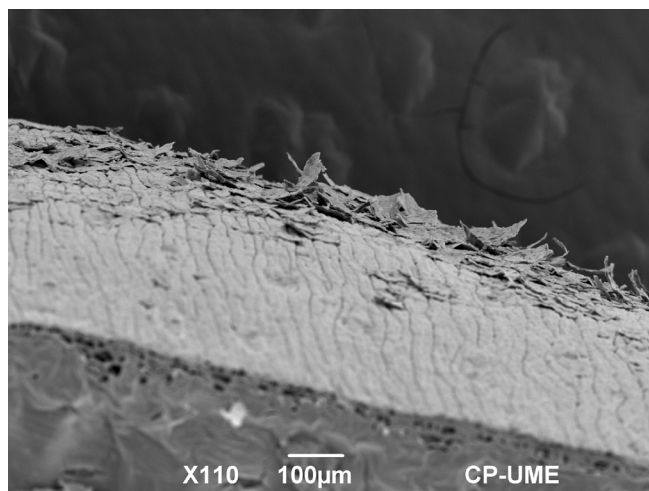
Color is a distinctive feature of *S. pruinosa* fruit variants and, similarly to what was reported by García-Cruz et al. (2016), there was significant difference in hue angle (h°) and chroma (C\*) between red and orange fruit, both in skin and flesh (Table 1). Hue angle had values between red and yellow tones in the Cielab space (McGuire, 1992). In the case of skin, average values, in degrees, were 55.22 ( $\pm$  13.49), 50.78 ( $\pm$  12.24), 75.72 ( $\pm$  5.86), and 71.93 ( $\pm$  8.15) for RwT, RoT, OwT, and OoT, respectively, which means that thorn removal caused a reduction of 8.04 and 5.01 % in the hue angle of red and orange fruit, respectively, although the statistical analysis reported that the contrast was non-significant (Table 1, Figure 2C). Hue angle of skin contrasted with that of flesh, where average values, in degrees, were 25.37 ( $\pm$  5.16), 22.08 ( $\pm$  4.35), 37.67 ( $\pm$  6.40), and 35.50 ( $\pm$  4.78), for the same treatments, respectively, and where the effect of thorn removal was again non-significant (Table 1, Figure 2D).

In the case of C\*, average values were 16.79 ( $\pm$  3.89), 14.97 ( $\pm$  3.84), 21.61 ( $\pm$  2.41), and 20.86 ( $\pm$  3.12) in skin, and 30.91 ( $\pm$  5.45), 29.05 ( $\pm$  4.62), 41.46 ( $\pm$  4.72), and 38.88 ( $\pm$  5.99) in flesh, for fruit of RwT, RoT, OwT, and OoT, respectively (Figure 2E and 2F), which showed that the thorn removal caused a 7.16 % loss of chroma in skin and 6.12 % in flesh, although the statistical analysis report, as occurred before, indicated that contrasts were non-significant (Table 1).

en puntos temporales de muestreo diferentes. Sin embargo, tales cambios durante el tiempo no fueron significativos ( $P > 0.05$ ; Cuadro 1). De acuerdo con Armella, Yáñez-López, Soriano, y Ramírez (2003), el fruto del género *Stenocereus* presenta comportamiento no climatérico y la actividad de respiración ocurre sin modificaciones significativas durante la maduración y también después de que se alcanza la madurez de consumo.

Por otra parte, a pesar de que los efectos mayores no fueron significativos, el análisis estadístico reportó que dos interacciones dobles sí lo fueron y, entre todas las variables, la respiración fue el único caso donde la interacción triple fue significativa (Cuadro 1). La actividad respiratoria se evaluó a 12 °C y tuvo valores promedio de 11.99 ( $\pm$  3.59), 12.55 ( $\pm$  4.82), 11.90 ( $\pm$  2.28) y 12.41 ( $\pm$  3.44) mL·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup> en RcE, RsE, NcE y NsE, respectivamente. Esto sugiere que la remoción de espinas causó un ligero incremento en la actividad metabólica. A pesar de que tales elementos anatómicos son deciduos y su separación no requiere de ningún esfuerzo mecánico, la presencia de mayores áreas abiertas podría favorecer el intercambio gaseoso con el medio ambiente. Lo anterior resulta en una tasa de respiración más alta, similar a lo que ocurrió con la pérdida de peso. Sin embargo, la variabilidad en las mediciones fue alta y la significancia en las interacciones fue debida a contrastes que ocurrieron en algunos días durante el almacenamiento, pero sin alguna tendencia clara (Figura 2B). Por su parte, García-Cruz et al. (2016) reportaron valores de actividad respiratoria a 24 °C de 9.5  $\mu$ g·kg<sup>-1</sup>·s<sup>-1</sup> (24.71 mL·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>) y 11.1  $\mu$ g·kg<sup>-1</sup>·s<sup>-1</sup> (28.79 mL·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>) para frutos de *S. pruinosa* con pulpa roja y naranja, respectivamente. Esto implica que un valor Q<sub>10</sub> igual a 1.83 y 2.09 caracterizó la dependencia de la respiración con la temperatura en el rango de 12 a 24 °C para frutos rojo y naranja, respectivamente.

El color es una característica distintiva de las variantes del fruto de *S. pruinosa* y, de manera similar a lo reportado por García-Cruz et al. (2016), en el presente trabajo se observó diferencia significativa en ángulo de tono (h°) y cromaticidad (C\*) entre frutos rojos y naranjas, tanto en cáscara como en pulpa (Cuadro 1). El ángulo de tono presentó valores entre rojo y amarillo en el espacio Cielab (McGuire, 1992). En el caso de la cáscara, los valores promedio, en grados, fueron 55.22 ( $\pm$  13.49), 50.78 ( $\pm$  12.24), 75.72 ( $\pm$  5.86) y 71.93 ( $\pm$  8.15) para RcE, RsE, NcE y NsE, respectivamente. Lo anterior significa que la remoción de espinas causó reducción entre 8.04 y 5.01 % en el ángulo de tono de los frutos rojos y naranjas, respectivamente, a pesar de que el análisis estadístico reportó que el contraste no fue significativo (Cuadro 1, Figura 2C). El ángulo de tono de la cáscara contrastó con el de la pulpa, donde los valores promedio, en grados, fueron 25.37 ( $\pm$  5.16),



**Figure 3. Microphotograph of the cuticle region of a *Stenocereus pruinosus* fruit obtained with a scanning electron microscope.**

**Figura 3. Microfotografía de la región de la cutícula de un fruto de *Stenocereus pruinosus* obtenida con un microscopio electrónico de barrido.**

On the other hand, the storage time did not affect the hue angle of skin or flesh, suggesting that the composition of betalains, which are compounds that provide the color to these fruit (García-Cruz et al., 2013), did not change during storage. In contrast, chroma was modified over time (Table 1), especially in the case of flesh, where a reduction of 0.46 units per day was observed in red fruit and of 0.33 units per day in orange fruit (Figure 2F), and this differential loss of  $C^*$  explained the significant interaction that was found in the analysis of variance between factors of fruit variant and storage time (Table 1). Additionally, such interaction was also significant in the case of chroma of skin, but in that case this was explained because the time only affected treatments RwT and OoT (Figure 2E), although the observed modifications had no practical importance.

Lightness ( $L^*$ ) was affected by the type of fruit and, similarly to the above attributes, there was contrast between skin and flesh (Figure 2G and 2H). Average values were 38.69 ( $\pm 2.92$ ), 38.06 ( $\pm 3.04$ ), 42.47 ( $\pm 2.01$ ), and 40.86 ( $\pm 3.86$ ) % in skin and 23.83 ( $\pm 2.08$ ), 22.82 ( $\pm 1.90$ ), 32.58 ( $\pm 4.61$ ), and 29.68 ( $\pm 2.91$ ) % in flesh, for RwT, RoT, OwT, and OoT, respectively. In the case of flesh there was significant contrast in this attribute between red and orange fruit (Figure 2H). However, although the statistical analysis also reported significant difference in the case of skin, such contrast was actually little evident (Figure 2G). In the case of flesh, additionally to the effect given by the type of fruit, it was found that the action of removing thorns caused a significant modification of lightness (Table 1), but when means were compared this was only confirmed for orange fruit (Figure 2H), where  $L^*$  diminished by 8.90 %.

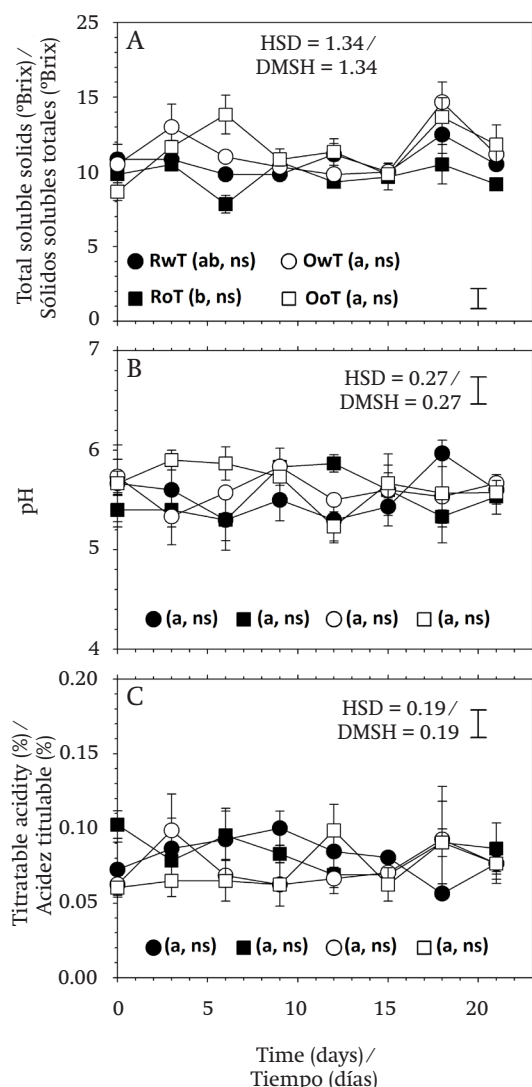
22.08 ( $\pm 4.35$ ), 37.67 ( $\pm 6.40$ ) y 35.50 ( $\pm 4.78$ ), para los mismos tratamientos, respectivamente, además el efecto de la remoción de espinas fue nuevamente no significativo (Cuadro 1, Figura 2D).

En el caso de  $C^*$ , los valores promedio fueron 16.79 ( $\pm 3.89$ ), 14.97 ( $\pm 3.84$ ), 21.61 ( $\pm 2.41$ ) y 20.86 ( $\pm 3.12$ ) en cáscara y 30.91 ( $\pm 5.45$ ), 29.05 ( $\pm 4.62$ ), 41.46 ( $\pm 4.72$ ) y 38.88 ( $\pm 5.99$ ) en pulpa, para frutos de RcE, RsE, NcE y NsE, respectivamente (Figuras 2E y 2F). Esto mostró que la remoción de espinas causó pérdida de cromaticidad de 7.16 % en cáscara y de 6.12 % en pulpa, a pesar de que el reporte de análisis estadístico, como ocurrió antes, indicó que los contrastes no fueron significativos (Cuadro 1).

Por otro lado, el tiempo de almacenamiento no afectó el ángulo de tono de la cáscara o de la pulpa. Lo anterior sugiere que la composición de betalainas, que son los compuestos que proveen el color a estos frutos (García-Cruz et al., 2013), no cambió durante el almacenamiento. En contraste, la cromaticidad se modificó con el tiempo (Cuadro 1), especialmente en la pulpa, donde se observó la reducción de 0.46 unidades por día en los frutos rojos y de 0.33 unidades por día en los naranja (Figura 2F). Esta pérdida diferencial de  $C^*$  explicó la interacción significativa que se encontró en el análisis de varianza entre los factores de variante de fruta y tiempo de almacenamiento (Cuadro 1). Adicionalmente, tal interacción también fue significativa en la cromaticidad de la cáscara, pero en ese caso esto se explicó debido a que el tiempo sólo afectó los tratamientos RcE y NsE (Figura 2E), a pesar de que las modificaciones observadas no tuvieron importancia práctica.

La luminosidad ( $L^*$ ) fue afectada por el tipo de fruto y, similar a los atributos anteriores, existió contraste entre cáscara y pulpa (Figuras 2G y 2H). Los valores promedio fueron 38.69 ( $\pm 2.92$ ), 38.06 ( $\pm 3.04$ ), 42.47 ( $\pm 2.01$ ) y 40.86 ( $\pm 3.86$ ) % en cáscara y 23.83 ( $\pm 2.08$ ), 22.82 ( $\pm 1.90$ ), 32.58 ( $\pm 4.61$ ) y 29.68 ( $\pm 2.91$ ) % en pulpa, para RcE, RsE, NcE y NsE, respectivamente. En la pulpa se observó un contraste significativo en este atributo entre frutos rojos y naranjas (Figura 2H). Sin embargo, a pesar de que el análisis estadístico también reportó diferencia significativa en el caso de la cáscara, tal contraste fue poco evidente (Figura 2G). En el caso de la pulpa, adicional al efecto dado por el tipo de fruto, se encontró que la acción de remover las espinas causó una modificación significativa de la luminosidad (Cuadro 1), pero cuando se compararon las medias se confirmó solamente para los frutos naranja (Figura 2H), donde  $L^*$  disminuyó 8.90 %.

La firmeza de fruto fue menor a 2 N, similar a los valores reportados por García-Cruz et al. (2016). La consistencia de los frutos de pitaya es percibida como muy suave



**Figure 4.** Postharvest behavior of total soluble solids (A), pH (B), and titratable acidity (C) in fruit of *S. pruinosus* of red flesh with (RwT) and without thorns (RoT), and fruit of orange flesh with (OwT) and without thorns (OoT). Different lowercase letters indicate significant difference between treatments. HSD is honest significant difference and applies to treatment comparison. Symbols \* and ns indicate significant and non-significant ( $\alpha = 0.05$ ) change of the treatment over storage time.

**Figura 4.** Comportamiento postcosecha de los sólidos solubles totales (A), pH (B) y acidez titulable (C) en frutos de *S. pruinosus* de pulpa roja con (RcE) y sin espinas (RsE), y frutos de pulpa naranja con (NcE) y sin espinas (NsE). Letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. DMSH = diferencia mínima significativa honesta. \* y ns indican cambio significativo y no significativo ( $\alpha = 0.05$ ) del tratamiento durante el tiempo de almacenamiento.

al tacto (datos no mostrados), y los valores de firmeza encontrados confirmaron que son materiales muy frágiles; esto los hace susceptibles a daño mecánico, especialmente por la acción punzante de las espinas. Esta característica debería ser tomada en cuenta en el diseño del empaque para el manejo postcosecha.

La firmeza no fue afectada por el tipo de fruto o por la remoción de espinas ( $P > 0.05$ ), pero sí por el tiempo de almacenamiento (Cuadro 1). Este atributo mecánico decreció conforme los días transcurrieron (Figuras 2I y 2J), a tasas de 0.083, 0.039, 0.044 y 0.054 N por día en cáscara y de 0.040, 0.028, 0.035 y 0.024 N por día en pulpa de los tratamientos RcE, RsE, NcE y NsE, respectivamente. Este fenómeno de pérdida de firmeza después de la cosecha ha sido observado en otros frutos de cactáceas como la tuna (Ochoa-Velasco & Guerrero-Beltrán, 2014) y aquéllos de *Hylocereus undatus* (Osuna-Enciso et al., 2011; Zahid, Ali, Siddiqui, & Maqbool, 2013).

El ablandamiento del fruto está asociado con la degradación de componentes de la pared celular mediante mecanismos enzimáticos, pero también con la pérdida de turgencia causada por transpiración (Brummell, 2006; Smith, Waldron, Maness, & Perkins-Veazie, 2003). En el caso de pitaya, debido a su comportamiento no climatérico (Armella et al., 2003), los frutos son cosechados en madurez de consumo, cuando los cambios de firmeza asociados con la maduración (Paul, Pandey, & Srivastava, 2012) ya han ocurrido. Sin embargo, el comportamiento encontrado en el presente estudio sugiere que la pérdida de consistencia es un fenómeno que continúa incluso en la fase de senescencia.

### Variables químicas

Los SST fueron afectados sólo por el tipo de fruto, rojo o naranja, ya que no se observó efecto significativo derivado de la remoción de espinas o del tiempo de almacenamiento (Cuadro 1), lo cual fue atribuido al comportamiento no climatérico del fruto (Reid, 2002). Los valores más altos se encontraron en frutos naranja, con  $11.31 (\pm 2.07) ^\circ\text{Brix}$  en NcE y  $11.46 (\pm 2.09) ^\circ\text{Brix}$  en NsE, y los más bajos en frutos rojos con  $10.69 (\pm 1.25) ^\circ\text{Brix}$  en RcE y  $9.69 (\pm 1.40) ^\circ\text{Brix}$  en RsE (Figura 4A). En general, el contenido fue similar a lo reportado por García-Cruz et al. (2016) para esta misma especie.

En contraste con los SST, el pH y la acidez titulable no fueron afectados por ninguno de los factores de variación: tipo de fruto, remoción de espinas o tiempo de almacenamiento ( $P > 0.05$ ; Cuadro 1). Los valores promedio del pH fueron  $5.55 (\pm 0.40)$ ,  $5.50 (\pm 0.36)$ ,  $5.60 (\pm 0.35)$  y  $5.65 (\pm 0.31)$ , para los tratamientos RcE, RsE, NcE y NsE, respectivamente, mientras que los de acidez titulable (AT) fueron  $0.081 (\pm 0.023)$ ,  $0.084 (\pm 0.020)$ ,  $0.074 (\pm 0.028)$  y  $0.073 (\pm 0.025)$ , respectivamente (Figuras 4B y 4C).



Firmness of fruit was less than 2 N and this was similar to values reported by García-Cruz et al. (2016). The pitaya fruit have consistency that is perceived as very soft when they are touched (data not shown) and the firmness values found confirmed that they are very fragile materials, which makes them susceptible to mechanical damage, especially for the puncturing action of thorns, and this should be taken into account in the design of packaging for postharvest handling.

Firmness was not affected by the type of fruit or by the removal of thorns ( $P > 0.05$ ), but it was affected by storage time (Table 1), because this mechanical attribute decreased as days passed (Figures 2I and 2J), at rates of 0.083, 0.039, 0.044, and 0.054 N per day in skin, and 0.040, 0.028, 0.035, and 0.024 N per day in flesh of fruit of treatments RWT, RoT, OwT, and OoT, respectively. This phenomenon of loss of firmness after harvest has been observed in other cactaceae fruit like prickly pear (Ochoa-Velasco & Guerrero-Beltrán, 2014) and those of *Hylocereus undatus* (Osuna-Enciso et al., 2011; Zahid, Ali, Siddiqui, & Maqbool, 2013).

Fruit softening is associated with degradation of cell wall components through enzymatic mechanisms, but also with the turgor loss caused by a transpiration phenomenon (Brummell, 2006; Smith, Waldron, Maness, & Perkins-Veazie, 2003). In the case of pitaya, due to a non-climacteric behavior (Armella et al., 2003), fruit are harvested at consumption maturity, when changes of firmness associated with ripening (Paul, Pandey, & Srivastava, 2012) have already occurred. However, the behavior found in the present work suggests that the loss of consistency is a phenomenon that continues even in the senescence phase.

### Chemical variables

Total soluble solids (TSS) were only affected by the type of fruit, red or orange, as there was no significant effect derived from the removal of thorns or storage time (Table 1), and this was attributed to the non-climacteric behavior of fruit (Reid, 2002). The highest values were found in orange fruit, with 11.31 ( $\pm 2.07$ ) °Brix in OwT and 11.46 ( $\pm 2.09$ ) °Brix in OoT, and the lowest in red fruit, with 10.69 ( $\pm 1.25$ ) °Brix in RWT and 9.69 ( $\pm 1.40$ ) °Brix in RoT (Figure 4A). In general, the content was similar to that reported by García-Cruz et al. (2016) for this same species.

In contrast to this behavior, pH and titratable acidity were not affected by any of the variation factors, fruit type, thorn removal or storage time ( $P > 0.05$ ; Table 1). Average values of pH were 5.55 ( $\pm 0.40$ ), 5.50 ( $\pm 0.36$ ), 5.60 ( $\pm 0.35$ ), and 5.65 ( $\pm 0.31$ ), for treatments RWT, RoT, OwT, and OoT, respectively, while those of titratable acidity (TA) were 0.081 ( $\pm 0.023$ ), 0.084 ( $\pm 0.020$ ), 0.074 ( $\pm 0.028$ ), and 0.073 ( $\pm 0.025$ ), respectively (Figures 4B and 4C).

De acuerdo con Famiani, Battistelli, Moscatello, Cruz-Castillo, y Walker (2015), los ácidos más comunes en frutos son el cítrico y el málico. En la pitaya, los ácidos que imparten acidez no han sido determinados aún. Sin embargo, el contenido encontrado contrastó con el de otros frutos del género *Stenocereus*, como *S. stellatus* (García-Cruz et al., 2016) o el de otros frutos de cactáceas como la pitahaya (*Hylocereus* spp.; Rodríguez-Rodríguez, Patiño-Gutiérrez, Miranda-Lasprilla, Fisher, & Galvis-Venegas, 2005; Esquivel, Stintzing, & Carle, 2007). Los contenidos de ácido y azúcares juegan un papel importante en el sabor del fruto (Famiani et al., 2015). En el caso de los frutos de *S. pruinosus*, éstos son reconocidos por un sabor dulce dado por la alta relación SST/AT, la que en el presente estudio osciló entre 115.5 y 132.0 en frutos rojos y entre 152.8 y 157.0 en los naranja.

### Contenidos de betalainas, fenoles solubles totales y actividad antioxidante

El color exhibido por el fruto de pitaya es debido a la presencia de betalainas (García-Cruz et al., 2013), cuyo contenido varió de 4.51 a 4.87 mg·kg<sup>-1</sup> en frutos rojos y de 2.35 a 2.63 mg·kg<sup>-1</sup> en frutos naranja (Figura 5A). La diferencia entre ambos tipos de fruto fue significativa (Cuadro 1), lo cual es congruente con el contraste observado en la tonalidad de la pulpa y con el reporte de García-Cruz et al. (2016), quienes determinaron que en frutos rojos había cinco betalainas presentes, pero sólo cuatro de ellas fueron identificadas en frutos naranja. Además, no se observó efecto significativo causado por la remoción de espinas y, aunque en frutos naranja se observó gráficamente reducción en el contenido de betalainas durante el almacenamiento (Figura 5A), el análisis estadístico no confirmó la significancia de la modificación (Cuadro 1). Por otro lado, la falta de significancia en el efecto del almacenamiento sobre el contenido de betalainas explicó la constancia del ángulo de tono (h°) a lo largo del tiempo (Figuras 2C y 2D).

Los frutos de pitaya de pulpa roja y naranja también mostraron diferentes contenidos de FST; esta característica no fue afectada por la remoción de espinas (Cuadro 1). Los valores promedio de FST fueron 459.36 ( $\pm 87.79$ ), 386.61 ( $\pm 92.75$ ), 220.43 ( $\pm 36.15$ ) y 222.76 ( $\pm 79.66$ ) mg·kg<sup>-1</sup> en frutos de RcE, RsE, NcE y NsE, respectivamente; valores similares a los reportados por García-Cruz et al. (2016), quienes también presentan el contraste entre frutos con pulpa roja y naranja. Por otro lado, el contenido de FST disminuyó durante el almacenamiento, a una tasa de 13.86, 11.55, 5.92 y 10.08 mg·kg<sup>-1</sup> por día, respectivamente (Figura 5B). Estos resultados contrastaron con los reportados por García-Cruz et al. (2016), ya que ellos observaron que tales compuestos permanecieron constantes en contenido durante el almacenamiento, pero el periodo que ellos evaluaron fue de sólo seis días a 24 °C.

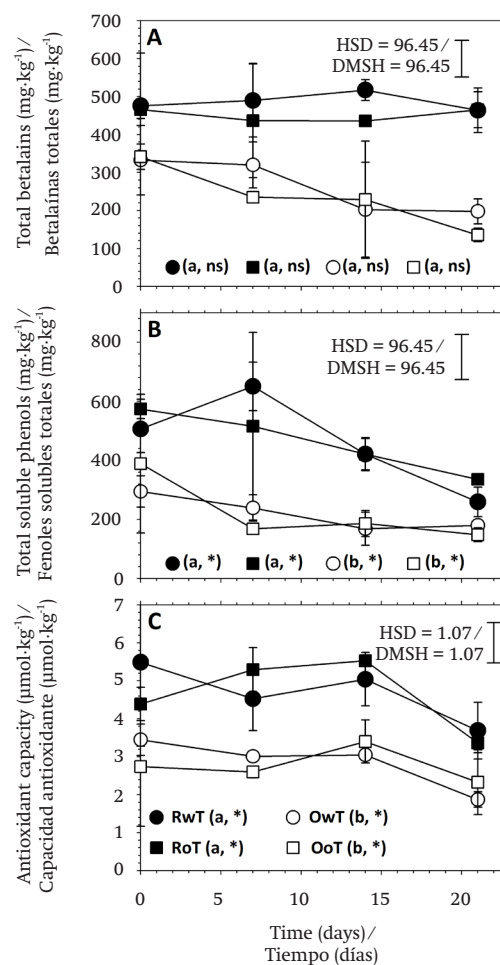


According to Famiani, Battistelli, Moscatello, Cruz-Castillo, and Walker (2015), the most common acids in fleshy fruits are citric and malic. In the case of pitaya fruit, the acids that impart sourness have not been determined yet. However, the content found contrasted with that of other fruit of the *Stenocereus* genus, like *S. stellatus* (García-Cruz et al., 2016) or that of other cactaceae fruit like pitahaya (*Hylocereus* spp.; Rodríguez-Rodríguez, Patiño-Gutiérrez, Miranda-Lasprilla, Fisher, & Galvis-Venegas, 2005; Esquivel, Stintzing, & Carle, 2007). The acid content and that of sugars play an important role in fruit flavor (Famiani et al., 2015). In the case of fruit of *S. pruinosus*, these are recognized by a sweet flavor, given by a high TSS/TA ratio, which in the present work varied between 115.5 and 132.0 in red fruit and between 152.8 and 157.0 in orange fruit.

### Contents of betalains, total soluble phenols, and antioxidant activity

The color exhibited by pitaya fruit is due to the presence of betalains (García-Cruz et al., 2013), which varied in content from 4.51 to 4.87 mg·kg<sup>-1</sup> in red fruit and from 2.35 to 2.63 mg·kg<sup>-1</sup> in orange fruit (Figure 5A). The difference between both types of fruit was significant (Table 1) and this was coherent with the contrast observed in tonality or hue angle of flesh and with the report of García-Cruz et al. (2016), who determined that in red fruit there were five betalains present, but only four of them were identified in orange fruit. In addition, there was no significant effect caused by thorn removal and, although in orange fruit a reduction during storage in the betalains content was visually observed in graphs (Figure 5A), the statistical analysis did not confirm the significance of the modification (Table 1). On the other hand, that lack of significance in the effect of storage time on betalains content explained the constancy of the hue angle (h°) over time (Figures 2C and 2D).

Pitaya fruit with red and orange flesh also showed different content of total soluble phenols (TSP) and this characteristic was not affected by thorn removal (Table 1). The average values of TSP content were 459.36 (± 87.79), 386.61 (± 92.75), 220.43 (± 36.15), and 222.76 (± 79.66) mg·kg<sup>-1</sup> in fruit of RwT, RoT, OwT, and OoT, respectively, and were similar to those obtained by García-Cruz et al. (2016), who also reported the contrast between fruit with red and orange flesh. On the other hand, TSP content diminished during storage, at a rate of 13.86, 11.55, 5.92, and 10.08 mg·kg<sup>-1</sup> per day, respectively (Figure 5B), and these results contrasted with those reported by García-Cruz et al. (2016) in the sense that they observed that such compounds remained constant in content during storage, but in fact the period that they evaluated was only of 6 d at 24 °C.



**Figure 5.** Postharvest behavior of total betalains content (A), total soluble phenols content (TSP, B), and antioxidant activity (C) in fruit of *S. pruinosus* of red flesh with (RwT) and without thorns (RoT), and fruit of orange flesh with (OwT) and without thorns (OoT). Different lowercase letters indicate significant difference between treatments. HSD is honest significant difference and applies to treatment comparison. Symbols \* and ns indicate significant and non-significant ( $\alpha=0.05$ ) change of the treatment during storage time. Values are in fresh weight.

**Figura 5.** Comportamiento postcosecha del contenido total de betalainas (A), contenido de fenoles solubles totales (FST, B) y actividad antioxidante (C) en frutos de *S. pruinosus* de pulpa roja con (RcE) y sin espinas (RsE), y frutos de pulpa naranja con (NcE) y sin espinas (NsE). Letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. DMSH = diferencia mínima significativa honesta. \* y ns indican cambio significativo y no significativo ( $\alpha = 0.05$ ) del tratamiento durante el tiempo de almacenamiento. Los valores corresponden a peso fresco.

The reduction of phenolic compounds in fruit has been commonly associated with the activity of enzymes like polyphenol oxidase and peroxidase (Tomás-Barberán & Espín, 2001). However, studies about the physiology and biochemistry of pitaya fruit are scarce and clarification of certain aspects related to biosynthesis and degradation of phenolic compounds still requires the development of additional research.

It is documented that both betalains and phenolic compounds exhibit antioxidant activity (Kaur & Kapoor, 2001; Azeredo, 2009) and, due to this, pitaya fruit can be considered as nutraceutical food (Wang, Melnyk, Tsao, & Marcone, 2011), which can increase the commercialization value in the fresh fruit market. In this regard, the antioxidant activity had average values of  $4.69 (\pm 0.72)$ ,  $4.64 (\pm 0.52)$ ,  $2.84 (\pm 0.36)$ , and  $2.77 (\pm 0.50) \mu\text{mol TE} \cdot \text{kg}^{-1}$  in fruit of RwT, RoT, OwT, and OoT, respectively. The difference between red and orange fruit was significant ( $P \leq 0.05$ ) but there was no important effect derived from thorn removal (Table 1).

On the other hand, antioxidant activity values remained largely constant during the first 14 d, but thereafter this attribute experienced a reduction of 26.54, 33.62, 40.89, and 20.04 % in RwT, RoT, OwT, and OoT, respectively (Figure 5C), when day 21 was reached. García-Cruz et al. (2016) suggested that the antioxidant potential of pitaya fruit is provided more by phenolic compounds and to a lesser extent by betalains. In the present work betalains content remained constant during storage, but TSP diminished, which strengthens the argument that the antioxidant activity is mostly provided by phenolic compounds.

### Shelf life

Shelf life is the period of time over which a food retains attributes at an acceptable level for consumption, considering nutritional aspects, sensory perception, physical and chemical properties, and those that affect safety (Hough, 2010; Institute of Food Science Technology [IFST], 1993). García-Cruz et al. (2016) determined the shelf life of *Stenocereus pruinosus* and *Stenocereus stellatus* fruit maintained at 24 °C to be about six days, because after that time fungal growth occurred. In the present work no microbial contamination was observed during storage and most quality attributes remained at approximately constant values derived from the non-climacteric nature of fruit (Armella et al., 2003). However, from day 12 of storage the weight loss rate increased in fruit where thorns were removed (Figure 2A). In addition, from day 14 the antioxidant capacity began to decline (Figure 5C) and, therefore, the nutraceutical potential of fruit (Wang et al. 2011) also diminished.

La reducción de compuestos fenólicos en frutos ha sido comúnmente asociada con la actividad de enzimas como polifenol oxidasa y peroxidasa (Tomás-Barberán & Espín, 2001). Sin embargo, estudios referentes a la fisiología y bioquímica del fruto de pitaya son escasos y la clarificación de ciertos aspectos relacionados con la biosíntesis y la degradación de compuestos fenólicos aún requiere del desarrollo de investigación adicional.

Está documentado que ambos, betalaínas y compuestos fenólicos, exhiben actividad antioxidante (Kaur & Kapoor, 2001; Azeredo, 2009) y, debido a esto, el fruto de pitaya puede ser considerado como alimento nutracéutico (Wang, Melnyk, Tsao, & Marcone, 2011), lo que puede aumentar el valor de comercialización en el mercado de frutos en fresco. A este respecto, la actividad antioxidante tuvo valores promedio de  $4.69 (\pm 0.72)$ ,  $4.64 (\pm 0.52)$ ,  $2.84 (\pm 0.36)$  y  $2.77 (\pm 0.50) \mu\text{mol ET} \cdot \text{kg}^{-1}$  en frutos de RcE, RsE, NcE y NsE, respectivamente. La diferencia entre los frutos rojos y los naranja fue significativa ( $P \leq 0.05$ ), pero no hubo efecto importante derivado de la remoción de espinas (Cuadro 1).

Por otro lado, los valores de la actividad antioxidante permanecieron prácticamente constantes durante los primeros 14 días, pero a partir de entonces este atributo experimentó reducción de 26.54, 33.62, 40.89 y 20.04 % en RcE, RsE, NcE y NsE, respectivamente (Figura 5C), para el día 21. García-Cruz et al. (2016) sugirieron que el potencial antioxidante del fruto de pitaya es provisto más por compuestos fenólicos y en menor medida por betalaínas. En el presente estudio el contenido de betalaínas permaneció constante durante el almacenamiento, pero los FST disminuyeron, lo cual fortalece el argumento de que la actividad antioxidante está dada, principalmente, por estos últimos.

### Vida de anaquel

La vida de anaquel es el periodo de tiempo durante el cual un alimento mantiene atributos a un nivel aceptable para su consumo, considerando aspectos nutricionales, percepción sensorial, propiedades físicas y químicas, y aquéllas que afectan la seguridad (Hough, 2010; Institute of Food Science Technology [IFST], 1993). García-Cruz et al. (2016) determinaron que la vida de anaquel de frutos de *Stenocereus pruinosus* y *Stenocereus stellatus* mantenidos a 24 °C es de alrededor de seis días; después de ese tiempo presentan crecimiento de hongos. En el presente estudio no se observó contaminación microbiana durante el almacenamiento y la mayoría de los atributos permanecieron casi constantes derivado de la naturaleza no climatérica del fruto (Armella et al., 2003). Sin embargo, a partir del día 12 de almacenamiento, la tasa de pérdida de peso aumentó en frutos en que las espinas fueron removidas (Figura 2A). Adicionalmente, a partir del día 14 la

In this regard, Andersson et al. (2015) pointed out that treatments focused on shelf life should take into account the preservation of bioactive compounds. Moreover, firmness in skin acquired values below 1 N after 12 days of storage (Figure 2I), and this phenomenon made fruit too fragile for handling in fresh condition. Therefore, based on these results, the handling period of pitaya fruit should not exceed 12-14 days at 12 °C after harvest. However, it should also be considered that in the present work a treatment with NaClO was applied before storage in order to reduce microbial load, and this might have contributed to the lengthening of shelf life. On the other hand, since thorn removal had a negligible impact on most quality attributes, it is advisable to carry out this practice immediately after harvest, in order to reduce the risk of mechanical damage by puncturing fruit.

## Conclusions

Handling at 12 °C caused a reduction in the metabolic activity of pitaya fruit, allowing lengthening of shelf life to a period between 12 and 14 days. The removal of thorns from fruit affected only the fruit weight loss rate and loss of lightness in skin, so it was considered an advisable practice. Based on the nutraceutical potential derived from antioxidant activity, consumption of fruit of *Stenocereus pruinosus* in fresh state is recommended.

*End of English version*

## References / Referencias

- Andersson, S. C., Ekholm, A., Johansson, E., Olsson, M. E., Sjöholm, I., Nyberg, L., Nilsson, A., & Rumpunen, K. (2015). Effect of storage time and temperature on stability of bioactive compounds in aseptically packed beverages prepared from rose hips and sea buckthorn berries. *Agricultural and Food Science*, 24(4), 273-288. Retrieved from <http://ojs.tsv.fi/index.php/AFS/article/view/49331>
- Armella, M. A., Yáñez-López, L., Soriano, S. J., & Ramírez, R. G. (2003). Phenology, postharvest, physiology and marketing of pitaya (*Stenocereus griseus* L.) as a sustainable resource. *Acta Horticulturae*, 598, 251-254. Retrieved from [http://wwwlib.teiep.gr/images/stories/acta/Acta%20598/598\\_37.pdf](http://wwwlib.teiep.gr/images/stories/acta/Acta%20598/598_37.pdf)
- Azeredo, H. M. C. (2009). Betalains: properties, sources, applications, and stability - a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 44(12), 2365-2376. doi: 10.1111/j.1365-2621.2007.01668.x
- Beltrán-Orozco, M., Oliva-Coba, T., Gallardo-Velázquez, T., & Osorio-Revilla, G. (2009). Ácido ascórbico, contenido fenólico, y capacidad antioxidante de las variedades roja, cereza, amarilla y blanca del fruto del cactus de

capacidad antioxidante comenzó a declinar (Figura 5C) y, por lo tanto, el potencial nutraceutico del fruto (Wang et al., 2011) también disminuyó.

Aunado a lo anterior, Andersson et al. (2015) señalaron que los tratamientos enfocados a vida de anaquel deberían tener en cuenta la preservación de compuestos bioactivos. Además, la firmeza en la cáscara adquirió valores por debajo de 1 N después de 12 días de almacenamiento (Figura 2I), y este fenómeno tornó al fruto demasiado frágil para manejo en fresco. Por lo tanto, con base en estos resultados, el periodo del fruto de pitaya no debería exceder de 12 a 14 días a 12 °C después de la cosecha. Sin embargo, también debería ser considerado que en el presente estudio se aplicó NaClO previo al almacenamiento con el propósito de reducir la carga microbiana, lo que pudo haber contribuido a la prolongación de la vida de anaquel. Por otro lado, debido a que la remoción de espinas no tuvo efecto significativo sobre la mayoría de los atributos de calidad, es aconsejable llevar a cabo esta práctica inmediatamente después de la cosecha, con objeto de reducir el riesgo de daño mecánico por punción en los frutos.

## Conclusiones

El manejo a 12 °C causó reducción en la actividad metabólica de los frutos de pitaya permitiendo la prolongación de la vida de anaquel a un periodo entre 12 y 14 días. La remoción de espinas de los frutos afectó únicamente la tasa de pérdida de peso del fruto y la pérdida de luminosidad de la cáscara, resultando en una práctica recomendable. Con base en el potencial nutraceutico derivado de la actividad antioxidante, el consumo en fresco de frutos de *Stenocereus pruinosus* es recomendable.

*Fin de la versión en español*

- la pitaya (*Stenocereus stellatus* Riccobono). *Agrociencia*, 43(2), 153-162. Retrieved from <http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2009/feb-mar/art-7.pdf>
- Bravo-Hollis, H., & Sánchez-Mejorada, H. (1991). *Las cactáceas de México*, 3rd. ed. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Brummell, D. A. (2006). Cell wall disassembly in ripening fruit. *Functional Plant Biology*, 33(2), 103-119. doi: 10.1071/FP05234
- Castellanos-Santiago, E., & Yahia, E. M. (2008). Identification and quantification of betalains from the fruit of 10 Mexican prickly pear cultivars by high-performance liquid chromatography and electrospray ionization mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(14), 5758-5764. doi: 10.1021/jf800362t
- Esquivel, P. (2004). Los frutos de las cactáceas y su potencial como materia prima. *Agronomía Mesoamericana*, 15(2),



- 215-219. Retrieved from <http://www.redalyc.org:9081/articulo.oa?id=43715212>
- Esquivel, P., Stintzing, F. C., & Carle, R. (2007). Comparison of morphological and chemical fruit traits from pitaya genotypes (*Hylocereus* sp.) grown in Costa Rica. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 81(1), 7-14. Retrieved from <http://pub.jki.bund.de/index.php/JABFQ/article/view/2103>
- Famiani, F., Battistelli, A., Moscatello, S., Cruz-Castillo, J. G., & Walker, R. P. (2015). The organic acids that are accumulated in the flesh of fruits: occurrence, metabolism and factors affecting their contents – a review. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 21(2), 97-128. doi: 10.5154/r.rchsh.2015.01.004
- García-Cruz, L., Valle-Guadarrama, S., Salinas-Moreno, Y., & Joaquín-Cruz, E. (2013). Physical, chemical, and antioxidant activity characterization of pitaya (*Stenocereus pruinosus*) fruit. *Plant Foods for Human Nutrition*, 68(4), 403-410. doi: 10.1007/s11130-013-0391-8
- García-Cruz, L., Valle-Guadarrama, S., Salinas-Moreno, Y., & Luna-Morales, C. C. (2016). Postharvest quality, soluble phenols, betalains content, and antioxidant activity of *Stenocereus pruinosus* and *Stenocereus stellatus* fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 111, 69-76. doi: 10.1016/j.postharvbio.2015.07.004
- Hernández-Muñoz, P., Almenar, E., del Valle, V., Velez, D., & Gavara, R. (2008). Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria × ananassa*) quality during refrigerated storage. *Food Chemistry*, 110(2), 428-435. doi:10.1016/j.foodchem.2008.02.020
- Horwitz, W. (1980). *Methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. 13rd. ed. Washington, USA: AOAC. Retrieved from <https://archive.org/details/gov.law.aoc.methods.1980>
- Hough, G. (2010). *Sensory shelf life estimation of food products*. Boca Raton, FL: CRC Press. Retrieved from <https://www.crcpress.com/Sensory-Shelf-Life-Estimation-of-Food-Products/Hough/9781420092912>
- Institute of Food Science Technology (1993). *Shelf life of foods: Guidelines for its determination and prediction*. London, UK: Institute of Food Science & Technology. Retrieved from <http://trove.nla.gov.au/work/15949364?selectedversion=NBD9856494>
- Kaur, C., & Kapoor, H. C. (2001). Antioxidants in fruits and vegetables – The millennium's health. *International Journal of Food Science and Technology*, 36(7), 703-725. doi: 10.1111/j.1365-2621.2001.00513.x
- Luna-Morales, C. (2007). Ordenación y clasificación morfológica del fruto de cultivares mixtecos de pitaya (*Stenocereus pruinosus*) en México. *Agrociencia Uruguay*, 11(2), 10-16. Retrieved from [www.fagro.edu.uy/agrociencia/index.php/directorio/article/view/187](http://www.fagro.edu.uy/agrociencia/index.php/directorio/article/view/187)
- Luna-Morales, C. C. (2006). Clasificación y ordenación morfológica del fruto de variantes cultivadas de pitaya [*Stenocereus pruinosus* (Otto) Buxb.] en la Mixteca Baja, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 12(2), 245-250. Retrieved from [http://www.chapingo.mx/revistas/horticultura/contenido.php?id\\_revista\\_numero=6](http://www.chapingo.mx/revistas/horticultura/contenido.php?id_revista_numero=6)
- Maguire, K. M., Banks, N. H., & Opara, L. U. (2010). Factors affecting weight loss of apples. *Horticultural Reviews*, 25, 197-234. doi: 10.1002/9780470650783.ch4
- Martínez-Villegas, Y. M., Andrade-Rodríguez, M., Villegas-Monter, A., Alia-Tejacal, I., Villegas-Torres, O. G., & López-Martínez, V. (2011). Cultivo in vitro de pitayo (*Stenocereus stellatus* [Pfeiffer] Riccobono). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 17(3), 95-105. doi: 10.5154/r.rchsh.2011.17.021
- McGuire, R. G. (1992). Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27(12), 1254-1255. Retrieved from <http://hortsci.ashspublications.org/content/27/12/1254.full.pdf+html>
- Nunes, M. C. N., & Emond, J. P. (2003). Storage temperature. 2nd. ed. In: Bartz, J. A., & Brecht, J. K. (Eds.), *Postharvest physiology and pathology of vegetables*. (pp. 209-228). Gainesville, FL: University of Florida. Retrieved from [https://books.google.com.mx/books?id=dgX6tRynZcEC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=dgX6tRynZcEC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Ochoa-Velasco, C. E., & Guerrero-Beltrán, J. A. (2014). Postharvest quality of peeled prickly pear fruit treated with acetic acid and chitosan. *Postharvest Biology and Technology*, 92, 139-145. doi: 10.1016/j.postharvbio.2014.01.023
- Osuna-Enciso, T., Ibarra-Zazueta, M. E., Muy-Rangel, M. D., Valdez-Torres, J. B., Villarreal-Romero, M., & Hernández-Verdugo, S. (2011). Calidad postcosecha de frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haw.) cosechados en tres estados de madurez. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 34(1), 63-72. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61017038008>
- Parra, F., Pérez-Nasser, N., Lira, R., Pérez-Salicrup, D., & Casas, A. (2008). Population genetics and process of domestication of *Stenocereus pruinosus* (Cactaceae) in the Tehuacán Valley, México. *Journal of Arid Environments*, 72(11), 1997-2010. doi: 10.1016/j.jaridenv.2008.06.007
- Paul, V., Pandey, R., & Srivastava, G. C. (2012). The fading distinctions between classical patterns of ripening in climacteric and non-climacteric fruit and the ubiquity of ethylene - an overview. *Journal of Food Science and Technology*, 49(1), 1-21. doi: 10.1007/s13197-011-0293-4
- Reid, M. S. (2002). Maturation and maturity indices. 3rd. ed. In: Kader, A. A. (Ed.), *Postharvest technology of horticultural crops* (pp. 55-62). California, USA: University of California. Retrieved from [http://postharvest.ucdavis.edu/bookstore/Postharvest\\_Technology\\_of\\_Horticultural\\_Crops/](http://postharvest.ucdavis.edu/bookstore/Postharvest_Technology_of_Horticultural_Crops/)
- Rodríguez-Rodríguez, D. A., Patiño-Gutiérrez, M. P., Miranda-Lasprilla, D., Fisher, G., & Galvis-Venegas, J. A. (2005). Efecto de dos índices de madurez y dos temperaturas de almacenamiento sobre el comportamiento en poscosecha de la pitahaya amarilla (*Selenicereus melaganthus* Haw.). *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*, 58(2), 2837-2857. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179914237004>



- Rodríguez, S., Casóliba, R. M., Questa, A. G., & Felker, P. (2005). Hot water treatment to reduce chilling injury and fungal development and improve visual quality of two *Opuntia ficus indica* fruit clones. *Journal of Arid Environments*, 63(2), 366-378. doi: 10.1016/j.jaridenv.2005.03.020
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144-158. Retrieved from <http://www.ajevonline.org/content/16/3/144.abstract>
- Smith, A. C., Waldron, K. W., Maness, N., & Perkins-Veazie, P. (2003). Vegetable texture: measurement and structural implications. 2nd. ed. In: Bartz, J. A., & Brecht, J. K. (Eds.), *Postharvest physiology and pathology of vegetables*. (pp. 297-329). Gainesville, FL.: University of Florida. Retrieved from [https://books.google.com.mx/books?id=dgX6tRynZcEC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=dgX6tRynZcEC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false).
- Tomás-Barberán, F. A., & Espín, J. C. (2001). Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(9), 853-876. doi: 10.1002/jsfa.885
- Wang, S., Melnyk, J. P., Tsao, R., & Marccone, M. F. (2011). How natural dietary antioxidants in fruit, vegetables and legumes promote vascular health. *Food Research International*, 44(1), 14-22. doi: 10.1016/j.foodres.2010.09.028.
- Wu, L. C., Hsu, H. W., Chen, Y. C., Chiu, C. C., Lin, Y. I., & Ho, J. A. (2006). Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya. *Food Chemistry*, 95(2), 319-327. doi: 10.1016/j.foodchem.2005.01.002
- Zahid, N., Ali, A., Siddiqui, Y., & Maqbool, M. (2013). Efficacy of ethanolic extract of propolis in maintaining postharvest quality of dragon fruit during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 79, 69-72. doi: 10.1016/j.postharvbio.2013.01.003