

# SYMPTOMS AND SENSITIVITY TO CHILLING INJURY OF PITAHAYA (*Hylocereus undatus* (HAW.) BRITTON & ROSE) FRUITS DURING POSTHARVEST

## SÍNTOMAS Y SENSIBILIDAD AL DAÑO POR FRÍO DE FRUTOS DE PITAHAYA (*Hylocereus undatus* (HAW.) BRITTON & ROSE) DURANTE LA POSTCOSECHA

Rosendo Balois-Morales<sup>1</sup>, Cecilia B. Peña-Valdivia<sup>2\*</sup>, V. Baruch Arroyo-Peña<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Unidad de Tecnología de Alimentos, Secretaría de Investigación y Posgrado. Universidad Autónoma de Nayarit. México. (rosendobm@colpos.mx). <sup>2</sup>Botánica, Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México. (cecilia@colpos.mx). <sup>3</sup>The University of Kansas, Department of Ecology and Evolutionary Biology, Lawrence, Kansas 66045. (vbap@ku.edu).

### ABSTRACT

Dragon fruit or pitahaya (*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose) is an exquisite and exotic fruit with attractive aroma and flavor, and a characteristic red-skinned color. Its production and supply for regional and foreign markets is limited to its storage life. The objective of this study was to evaluate physiological alterations and sensitivity to chilling injuries during postharvest of pitahaya. Fruits harvested at the Tehuacán Valley, Puebla, México, were stored at three postharvest temperatures: 3, 7, and 11±1 °C, for 7, 14, and 21 d and under these conditions plus a 4 d period at 22±1 °C. Evaluated fruits were then contrasted with fresh fruit (control 1), and non-cold stored fruits maintained 4 d at 22 °C (control 2). Variables were epicarp color, fruit firmness, total soluble solids (TSS), titratable acidity, and vitamin C content in the mesocarp; and a maturity index was calculated. The experimental design was completely randomized, with 10 repetitions, where one fruit was the experimental unit. Results were analyzed using ANOVA and treatment means were compared with the Tukey test. In order to recognize symptoms of chilling injury a multivariate data analysis of Principal-Component (PC) was also carried out. Control 1 fruits was red, with relatively low-lightness and bright suitably index of L\* 38, hue angle 38 and chroma 39. The color of control 2 fruits significantly changed compared to control 1 (L\* 46, hue angle 6, and chroma, 53). Fruit on cold storage maintained color, firmness (5 N), TSS (9.7 °Brix), acidity (0.37 g malic acid g<sup>-1</sup>), maturity index (42 °Brix g malic acid g<sup>-1</sup>) and vitamin C content (0.78 mg 100 g<sup>-1</sup>)

### RESUMEN

La pitahaya (*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose) es una fruta exquisita y exótica con aroma y sabor atractivos, y color de piel rojo característico. Su producción y suministro para los mercados regionales y extranjeros son limitados por su vida de anaquel. El objetivo de este estudio fue evaluar las alteraciones fisiológicas y la sensibilidad al daño por frío en la pitahaya durante la postcosecha. Frutos cosechados en el Valle de Tehuacán, Puebla, México, se almacenaron a tres temperaturas postcosecha: 3, 7 y 11±1 °C, por 7, 14 y 21 d, y en estas condiciones más un periodo de 4 d a 22±1 °C. Los frutos evaluados se compararon con frutos frescos (testigo 1), y los frutos almacenados sin frío se conservaron 4 d a 22 °C (testigo 2). Las variables fueron color del epicarpio, firmeza del fruto, sólidos solubles totales (SST), acidez titulable y contenido de vitamina C en el mesocarpio; y se calculó el índice de madurez. El diseño experimental fue completamente aleatorio, con 10 repeticiones, y un fruto fue la unidad experimental. Los resultados se analizaron con ANDEVA y las medias de los tratamientos se compararon con la prueba de Tukey. Para reconocer los síntomas del daño por frío se realizó un análisis multivariado de componentes principales (CP). Los frutos del testigo 1 fueron rojos, con luminosidad relativamente baja y un índice de brillantez adecuada de L\* 38, ángulo de tonalidad 38 y cromina 39. El color de los frutos del testigo 2 cambió significativamente en relación al testigo 1 (L\* 46, ángulo de tonalidad 6 y cromina 53). Los frutos en almacenamiento frío conservaron color, firmeza (5 N), SST (9.7 °Brix), acidez (0.37 g ácido málico g<sup>-1</sup>), índice de madurez (42 °Brix g ácido málico g<sup>-1</sup>) y contenido de vitamina C (0.78 mg 100 g<sup>-1</sup>) parcialmente estables. Los cambios que dependieron de la temperatura y el tiempo de almacenamiento no

\* Author for correspondence ♦ Autor responsable.

Received: February, 2013. Approved: November, 2013.

Published as ARTICLE in *Agrociencia* 47: 795-813. 2013.

partially stable. Changes depending on temperature and time of storage did not follow identifiable trends. Chilling injury in pitahaya fruits does not occur progressively, and is higher under cold and room storage temperature. PC analysis indicated that 7 d of storage partially maintained fruits quality, regardless of the extra 4 d time at room temperature; thus, implying that postharvest handling of pitahaya fruits may extend its shelf life several days.

**Keywords:** acidity, color, firmness, total soluble solids, vitamin C.

## INTRODUCTION

There is an increasing global demand for traditional and rare fruits, which increases the gastronomic diversity as they provide new flavors, aromas, colors, and attractive appearance for consumers (Ortiz-Hernández and Carrillo-Salazar, 2012). This is the case of several edible fruits from the cactus families and they are eaten fresh and have high commercial value (Corrales-García, 2003). The pitahaya (*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose), a cactaceae native to México, Central, and South America, is a species naturally distributed in dry tropical climates, which produces a rare, attractive, and exquisite fruit. This is a complex fruit, which develops from the inferior ovary, has a round-like or ovoid shape, and covered with bracts; when ripe, develops a characteristic red epicarp color, white mesocarp, with embedded small black seeds (Figure 1).

Because of the increasing global demand of exotic fruits, pitahaya commercialization has enhanced its cultivation, as well as its economic and agronomic potential (Centurión *et al.*, 2008). Canada, Japan, USA and the EU annually import 1105 t. In México, its price is variable and can reach up to US \$ 6.1 kg<sup>-1</sup>, while in international markets it fluctuates between 22 and 26 US \$ kg<sup>-1</sup>; which suggests that its cultivation is profitable (Centurión *et al.*, 2008).

Fruit commercialization is affected by quality drop due to inappropriate post-harvest handling, which largely determines the economic outcome of fruit and vegetable marketing (Toivonen and Hodges, 2011). Pitahaya is a nonclimacteric fruit, with best flavor when harvested at full red color (Nerd *et al.*, 1999), showing fast postharvest quality deterioration under natural environmental conditions, decreasing

siguieron tendencias identificables. El daño por frío en frutos de pitahaya no ocurre progresivamente, y es mayor con almacenamiento frío y temperatura ambiente. El análisis CP indicó que 7 d de almacenamiento mantienen la calidad de los frutos parcialmente, independiente de los 4 d extra a temperatura ambiente; esto implica que el manejo postcosecha de los frutos de pitahaya puede extender la vida de anaquel por varios días.

**Palabras clave:** acidez, color, firmeza, sólidos solubles totales, vitamina C.

## INTRODUCCIÓN

Hay una demanda creciente global por frutas tradicionales y raras, que aumentan la diversidad gastronómica al proporcionar nuevos sabores, aromas, colores y apariencia atractiva para los consumidores (Ortiz-Hernández y Carrillo-Salazar, 2012). Este es el caso de varios frutos comestibles de las familias de cactáceas que se consumen frescos y tienen un valor comercial alto (Corrales-García, 2003). La pitahaya (*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose), una cactácea nativa de México, Centro y Sudamérica, es una especie distribuida naturalmente en climas tropicales secos, y produce un fruto raro, atractivo y exquisito. Es un fruto complejo, que se desarrolla del ovario inferior, tiene forma redonda u ovoide, y está cubierto de brácteas; cuando madura, desarrolla un color rojo característico en el epicarpio y blanco en el mesocarpio, con pequeñas semillas negras embebidas (Figura 1).

Debido a la demanda creciente de frutas exóticas, la comercialización de la pitahaya ha impulsado su cultivo, así como su potencial económico y agronómico (Centurión *et al.*, 2008). Canadá, Japón, EE.UU. y la UE importan anualmente 1105 t. En México, su precio es variable y puede llegar a \$ 6.1 dólares EE.UU. kg<sup>-1</sup>, mientras que en mercados internacionales fluctúa entre \$ 22 y 26 dólares EE.UU. kg<sup>-1</sup>, lo cual sugiere que su cultivo es rentable (Centurión *et al.*, 2008).

La comercialización del fruto es afectada por una calidad menor debida al manejo postcosecha inadecuado, que determina en gran medida el resultado económico del comercio de frutas y verduras (Toivonen y Hodges, 2011). La pitahaya es una fruta no climatérica, con mejor sabor cuando se cosecha completamente roja (Nerd *et al.*, 1999), que muestra



**Figure 1.** Ripe fruits of pitahaya (*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose) from Tehuacán Valley, Puebla, México.  
**Figura 1.** Frutos maduros de pitahaya (*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose) del Valle de Tehuacán, Puebla, México.

physical and chemical quality and its overall appearance; thus, its maximum commercial life may be less than 8 d (Centurión *et al.*, 1999). However, the useful life span can be increased by storing fruits at low temperatures (Ortiz-Hernández and Carrillo-Salazar, 2012). Information about cooling conditions for optimal conservation is needed to increase its lifespan, which will allow reaching markets away from production sites. Yet, chilling sensitivity, expressed as quickly firmness loss, was reported in pitahaya fruits at room temperature after 7 d of storage at 6-13 °C (Corrales-García, 2003). Plants may develop chilling injury as physiological, biochemical and cellular disorders when exposed to low but non-freezing temperatures. The full manifestations of stress become apparent only after fruits are re-placed on non-chilling temperatures (Toivonen and Hodges, 2011). The aim of this research was to evaluate the symptoms and sensitivity to chilling injury during postharvest of pitahaya fruits.

## MATERIALS AND METHODS

### Plant material

Pitahaya fruits, with the typical harvesting red color covering 80-100 % of the epicarp, were harvested at Tehuacán Valley, Puebla, México (18° 10' 12" N and 97° 21' 24" W, climate BS1hw "(w)(i) (g), 19 °C mean annual temperature, and 480 mm mean annual precipitation). Up to 20 kg of fruits were placed in disinfected plastic boxes, and transported (about 20 h) to

deterioro postcosecha rápido de la calidad en condiciones ambientales naturales, demeritando su calidad física y química y su apariencia general; así, su vida comercial máxima puede ser menos de 8 d (Centurión *et al.*, 1999). Sin embargo, su vida útil puede aumentar al almacenar los frutos en temperaturas bajas (Ortiz-Hernández y Carrillo-Salazar, 2012). Se requiere información sobre las condiciones de enfriamiento para la conservación óptima, para aumentar su vida de anaquel, que permitirá llegar a mercados lejos de sus lugares de producción. Pues su sensibilidad al enfriamiento, expresada como pérdida rápida de firmeza, se reportó en frutos de pitahaya a temperatura ambiente después de 7 d de almacenamiento entre 6 y 13 °C (Corrales-García, 2003). Las plantas pueden desarrollar daño por frío, como trastornos fisiológicos, bioquímicos y celulares al ser expuestas a temperaturas bajas pero no de congelamiento. La manifestación total del estrés se evidencia sólo después de colocar los frutos nuevamente en temperaturas no frías (Toivonen y Hodges, 2011). El objetivo de este estudio fue evaluar los síntomas y la sensibilidad al daño por frío durante la postcosecha de los frutos de pitahaya.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material vegetal

Frutos de pitahaya se cosecharon con el típico color rojo, cubriendo 80 a 100 % del epicarpio, en el Valle de Tehuacán,

the Colegio de Postgraduados, Montecillo Campus, Estado de México, México. A batch of 170 fruits with no apparent damage were separated into five groups of 34 fruits each (treatments): 1) one group was immediately analyzed (control 1 without storage); 2) another was kept 4 d at room temperature ( $22 \pm 1$  °C; control 2 without cold storage) and analyzed; 3) other was stored at  $3 \pm 1$  °C (90-95 % RH); 4) other was stored at  $7 \pm 1$  °C (90-95 % RH); 5) this was stored at  $11 \pm 1$  °C (90-95 % RH). The fruits stored at chilling temperatures were tested after 7, 14, and 21 d at storage, plus an additional second evaluation after the extra 4 d period at room temperature. The 4 d period intended to simulate a common commercialization scenario, where fruits remain in shelf after storage at low temperatures, to be exhibited to consumers for purchase, and then placed in fruit bowls before being consumed.

### Experimental design and statistical analysis

The experimental design was completely randomized with 10 repetitions, and each fruit was an experimental unit. Data were analyzed via ANOVA, and treatment means were compared with the Tukey test ( $p \leq 0.05$ ). To identify physical and chemical characteristics influenced by the cold storage, or symptoms of chilling injury in the pitahaya fruits, multivariate data analysis of Principal-Component (PC) were carried out: one PC with measurements data of cold storage fruit and control 1; other PC of cold storage fruit with the extra 4 d period at room temperature and the control 2 data. These were carried out using SAS/STAT® (version 9).

### Methodology

Two opposite zones (without bracts) at the equatorial region of the fruit were chosen to evaluate epicarp color quantified as reflected color in the Hunter ( $L^*a^*b^*$ ) color space, with a Hunter Lab colorimeter (D25-PC2, Hunter Laboratory, Inc., Reston, VA, USA). The  $a^*$  and  $b^*$  values were converted to hue angle ( $H = \tan^{-1}(b^*/a^*)$ ) and chroma ( $C = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ ). Firmness was determined using a Force Five (FDV-30) texturometer equipped with a conical support of 0.8 mm diameter. The equatorial zone of fruit was chosen to test shell strength to penetration, and results were expressed as N. The total soluble solids content (TSS) was determined in fruits juice according to AOAC official method (1990). The juice was extracted from 20 g of mesocarp, filtered through a sieve to remove seeds and fruit debris. TSS were determined in °Brix using a PR-100 refractometer (ATAGO, USA) (0-32 %) calibrated with distilled water. Acidity and vitamin C content was determined in fresh mesocarp according to AOAC official method (1990) and results were expressed as percentage of malic acid and as mg ascorbic acid  $100 \text{ g}^{-1}$  mesocarp.

Puebla, México ( $18^\circ 10' 12''$  N y  $97^\circ 21' 24''$  O, clima BS1hw “(w) (i) (g),  $19$  °C temperatura media anual y  $480$  mm precipitación promedio anual). Hasta  $20$  kg de frutos se colocaron en cajas de plástico desinfectadas, y se transportaron (alrededor de  $20$  h) al Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Estado de México, México. Un lote de  $170$  frutos sin daño aparente se separó en cinco grupos de  $34$  frutos cada uno (tratamientos): 1) un grupo se analizó de inmediato (testigo 1 sin almacenamiento); 2) otro se mantuvo  $4$  d a temperatura ambiente ( $22 \pm 1$  °C; testigo 2 sin almacenamiento en frío) y se analizó; 3) otro se almacenó a  $3 \pm 1$  °C (90-95 % HR); 4) otro se almacenó a  $7 \pm 1$  °C (90-95 % HR); 5) y otro se almacenó a  $11 \pm 1$  °C (90-95 % HR). Los frutos almacenados en temperaturas frías se probaron después de  $7$ ,  $14$  y  $21$  d de almacenamiento, más una evaluación adicional después del periodo extra de  $4$  d a temperatura ambiente. El periodo de  $4$  d pretendía simular un escenario de comercialización común, donde los frutos permanecen en anaquel después de almacenamiento a bajas temperaturas, para mostrarse a los consumidores para su compra, y después colocados en frutereros antes de ser consumidos.

### Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental fue completamente aleatorio con  $10$  repeticiones, y cada fruto fue una unidad experimental. Los datos se analizaron con ANDEVA y las medias de los tratamientos se compararon con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Para identificar las características físicas y químicas modificadas por el almacenamiento en frío, o los síntomas del daño por frío en los frutos de pitahaya, se realizaron análisis multivariado de datos de Componentes Principales (CP): un CP con datos de frutos en almacenamiento frío y el testigo 1; otro CP de frutos en almacenamiento frío y el periodo de  $4$  d extra a temperatura ambiental y los datos del testigo 2. Estos se realizaron con SAS/STAT® (versión 9).

### Metodología

Dos zonas opuestas (sin brácteas) en la región ecuatorial del fruto se eligieron para evaluar el color del epicarpio, cuantificado como color reflejado en el espacio de color Hunter ( $L^*a^*b^*$ ), con un colorímetro Hunter Lab (D25-PC2, Hunter Laboratory, Inc., Reston, VA, USA). Los valores de  $a^*$  y  $b^*$  se convirtieron en ángulo de tonalidad ( $H = \tan^{-1}(b^*/a^*)$ ) y cromía ( $C = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ ). La firmeza se determinó con un texturómetro Force Five (FDV-30), equipado con un soporte cónico de  $0.8$  mm de diámetro. La zona ecuatorial del fruto se eligió para examinar la resistencia de la cáscara a la penetración y los resultados se expresaron en N. El contenido de sólidos solubles totales (SST) se determinó en el

## RESULTS AND DISCUSSION

### Color

Fruit color, before storage (control 1), was red ( $L^*$  38), with a relatively low-lightness (hue angle 38) and suitably bright vivid coloration (chroma 39) (Figure 1A and white bars in Figure 2 A, C, D). Producers use color to decide time for harvest, but there is no

jugo del fruto, con base en el método oficial de AOAC (1990). El jugo se extrajo de 20 g de mesocarpio, filtrado por un colador para eliminar semillas y restos de tejido. Los SST se determinaron en °Brix con un refractómetro PR-100 (ATAGO, USA) (0-32 %) calibrado con agua destilada. La acidez y el contenido de vitamina C se determinó en mesocarpio fresco según el método oficial de AOAC (1990) y los resultados se expresaron como porcentaje de ácido málico y como mg ácido ascórbico  $100^{-1}$  g mesocarpio.

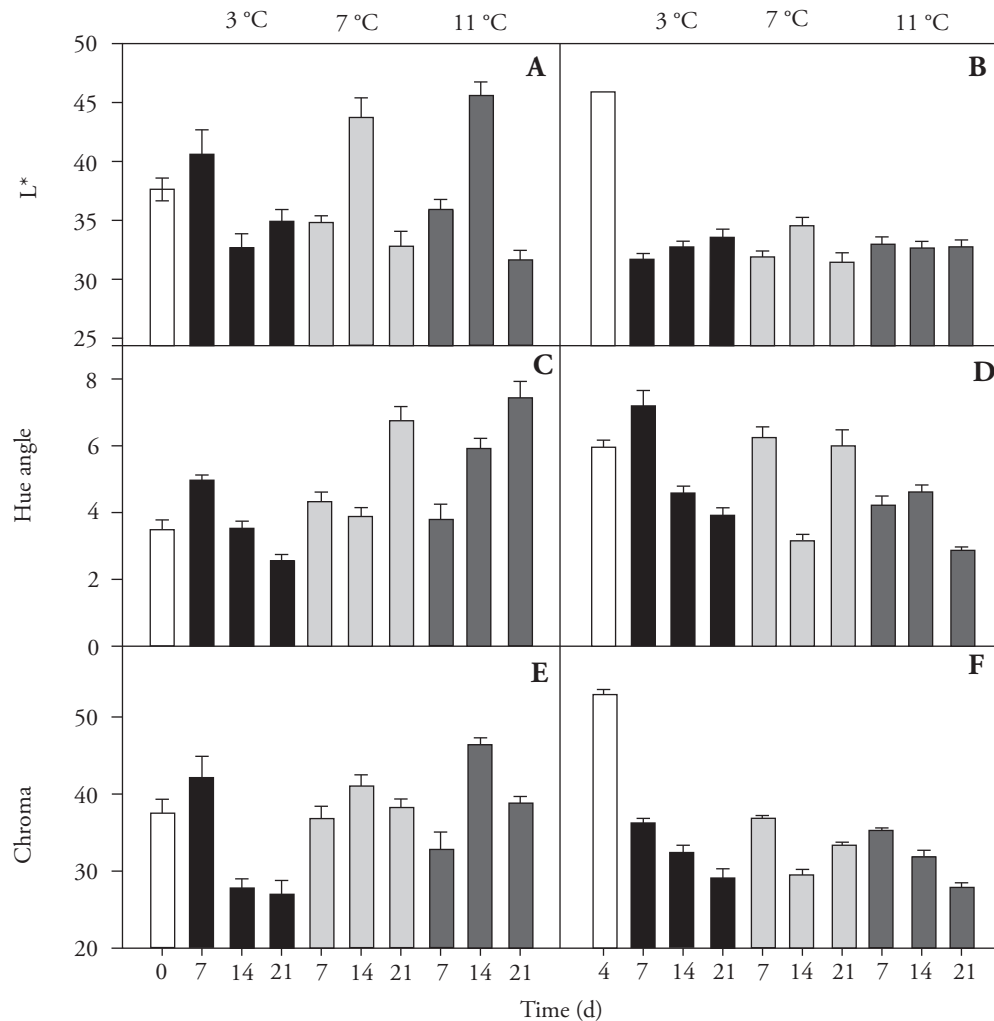


Figure 2. Epicarp color (as given by  $L^*$ , chroma and hue angle;  $\pm$  s.e.) of pitahaya (*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose) fruits stored at 3, 7 and  $11 \pm 1$  °C for 7, 14 and 21 d (A, C and E) or at the same temperatures and times and an extra period of 4 d at  $22 \pm 1$  °C (B, D and F). Control 1: 0 d, without storage and control 2: after 4 d at  $22 \pm 1$  °C (n=10).

Figura 2. Color del epicarpio (según  $L^*$ , cromía y ángulo de tonalidad;  $\pm$  e.e.) de frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose) almacenados a 3, 7 y  $11 \pm 1$  °C por 7, 14 y 21 d (A, C y E) o a las mismas temperaturas y tiempos, más un periodo extra de 4 d a  $22 \pm 1$  °C (B, D y F). Testigo 1: 0 d, sin almacenamiento y testigo 2: después de 4 d a  $22 \pm 1$  °C (n=10).

formal methodology to evaluate this characteristic, resulting in nonstandard maturity levels.

Color values are adequate parameters to describe the pitahaya fruit color at harvest time, as others plant tissues; however, during postharvest handling, mainly at room temperature, tissue senescence and oxidative stress negatively affect mesocarp quality (Balois *et al.*, 2007, 2008). Thus, color measurement could be used to determine optimal harvesting dates and optimal temperature for fruit storage, mainly because color is an important factor in the perception of pitahaya's fruit quality.

Color of fruits after 4 d at 22 °C (control 2; white bars in Figure 2 B, D and F) changed ( $p \leq 0.05$ ) compared to control 1, as shown by its higher values on  $L^*$ , chroma and hue angle. Thus, control 2 was significantly less dark, developed a more vivid coloration, but was slightly less red than control 1. These changes indicated that epicarp color is quite unstable on pitahaya fruits after harvest, and may be the result of fruit maturity. Still, some physiological characteristics, like activity of antisenescence enzymatic system *i.e.* catalase-superoxide dismutase (EC. 1.11.1.6 - EC. 1.15.1.1), and phenol content did not change (Balois-Morales *et al.*, 2007 and 2008) in batches of fruits under similar conditions compared to those in the present study.

Cold storage maintained the fruit epicarp color partially stable, and changes depending on temperature and time of storage did not follow identifiable trends.  $L^*$  is (lightness) an indicator of tissue darkening (from 0 to 100, from black to white); after 7 d in cold storage, fruits were significantly less dark than control 1, but fruits stored for longer time (Figure 2 A) and all cold treatments with an extra period of 4 d at 22 °C were also darker than control 1 (Figure 2 B). Hue angle did not change in several cold storage treatments compared to control 1, but drastically decrease ( $p \leq 0.05$ ) after 14 and 21 d at 3 °C (Figure 2 C). Fruits on cold storage after 4 d at 22 °C also decrease their hue angle compared to control 1 (Figure 2 C-D). With two exceptions, cold stored treatments and those with an extra period of 4 d at 22 °C developed a more vivid coloration than control 1, as evidenced by higher ( $p \leq 0.05$ ) values of chroma, even after 14 and 21 d in storage (Figure 2 E-F). This indicates that among the color values in harvested, fully red, ripe pitahaya fruits, hue angle is one of the most affected characteristics by cold storage; color

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Color

El color del fruto, antes del almacenamiento (testigo 1), fue rojo ( $L^*$  38), con luminosidad relativamente baja (ángulo de tonalidad 38) y coloración vívida adecuadamente brillante (croma 39) (Figura 1A y barras blancas en Figura 2 A, C, D). Los productores usan el color para decidir el momento de la cosecha, pero no hay una metodología formal para evaluar esta característica, lo cual resulta en niveles de madurez no estandarizados.

Los valores de color son parámetros adecuados para describir el color del fruto de pitahaya en la cosecha, como otros tejidos vegetales; sin embargo, durante el manejo postcosecha, principalmente a temperatura ambiente, la senescencia del tejido y el estrés oxidativo afectan negativamente la calidad del mesocarpio (Balois *et al.*, 2007, 2008). Así, la medición del color podría usarse para determinar las fechas óptimas de cosecha y la temperatura óptima para almacenar los frutos, principalmente porque el color es un factor importante en la percepción de la calidad del fruto de la pitahaya.

El color de los frutos después de 4 d a 22 °C (testigo 2; barras blancas en Figura 2 B, D y F) cambió ( $p \leq 0.05$ ) respecto al 1, como se muestra por sus valores más altos de  $L^*$ , croma y ángulo de tonalidad. Así, el testigo 2 fue significativamente menos oscuro, desarrolló una coloración más vívida, pero fue ligeramente menos rojo que el testigo 1. Estos cambios indicaron que el color del epicarpio es bastante inestable en los frutos de pitahaya después de la cosecha, y se puede deber a la maduración del fruto. Aun así, algunas características fisiológicas como la actividad del sistema enzimático antisenescencia, es decir catalasa-superóxido dismutasa (EC. 1.11.1.6 - EC. 1.15.1.1), y el contenido de fenoles no cambió (Balois-Morales *et al.*, 2007 y 2008) en lotes de frutos en condiciones similares a las del presente estudio.

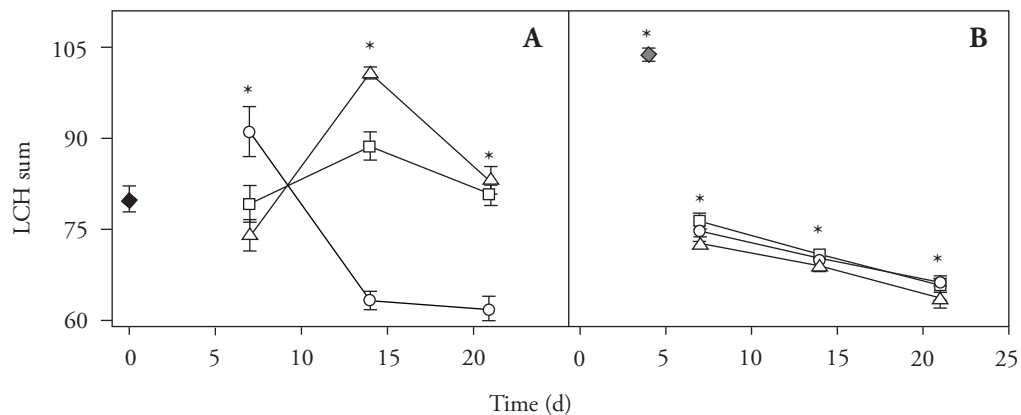
El almacenamiento en frío mantuvo el color del epicarpio del fruto parcialmente estable y los cambios dependientes de la temperatura y tiempo de almacenamiento no siguieron tendencias identificables.  $L^*$  (luminosidad) es un indicador tejido (de 0 a 100, de blanco a negro); después de 7 d en almacenamiento frío, los frutos fueron significativamente menos oscuros que el testigo 1, pero los frutos almacenados

changes were higher by the combination of cold and room temperature storage, and each of these changes did not occur progressively during storage.

Lightness ( $L^*$ ), hue angle and chroma contribute all together to the total color perception, and they are partially related among them. Brawner and Warmund (2008) calculated the  $L^* + \text{hue angle} + \text{chroma}$  sum (LHC sum) of husk and kernel color of several walnut cultivars to compare the accuracy of visual sorting with quantitative measurement. Warmund (2008) used the LHC sum to evaluate the effect of delayed hulling of fruits on kernel color at successive harvest dates. In order to evaluate the color changes on pitahaya fruit during storage the LHC sum was calculated (Figure 3). Total color changes of fruits increased or did not change during cold (3-11 °C) storage with storing time (7-21 d), but decayed after the longer storage (14-21 d) at the lower temperature (3 °C) (Figure 3 A), and also with cold storage plus 4 d at room temperature (Figure 3 B). The varying responses of  $L^*$ , hue angle and chroma during storage time in the last group of treatments (Figure 2 B, D and F) can be observed as a whole gradual (linear) color decrease, of the LHC sum, from day 7 to d 21 at cold storage with the extra period at

por más tiempo (Figura 2 A) y todos los tratamientos en frío con un periodo extra de 4 d a 22 °C también fueron más oscuros que el testigo 1 (Figura 1 B). El ángulo de tonalidad no cambió en varios tratamientos en frío comparados con el testigo 1, pero disminuyó drásticamente ( $p \leq 0.05$ ) después de 14 y 21 d a 3 °C (Figura 2 C). Los frutos en almacenamiento frío después de 4 d a 22 °C también disminuyeron su ángulo de tonalidad comparado con el testigo 1 (Figura 2 C-D). Con dos excepciones, los tratamientos de almacenamiento frío y aquellos con un periodo extra de 4 d a 22 °C desarrollaron una coloración más vívida que el testigo 1, demostrado por valores de croma más altos ( $p \leq 0.05$ ), incluso después de 14 y 21 d en almacenamiento (Figura 2 E-F). Esto indica que entre los valores de color en frutos de pitahaya, cosechados completamente rojos y maduros, el ángulo de tonalidad es una de las características más afectadas por el almacenamiento en frío; los cambios de color fueron mayores por la combinación de almacenamiento en frío y temperatura ambiente, y cada uno de estos cambios no ocurrió progresivamente durante el almacenamiento.

Luminosidad ( $L^*$ ), ángulo de tonalidad y croma contribuyen juntos a la percepción total del color,



**Figure 3.** Effect of temperature ( $\pm$  s.e.  $n=30$ ) and time of storage on color, as given by  $L^*$ , hue angle and chroma sum, of the pitahaya (*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose) fruits epicarp. Freshly harvested fruits (control 1;  $\blacklozenge$  in A), fruits after 4 d at room temperature ( $22 \pm 1$  °C; control 2;  $\blacklozenge$  in B), and fruits stored at 3 (○), 7 (□) and 11 (△)  $\pm 1$  °C (A), or stored under similar conditions and times plus a 4 d extra period at  $22 \pm 1$  °C (B). Asterisks indicate significance between one or more storage conditions and the control 1 (Tukey test,  $p \leq 0.05$ ; HSD: 0.127).

**Figura 3.** Efecto de la temperatura ( $\pm$  e.e.  $n = 30$ ) y el tiempo de almacenamiento en el color, dado por la suma de  $L^*$ , ángulo de tonalidad y croma, del epicarpio de frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose). Frutos recién cosechados (testigo 1;  $\blacklozenge$  en A), frutos después de 4 d a temperatura ambiente ( $22 \pm 1$  °C; testigo 2;  $\blacklozenge$  en B), y frutos almacenados a 3 (○), 7 (□) y 11 (△)  $\pm 1$  °C (A), o almacenados bajo condiciones y tiempos similares más un periodo extra de 4 d a  $22 \pm 1$  °C (B). Los asteriscos indican significancia entre una o más condiciones de almacenamiento y el testigo 1 (prueba de Tukey,  $p \leq 0.05$ ; HSD: 0.127).

room temperature (Figure 3 B). Color alterations on pitahaya epicarp were enhanced by the combined effect of cold and room temperatures, probably due to chilling injury, because plants native to tropical and subtropical climates, like pitahaya, may develop symptoms slowly during the actual chilling period, that are expressed much more clearly and quickly once the tissue is returned to non-chilling conditions (Lukatkin *et al.*, 2012). This is also, the most likely scenario on the actual consuming process most fruits go through in most households.

Pigments such as betalains, *e.g.* betacyanins (red or red-violet color) and betaxantins (yellow) are responsible for the red pigmentation in the pitahaya epicarp (Wybraniec and Mizrahi, 2002). These pigments are unstable and get discolored when fruits are exposed to light, extreme temperature and standard dry air (Soriano *et al.*, 2007). This pigments instability helps to explain changes of the pitahaya's external color, after some days at 22 °C (control 2). These are evidence of chilling injury, mainly once the fruits were returned to non-chilling conditions.

### Firmness

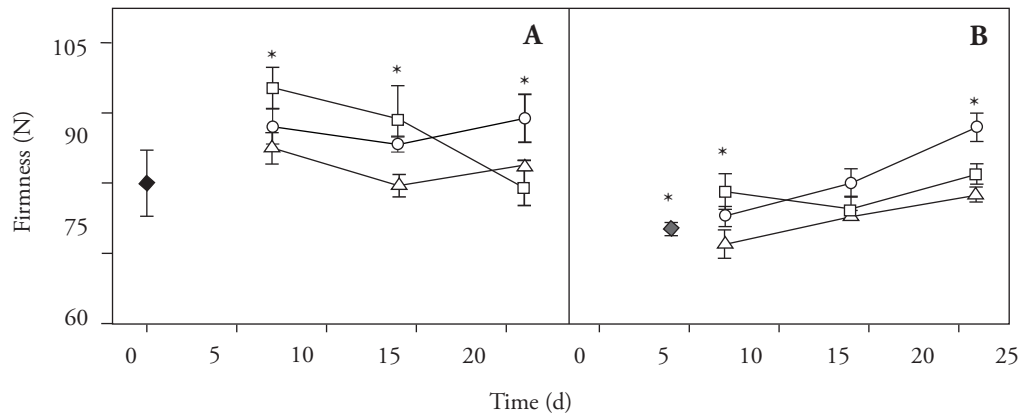
Firmness of the pitahaya fruit is one of the main quality characteristic that determines consumer acceptance. At the beginning of the study, firmness of control 1 was heterogeneous among samples (3.3-5.8 N), but its mean value (5 N) was adequate for harvest (Figure 4 A) according to Centurión *et al.* (2008). After 4 d at room temperature there was a small but significant firmness reduction (4.4 N); in contrast, cold storage increased it and higher storage temperature (7-11 °C) for longer time (14-21 d) did not modify it, as compared to control 1. In general, 4 d at room temperature after cold storage did not change firmness compared to control 1, with two exceptions: at the lowest and highest storage temperatures, for the longest and shortest time (Figure 4 A-B). These results showed that firmness is a more stable characteristic than fruit color through cold storage periods, and after, at room temperature (Figures 2 and 3).

These results partially contrast with those of Nerd *et al.* (1999) and Corrales-García (2003), where pitahaya firmness did not change after 7 d at 6, 8 or 13 °C, but quickly decayed at room temperature after cold storage. For this reason, they are considered

y están parcialmente relacionados. Brawner y Warmund (2008) calcularon la suma de  $L^*$  + ángulo de tonalidad + croma (suma LHC) del color de la cáscara y el grano de varias variedades de nuez para comparar la precisión de la clasificación visual con la medida cuantitativa. Warmund (2008) usó la suma LHC para evaluar el efecto del descascarado retrasado de los frutos en el color, en fechas de cosecha sucesivas. Para evaluar los cambios de color en el fruto de pitahaya durante el almacenamiento, se calculó la suma LHC (Figura 3). Los cambios totales de color de los frutos aumentaron o no cambiaron durante el almacenamiento en frío (3 a 11 °C) con el tiempo de almacenamiento (7 a 21 d), pero decayeron después del almacenamiento más largo (14 a 21 d) a la temperatura menor (3 °C) (Figura 3 A), y también con almacenamiento frío más 4 d a temperatura ambiente (Figura 3 B). Las respuestas diversas de  $L^*$ , ángulo de tonalidad y croma durante el tiempo de almacenamiento en el último grupo de tratamientos (Figura 2 B, D y F) se pueden observar como un decremento gradual (lineal) de color total, de la suma LHC, del día 7 al 21 en almacenamiento frío con el periodo extra a temperatura ambiente (Figura 3 B). Las alteraciones de color en el epicarpio aumentaron con el efecto combinado de temperaturas frías y ambiente, probablemente debido al daño por frío, porque las plantas nativas de climas tropical y subtropical, como la pitahaya, pueden desarrollar síntomas lentamente durante el periodo de enfriamiento, que se expresan mucho más clara y rápidamente cuando el tejido se regresa a las condiciones sin frío (Lukatkin *et al.*, 2012). Esto es también el escenario más probable del proceso de consumo por el cual la mayoría de las frutas pasan en la mayoría de los hogares.

Los pigmentos como las betalainas, betacyaninas (color rojo o rojo-violeta) y las betaxantinas (amarillo), son responsables de la pigmentación roja en el epicarpio de la pitahaya (Wybraniec y Mizrahi, 2002). Estos pigmentos son inestables y se descoloran cuando los frutos se exponen a la luz, a temperaturas extremas y al aire seco estándar (Soriano *et al.*, 2007). Esta inestabilidad de los pigmentos ayuda a explicar los cambios en el color externo de la pitahaya, después de algunos días a 22 °C (control 2). Estos son evidencia del daño por frío, principalmente una vez que los frutos regresan a condiciones sin frío.





**Figure 4.** Effects of storage temperature on the firmness of pitahaya (*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose) fruits ( $\pm$  s.e.  $n=10$ ). Recently harvested fruits ( $\blacklozenge$ , control 1 in A), fruits after 4 d at  $22 \pm 1$  °C ( $\blacklozenge$ , control 2 in B), and fruits stored at 3 (○), 7 (□) and 11 ( $\triangle$ )  $\pm 1$  °C (A), or stored at these three temperatures and an additional period of 4 d at room temperature (B). Asterisks indicate significance between one or more storage conditions and the control 1 (Tukey test,  $p \leq 0.05$ ; HSD: 0.069).

**Figura 4.** Efectos de la temperatura de almacenamiento en la firmeza de frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose) ( $\pm$  e.e.  $n=10$ ). Frutos recién cosechados ( $\blacklozenge$ , testigo 1 en A), frutos después de 4 d a  $22 \pm 1$  °C ( $\blacklozenge$ , testigo 2 en B), y frutos almacenados a 3 (○), 7 (□) y 11 ( $\triangle$ )  $\pm 1$  °C (A), o almacenados a estas tres temperaturas más un periodo adicional de 4 d a temperatura ambiente (B). Los asteriscos indican significancia entre una o más condiciones de almacenamiento y el testigo 1 (prueba de Tukey,  $p \leq 0.05$ ; HSD: 0.069).

as sensitive to chilling injury during postharvest. However, fruit reactions to environments during postharvest may vary due to their developing place, influencing their physiological characteristics at harvest and morphological characteristics as the epicarp thickness (Centurión *et al.*, 2008). Besides, significant interactions between temperature and storage time on the firmness of pitahaya fruits indicate that physiological alterations, *e.g.*, cell membranes damage and direct impact on firmness. This ultimately results in excessive and irreversible softening (Corrales-García and Canche-Canche, 2008). In the present study, chilling injury varied in speed and intensity and only the combination of lower temperature with longer storage time led to alterations in their mesocarp appearance, like darkening (Figure 5) and heterogeneity in firmness among experimental units within a treatment. Such were the case of treatments stored at 7 °C for 7 d (5.6-7.3 N, s.e. 0.31) and 14 d (4.3-N. s.e. 0.47; Figure 4 A).

#### Total soluble solids (TSS) and titratable acidity

The TSS in control 2 and control 1 (Figure 6 A-B) showed an interval ranging between 9 and

#### Firmeza

La firmeza de la fruta de pitahaya es una de las características de calidad principales que determina la aceptación del consumidor. Al principio del estudio, la firmeza del testigo 1 era heterogénea entre las muestras (3.3 a 5.8 N), pero su valor promedio (5 N) fue adecuado para la cosecha (Figura 4 A) según Centurión *et al.* (2008). Después de 4 d a temperatura ambiente hubo una reducción pequeña pero significativa en la firmeza (4.4 N); en contraste, el almacenamiento en frío la aumentó y una temperatura más alta de almacenamiento (7 a 11 °C) por más tiempo (14 a 21 d) no la modificó, comparado con el testigo 1. En general, 4 d a temperatura ambiente después del almacenamiento en frío no cambiaron la firmeza en comparación con el testigo 1, con dos excepciones: en las temperaturas menor y mayor, por los tiempos más largo y más corto (Figura 4 A-B). Estos resultados mostraron que la firmeza es una característica más estable que el color del fruto durante periodos de almacenamiento en frío, y después, a temperatura ambiente (Figuras 2 y 3).

Estos resultados difieren parcialmente de los de Nerd *et al.* (1999) y Corrales-García (2003), en los que la firmeza de la pitahaya no cambió después de



Figure 5. Pitaya (*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose) fruits from the Valley de Tehuacán, Puebla, México, with chilly injury (dark zones), due to the storage at  $3 \pm 1$  °C for 21 d.

Figura 5. Frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose) del Valle de Tehuacán, Puebla, México, con daño por frío (zonas oscuras), debido al almacenamiento a  $3 \pm 1$  °C por 21 d.

14 °Brix. This was similar to those reported in ripe pitahaya fruits (Castillo-Martínez *et al.*, 2005; Centurión *et al.*, 2008). The TSS increased (20 %) after 7 d of cold storage and only in fruits stored at 3 °C remained significantly ( $p \leq 0.05$ ) high with 14 and 21 d of storage, compared to control 1. In contrast, fruits stored at 7 and 11 °C for 14 and 21 d, and then placed on room temperature, diminished TSS (Figure 6 A-B), probably as a result of chilling injury (Figure 5).

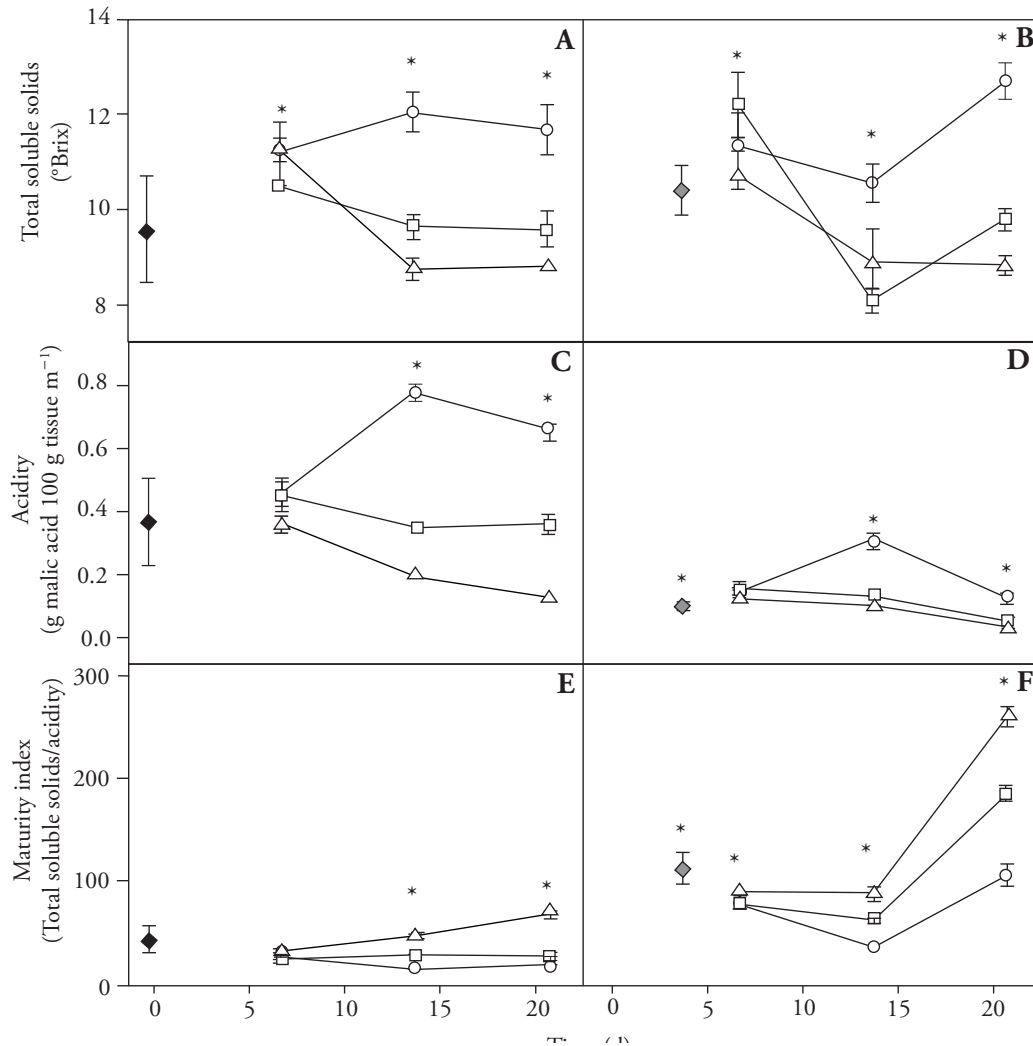
The TSS is a ripening index for some fruits, indicating the quantity of sugars making the greatest contribution, along other dissolved substances (such as acids and salts), to those found in fruits juice (Tasnim *et al.*, 2010). Cold damages may be diverse; some plant species accumulate sugars and TSS at low temperatures as a response mechanism to it in order to increase cold tolerance (Mundree *et al.*, 2002). Fruits of *H. undatus* and *H. polyrhizus* stored at  $6 \pm 1.6$  °C for one week, significantly increased sugars concentration and TSS simultaneously with color development (Nerd *et al.*, 1999). Thus, here the minor mesocarp damage in some treatments (mostly at 3 °C) agree with TSS increase from 16 to 20 °Brix, as in pitaya fruits (*Acanthocereus pitajaya*

7 d a 6, 8 o 13 °C, pero decayó rápidamente a temperatura ambiente después del almacenamiento. Por esta razón se considera que es sensible al daño por frío en postcosecha. Sin embargo, las reacciones de las frutas a los ambientes durante la postcosecha pueden variar debido a su lugar de desarrollo e influyen sus características fisiológicas al momento de la cosecha y las características morfológicas, como el grosor del epicarpio (Centurión *et al.*, 2008). Además, las interacciones significativas entre la temperatura y el tiempo de almacenamiento en la firmeza de los frutos de pitahaya indican que las alteraciones fisiológicas, por ejemplo el daño a membranas celulares, tienen un impacto directo en la firmeza. Esto en última instancia resulta en un reblandecimiento excesivo e irreversible (Corrales-García y Canche-Canche, 2008). En el presente estudio, el daño por frío varió en velocidad e intensidad y sólo la combinación de una temperatura menor con tiempo mayor por almacenamiento produjo alteraciones en la apariencia del mesocarpio, como oscurecimiento (Figura 5), y heterogeneidad en la firmeza entre unidades experimentales dentro del mismo tratamiento. Este fue el caso de los tratamientos almacenados a 7 °C por 7 d (5.6 a 7.3 N, e.e. 0.31) y 14 d (4.3 N. e.e. 0.47; Figura 4 A).

### Sólidos solubles totales (SST) y acidez titulable

Los SST en el control 2 y el control 1 (Figura 6 A-B) demostraron un intervalo de 9 a 14 °Brix. Este fue similar al reportado en frutos maduros de pitahaya (Castillo-Martínez *et al.*, 2005; Centurión *et al.*, 2008). Los SST aumentaron después de 7 d de almacenamiento en frío y sólo en frutos almacenados a 3 °C permanecieron significativamente altos ( $p \leq 0.05$ ) con 14 y 21 d de almacenamiento, en comparación con el control 1. En contraste, los frutos almacenados a 7 y 11 °C por 14 y 21 d, y después colocados a temperatura ambiente, disminuyeron en SST (Figura 6 A-B), probablemente como resultado del daño por frío (Figura 5).

Los SST son un índice de maduración para algunas frutas, indican la cantidad de azúcares, que hacen la mayor contribución, junto con otras sustancias disueltas (como ácidos y sales) que se encuentran en el jugo de fruta (Tasnim *et al.*, 2010). Los daños por frío pueden ser diversos; algunas especies de plantas acumulan azúcares y SST a temperaturas bajas como



**Figure 6.** Effects of storage temperature on the total soluble solids content, acidity and maturity index of pitaya (*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose) fruits ( $\pm$  s.e.;  $n=10$ ). Fresh fruits ( $\blacklozenge$ , control 1 in A, C and E), fruits after 4 d at  $22\pm 1^\circ\text{C}$  ( $\blacklozenge$ , control 2 in B, D and F), and fruits stored at  $3^\circ\text{C}$  ( $\circ$ ),  $7^\circ\text{C}$  ( $\square$ ) and  $11^\circ\text{C}$  ( $\triangle$ ) ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ) (A, C and E), or stored under similar conditions and times and an extra period of 4 d at  $22\pm 1^\circ\text{C}$  (B). Asterisks indicate significance between one or more storage conditions and the control 1 (Tukey test,  $p\leq 0.05$ ; HSD: TSS, 0.045; acidity, 0.113; maturity index: 0.124).

**Figura 6.** Efectos de la temperatura de almacenamiento en el contenido de sólidos solubles totales, acidez e índice de madurez de frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose) ( $\pm$  s.e.;  $n=10$ ). Frutos frescos ( $\blacklozenge$ , testigo 1 en A, C y E), frutos después de 4 d a  $22\pm 1^\circ\text{C}$  ( $\blacklozenge$ , testigo 2 en B, D y F), y frutos almacenados a  $3^\circ\text{C}$  ( $\circ$ ),  $7^\circ\text{C}$  ( $\square$ ) y  $11^\circ\text{C}$  ( $\triangle$ ) ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ) (A, C y E), o almacenados bajo condiciones y tiempos similares y un periodo extra de 4 d a  $22\pm 1^\circ\text{C}$  (B). Los asteriscos indican significancia entre una o más condiciones de almacenamiento y el testigo 1 (prueba de Tukey,  $p\leq 0.05$ ; HSD: TSS, 0.045; acidez, 0.113; índice de madurez: 0.124).

sensu Croizat) stored 9 d at  $2^\circ\text{C}$  (Dueñas *et al.*, 2009).

Control 2 significantly reduced its acidity to less than half of control 1 (Figure 6 C-D). At all tested temperatures, 7 d of cold storage did not affect acidity, which increased in fruits stored 14 and 21 d

un mecanismo de respuesta a ellas e incrementar la tolerancia al frío (Mundree *et al.*, 2002). Los frutos de *H. undatus* y *H. polyrhizus* almacenados a  $6\pm 1.6^\circ\text{C}$  por una semana aumentaron su concentración de azúcares y SST significativamente, simultáneamente con el desarrollo del color (Nerd *et al.*, 1999). Así el

at 3 °C compared to control 1, but did not increase after the 4 d extra time at room temperature. Storage at higher temperature during longer time did not decrease acidity (Figure 6 C), but the 4 d extra time at room temperature decreased it ( $p \leq 0.05$ ) to  $0.054 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$  (Figure 6 D).

Decrease in acidity during fruits ripening occurs usually along with sugars increase (Prasanna *et al.*, 2007). Titratable acidity dropped from 1.1 to 0.4 % of the malic acid content in pitahaya fruits during ripening, between 27 and 31 d after anthesis (when fruits are ready to harvest and have high visual consumer acceptance), even though TSS content showed no significant change (Centurión *et al.*, 2008). After 28 d of storage at 8 °C acidity of pitahaya slices remained almost unchanged (Vargas *et al.*, 2005). In contrast, acidity decreased in fruits of *H. undatus* and *H. polyrhizus* stored at 6 °C, between two and three weeks, and were then transferred to 20 °C (Nerd *et al.*, 1999). Maturity index of control 1 in the present study was similar to that reported by Centurión *et al.* (2008), but acid content was lower (near 50 %). These results suggest that the present maturity index (ratio of TSS content over acidity) would be appropriate to determine pitahaya maturity and quality during postharvest, rather than SST or acidity separately.

Four days at room temperature increased maturity index ( $p \leq 0.05$ ) of fruits more than twice (control 2 compared to control 1; Figure 6 E-F), which confirms a quick ripening of pitahaya fruit at that temperature. Cold storage (3-11 °C) up to a 21 d did not change ( $p > 0.05$ ) maturity index (Figure 6 E). Such conditions emulated an alternative shipping scenario for fresh pitahaya fruits, particularly from distant harvesting places. The additional 4 d period at room temperature after cold storage increased ( $p \leq 0.05$ ) maturity index compared to control 1, but when cold storage was a 14 d period the increase was lower than control 2 (Figure 6 F).

The maturity index of some harvested fruits is used to show the effect on post-harvest response during marketing. This is because maturity of harvested fruits interacts with the required trucking time for orchards to reach markets. For this reason, some fruits should be harvested at less advanced stage of maturity (Casierra-Posada *et al.*, 2004).

daño menor al mesocarpio en algunos tratamientos (generalmente a 3 °C) coincide con el aumento de SST de 16 a 20 °Brix, como en los frutos de pitaya (*Acanthocereus pitajaya* sensu Croizat) almacenados 9 d a 2 °C (Dueñas *et al.*, 2009).

El testigo 2 redujo su acidez significativamente a menos de la mitad del testigo 1 (Figura 6 C-D). En todas las temperaturas analizadas, 7 d de almacenamiento frío no afectaron la acidez, que aumentó en frutos almacenados 14 a 21 d a 3 °C respecto al testigo 1, pero no aumentó después del tiempo extra de 4 d a temperatura ambiente. El almacenamiento a una temperatura mayor durante más tiempo no disminuyó la acidez (Figura 6 C), pero el tiempo extra de 4 d a temperatura ambiente la disminuyó ( $p \leq 0.05$ ) a  $0.054 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$  (Figura 6 D).

El decremento de la acidez durante la maduración de los frutos usualmente ocurre junto con un aumento de azúcares (Prasanna *et al.*, 2007). La acidez titulable descendió de 1.1 a 0.4 % del contenido de ácido málico en frutos de pitahaya durante la maduración, entre 27 y 31 d después de la anthesis (cuando los frutos están listos para la cosecha y tienen aceptación visual alta por los consumidores), aunque el contenido de SST no mostró un cambio significativo (Centurión *et al.*, 2008). Después de 28 d de almacenamiento a 8 °C la acidez de rebanadas de pitahaya permaneció casi sin cambios (Vargas *et al.*, 2005). En contraste, la acidez disminuyó en frutos de *H. undatus* y *H. polyrhizus* almacenados a 6 °C, entre 2 y 3 semanas, y transferidos después a 20 °C (Nerd *et al.*, 1999). El índice de madurez del testigo 1 en el presente estudio fue similar al reportado por Centurión *et al.* (2008), pero el contenido de acidez fue menor (cerca de 50 %). Estos resultados sugieren que el índice de madurez presente (tasa de contenido de SST sobre acidez) sería apropiado para determinar la madurez de la pitahaya y la calidad durante la postcosecha, en lugar de los SST o la acidez por separado.

Cuatro días a temperatura ambiente aumentaron el índice de madurez ( $p \leq 0.05$ ) de los frutos a más del doble (testigo 2 comparado con testigo 1; Figura 6 E-F), lo cual confirma la maduración acelerada del fruto de la pitahaya a esa temperatura. El almacenamiento en frío (3 a 11 °C) hasta 21 d no cambió ( $p > 0.05$ ) el índice de madurez (Figura 6 E). Estas condiciones emularon un escenario alternativo de transporte para frutos frescos de pitahaya, particularmente desde lugares de cosecha lejanos. El periodo de

### Vitamin C

The vitamin C content did not change after 4 d at room temperature (control 2), neither did at 7 d at 3 °C, but at 7 and 11 °C it significantly ( $p \leq 0.05$ ) decreased. Longer storage to 3 °C increased vitamin content (almost 50 %) as compared to control 1. But with one exception, vitamin C content was similar to control 1 after longer storage time at higher storage temperatures (Figure 7 A-B). Fluctuations in vitamin C content due to cold storage changed after the additional 4 d at room temperature; 21 d at 3 and 11 °C increased vitamin C content (15 to 28 %) compared to control 1 (Figure 7 A-B). According to Lee and Kader (2000), species susceptible to low temperatures show significant vitamin C losses during storage. Still, results in the present study (Figure 7) showed that cold storage had little effect on pitahaya fruits, although 21 d of storage can increase vitamin C content.

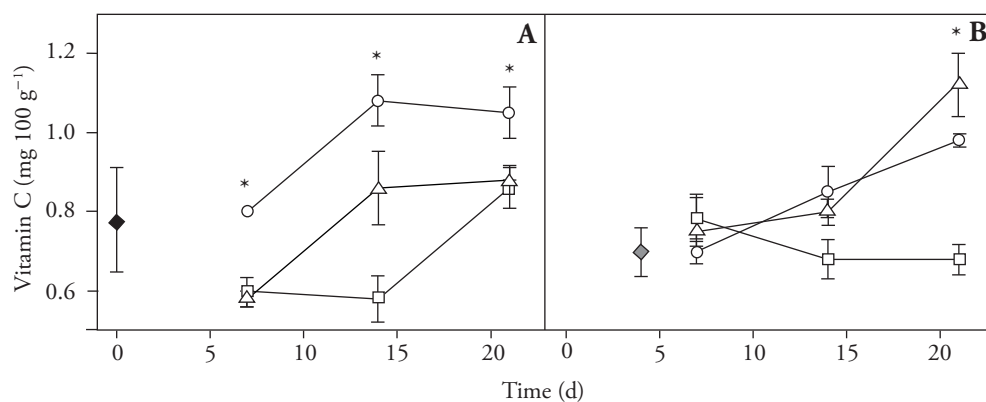
Results of this study are partially different to those of Corrales-García (2003), who showed that vitamin C content of freshly harvested pitahaya fruits is 4 to 14 mg 100<sup>-1</sup> g in mesocarp, and decreases during storage, to the point that they may become

4 d adicionales a temperatura ambiente después del almacenamiento en frío aumentó ( $p \leq 0.05$ ) el índice de madurez comparado con el testigo 1, pero cuando el almacenamiento en frío fue 14 d, el aumento fue menor que en el testigo 2 (Figura 6 F).

El índice de madurez de algunos frutos cosechados se usa para mostrar el efecto en la respuesta postcosecha durante la comercialización. Esto es porque la madurez de los frutos cosechados interactúa con el tiempo de transporte requerido para que los frutos lleguen a los mercados. Por esta razón, algunos frutos deben cosecharse en una etapa menos avanzada de la madurez (Casierra-Posada *et al.*, 2004).

### Vitamina C

El contenido de vitamina C no cambió después de 4 d a temperatura ambiente (testigo 2), ni a los 7 d a 3 °C, pero a 7 y 11 °C disminuyó significativamente ( $p \leq 0.05$ ). El almacenamiento mayor a 3 °C aumentó el contenido de vitamina (casi 50 %) comparado con el testigo 1. Con una excepción, el contenido de vitamina C fue similar al testigo 1 después de un tiempo de almacenamiento más largo a la temperatura menor de almacenamiento (Figura 7 A-B). Las



**Figure 7.** Effects of storage temperature on vitamin C content of pitahaya (*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose) fruits ( $\pm$  s.e.  $n=10$ ). Freshly harvested fruits ( $\blacklozenge$ , control 1 in A), fruits after 4 d at  $22 \pm 1$  °C ( $\blacklozenge$ , control 2 in B), and fruits stored at 3 (○), 7 (□) and 11 (△)  $\pm 1$  °C (A), or stored all these times and temperatures and an additional period of 4 d at room temperature (B). Asterisks indicate significance between one or more storage conditions and the control 1 (Tukey test,  $p \leq 0.05$ ; HSD: 0.133).

**Figura 7.** Efectos de la temperatura de almacenamiento en el contenido de vitamina C de frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose) ( $\pm$  e.e.  $n=10$ ). Frutos recién cosechados ( $\blacklozenge$ , testigo 1 en A), frutos después de 4 d a  $22 \pm 1$  °C ( $\blacklozenge$ , testigo 2 en B), y frutos almacenados a 3 (○), 7 (□) y 11 (△)  $\pm 1$  °C (A), o almacenados en todos estos tiempos y temperaturas y un periodo adicional de 4 d a temperatura ambiente (B). Los asteriscos indican significancia entre una o más condiciones de almacenamiento y el testigo 1 (prueba de Tukey,  $p \leq 0.05$ ; HSD: 0.133).

undetectable. In contrast, vitamin C content in the present study remained within the control intervals for all treatments. There is limited information to explain such differences, which might be due to the evaluated genotypes, environmental conditions during fruit development and cultivation site (soil type, nutrient availability).

The precise physiological function of vitamin C on plant cells is unclear (Kays and Paull, 2004), but it is used as a plant stress index. Temperature management after harvest is the most important factor to maintain vitamin C in fruits (Lee and Kader, 2000), because its loss is accelerated by high temperatures and long storage periods (Kays and Paull, 2004). In addition, the natural ripening process of the *H. undatus* fruits decreases significantly vitamin C ( $5 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ ) between 20 and 31 d since flower opening (Centurión *et al.*, 2008) and ( $7.0 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ ) during the period of color changes in fruits (Nerd *et al.*, 1999). A similar decrease ( $11.4 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ ) was observed in fruits of *H. polyrhizus* between 24 and 27 d after flowering (Nerd *et al.*, 1999). The results in this study showed that storage at  $11 \text{ }^\circ\text{C}$  constrain the natural content decline of vitamin C in pitahaya fruits during post-harvest.

### Principal-component analysis (PCA)

Two PCA were carried out: one with eight explanatory variables of control 1 and nine cold ( $3\text{-}11 \text{ }^\circ\text{C}$ ) storage treatments, for up to 21 d (section A on Table 1); and the second with the eight explanatory variables of a similar cold storage treatments followed by 4 d storage at room temperature (section B on Table 1) and control 2.

In the first PCA, the first three principal components (PCs) accounted for 79.61 % of the total variance (section A, Table 1). The PC1 accounted for 50.56 % of data variability, had high positive loadings on the acidity and vitamin C variables, and high negative loadings on the maturity index variable; this CP seems to evaluate the preponderance of fruits chemical composition over physical characteristics. According to it, cold storage increased acidity and vitamin C content, and confirmed a delay on fruit maturity which was one of the expected changes. The PC2 related to the stability of fruit quality during storage, as the second eigenvector had a high positive loading on the red coloration variable and a

fluctuaciones del contenido de vitamina C debidas al almacenamiento frío cambiaron después de los 4 d adicionales a temperatura ambiente; 21 d a  $3 \text{ y } 11 \text{ }^\circ\text{C}$  aumentaron el contenido de vitamina C (15 a 28 %) comparado con el testigo 1 (Figura 7 A-B). De acuerdo con Lee y Kader (2000), las especies susceptibles a las temperaturas bajas muestran pérdidas de vitamina C significativas durante el almacenamiento en frío. Pero los resultados del presente estudio (Figura 7) mostraron que el almacenamiento en frío tuvo poco efecto en los frutos de pitahaya, aunque 21 d de almacenamiento pueden aumentar el contenido de vitamina C.

Los resultados de este estudio son parcialmente diferentes a los de Corrales-García (2003), quien mostró que el contenido de vitamina C de frutos de pitahaya recién cosechados es  $4 \text{ a } 14 \text{ mg } 100^{-1} \text{ g}$  en el mesocarpio, y disminuye durante el almacenamiento, al grado de que puede volverse indetectable. En contraste, el contenido de vitamina C en el presente estudio permaneció dentro de los intervalos del control para todos los tratamientos. Hay información limitada para explicar tales diferencias que pueden deberse a los genotipos evaluados, las condiciones ambientales durante el desarrollo del fruto y el sitio de cultivo (tipo de suelo, disponibilidad de nutrientes).

La función fisiológica precisa de la vitamina C en las células vegetales no está clara (Kays y Paull, 2004), pero se usa como un índice de estrés en la planta. El manejo de la temperatura después de la cosecha es el factor más importante para conservar la vitamina C en las frutas (Lee y Kader, 2000), porque su pérdida aumenta con las temperaturas altas y los periodos de almacenamiento largos (Kays y Paull, 2004). Además, el proceso natural de maduración de los frutos de *H. undatus* disminuye significativamente la vitamina C ( $5 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ ) entre 20 y 31 d desde la apertura de las flores (Centurión *et al.*, 2008) y ( $7.0 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ ) durante el periodo de cambios de color en los frutos (Nerd *et al.*, 1999). Un decremento similar ( $11.4 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ ) se observó en frutos de *H. polyrhizus* entre 24 y 27 d después de la floración (Nerd *et al.*, 1999). Los resultados en este estudio mostraron que el almacenamiento a  $11 \text{ }^\circ\text{C}$  constriñe la disminución natural del contenido de vitamina C en frutos de pitahaya durante la postcosecha.

### Análisis de componentes principales (ACP)

Dos ACP fueron realizados: uno con ocho variables explicativas del testigo 1 y nueve tratamientos de

**Table 1. Proportion of the explained variance and eigenvalues for the first three principal components (PC), generated from physical and chemical characteristics of pitahaya (*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose) fruits stored at 3-11 °C for 7-21 d (A) or stored at 3-11 °C for 7-21 d with an extra period of 4 d at 22 °C (B).**

**Cuadro 1. Proporción de la varianza explicada y eigenvalores para los primeros tres componentes principales (CP), generados de características físicas y químicas del fruto de la pitahaya (*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose) almacenados a 3-11 °C por 7 a 21 d (A) o almacenados a 3-11 °C por 7 a 21 d con un periodo extra de 4 d a 22 °C (B).**

	A			B		
	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3
Variance	0.5056	0.6742	0.7961	0.3525	0.6084	0.7523
L*	-0.2217	-0.4537	<b>0.6879</b>	-0.1252	<b>0.5685</b>	0.3935
Chroma	-0.3780	0.1716	<b>0.5156</b>	0.2019	<b>0.6151</b>	-0.0255
Hue angle	-0.2479	<b>0.6339</b>	0.0553	0.3827	0.2042	-0.3991
Firmness	0.3169	0.1959	0.3575	-0.0993	-0.2978	<b>0.6711</b>
TSS†	0.1980	<b>-0.5117</b>	-0.0656	0.2396	0.0762	0.3110
Acidity	<b>0.4697</b>	0.0287	0.1402	<b>0.5423</b>	0.3110	0.2852
Maturity index	<b>-0.4595</b>	-0.1244	-0.1740	<b>-0.5148</b>	0.0292	-0.1954
Vitamin C	<b>0.4182</b>	0.2150	0.2751	0.4129	-0.4014	-0.1357

† TSS: total soluble solids content ♦ SST: contenido de sólidos solubles totales.

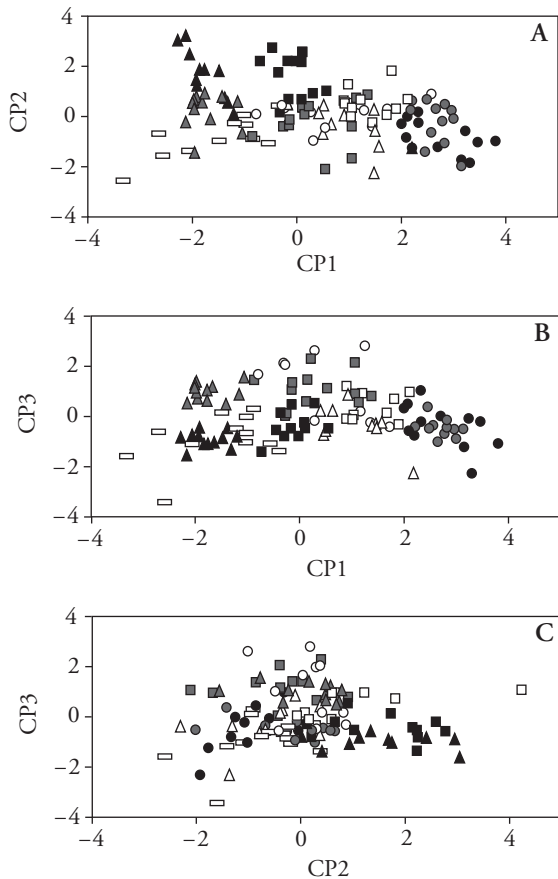
high negative loading on the TSS content. The PC3 confirmed the relevant effect that cold has during storage on color of fruit epicarp, because its highest positive loadings on lightness and chroma (Table 1, section A).

The PC2 and PC3 plotted against the PC1 (Figure 8 A-B) showed some overlap between treatments at each temperature for the evaluation times. Treatments at 3 °C for 14 and 21 d (positive values on CP1), and at 11 °C for 14 and 21 d (negative values on CP1) were the most dissimilar among cold stored treatments. Those stored at 7 °C were intermediate between them and the control 1. This confirms that physical and chemical changes of pitahaya fruits largely depend on temperature and storage time. PC3 plotted against PC2 (Figure 8 C) showed that changes of fruits after cold storage at 3-11 °C for longer time (21 d) were more heterogeneous than those for shorter time (7 d). Cold storage for 7 d and many others for 14 d formed tight clusters, partially surrounded by those stored for 21 d, besides of temperature, and some of those at 7 °C for 14 d. This suggests that a reduction of variation in the characteristics under study is a consequence of cold storage for less than 14 d.

In the second PCA, the first three PC explained 75.23 % of the variability (section B on Table 1).

almacenamiento en frío (3 a 11 °C), por hasta 21 d (sección A en el Cuadro 1); y el segundo con las ocho variables explicativas de tratamientos de almacenamiento similares seguidos de 4 d de almacenamiento a temperatura ambiente (sección B en el Cuadro 3) y el testigo 2.

En el primer ACP, los primeros tres componentes principales (CP) respondieron por 79.61 % de la varianza total (sección A, Cuadro 1). El CP1 fue responsable de 50.56 % de la variabilidad de los datos, tuvo cargas positivas en las variables de acidez y vitamina C, y cargas negativas altas en la variable de índice de madurez; este CP parece evaluar la preponderancia de la composición química de los frutos sobre las características físicas. De acuerdo con esto, el almacenamiento en frío aumentó la acidez y el contenido de vitamina C, y confirmó un retraso en la madurez del fruto que era uno de los cambios esperados. El CP2 se relacionó con la estabilidad de la calidad del fruto durante el almacenamiento, ya que el segundo eigenvector tuvo una carga positiva en las variables de coloración roja y carga alta negativa en el contenido de SST. El CP3 confirmó el efecto importante que el frío tiene durante el almacenamiento en el color del epicarpio del fruto, debido a las cargas positivas más altas en luminosidad y cromina (Cuadro 1, sección A).



**Figure 8.** Ordination on the three principal components (PC) of nine treatments of cold storage, for up to 21 d, and a control without storage of pitahaya (*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose) fruits, based on eight physical and chemical characteristics (n=100). Temperature: 3 (circles), 7 (squares) and 11 (triangles) °C; and time of storage: 7 (empty symbols), 14 (gray symbols) and 21 (black symbols) d; control without storage: stars.

**Figura 8.** Ordenación en los tres componentes principales (CP) de nueve tratamientos de almacenamiento frío, hasta por 21 d, y un testigo sin almacenamiento de frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose), basado en ocho características físicas y químicas (n=100). Temperatura: 3 (círculos), 7 (cuadrados) y 11 (triángulos) °C, y tiempo de almacenamiento: 7 (símbolos vacíos), 14 (símbolos grises) y 21 (símbolos negros) d; testigo sin almacenamiento: estrellas.

The PC1 had a higher and negative correlation with acidity and maturity index and likely represents an opposite contribution of storage environments to fruit maturity. The PC2 had a higher and positive

Los CP2 y CP3 trazados contra el PC1 (Figura 8 A-B) mostraron algo de superposición entre los tratamientos a cada temperatura para los tiempos de evaluación. Los tratamientos a 3 °C por 14 y 21 d (valores positivos en CP1), y a 11 °C por 14 y 21 d (valores negativos en CP1) fueron los más distintos entre los tratamientos de almacenamiento frío. Los almacenados a 7 °C fueron intermedios entre éstos y el testigo 1. Esto confirma que los cambios físicos y químicos de los frutos de pitahaya dependen en gran medida de la temperatura y el tiempo de almacenamiento. El CP3 graficado contra CP2 (Figura 8C) mostró que los cambios en los frutos después del almacenamiento a 3 y 11 °C por más tiempo (21 d) fueron más heterogéneos que aquellos con tiempo menor (7 d). El almacenamiento frío por 7 d y muchos otros por 14 d formaron clusters muy cerrados, parcialmente rodeados de los almacenados por 21 d, además de la temperatura, y algunos de ellos a 7 °C por 14 d. Esto sugiere que una reducción de la variación de las características estudiadas es consecuencia del almacenamiento en frío por menos de 14 d.

En el segundo ACP, los primeros tres CP explicaron 75.23 % de la variabilidad (sección B en Cuadro 1). El CP1 tuvo una correlación más alta y negativa con la acidez y el índice de madurez y probablemente representa una contribución opuesta a los ambientes de almacenamiento para la madurez del fruto. El CP2 tuvo una correlación más alta y positiva con la calidad y la estabilidad del color del fruto condicionado en los ambientes de almacenamiento, ya que el segundo eigenvector tuvo una carga alta positiva en L\* y croma. Estos efectos pueden interpretarse como daño por frío en los frutos. El CP3 tuvo influencia relevante en la firmeza, como una característica importante que determina la madurez de los frutos de pitahaya.

Cuando el CP2 se graficó contra los CP1 y CP3, no se observó superposición entre todos los tratamientos de almacenamiento en frío y el testigo 2; el CP2 mejoró la separación y se compuso de dos características físicas relacionadas con la percepción del color (L\* y croma), lo cual promovió esta independencia en los primeros tres CP. Esto contrastó ampliamente con los resultados del primer ACP (grupo A del Cuadro 1 y Figura 8) e indica que estas diferencias fueron generadas por los 4 d a temperatura ambiente después del almacenamiento en frío. Pero, como en el primer análisis, los CP2 y CP3 trazados



correlation with quality and stability of fruit color conditioned on the storage environments, as the second eigenvector had a high positive loading on  $L^*$  and chroma. These effects can be interpreted as chilling damage on fruits. The PC3 had relevant influence on firmness, as an important characteristic determining pitahaya fruits to ripeness.

When the PC2 was plotted against the PC1 and PC3, no overlap was observed between all cold stored treatments and control 2; PC2 enhanced the separation and was composed of two physical characteristics related to the color perception ( $L^*$  and chroma), which promoted this independence in the first three PC. This contrasted widely with the results of the first PC analysis (A group Table 1 and Figure 8) and indicates that these differences were generated by the 4 d at room temperature after cold storage. But, as in the first analysis, PC2 and PC3 plotted against the PC1 show that longer time periods (14-21 d), under each evaluated low temperature, were different than those stored just for 7 d, independently of the extra 4 d at room temperature, because of the higher positive and negative correlation of PC1 with acidity and maturity index, in both analysis (Figure 9 A-B).

In contrast, when the PC3 was plotted against the PC2 all treatments on the second analysis, except control 2, formed a tight cluster (Figure 9 C). This indicates that physical and chemical characteristics of cold stored fruits tended to be homogenized after 4 d at room temperature, regardless of time and temperature of storage.

Among the eight variables evaluated after cold storage and after cold storage followed by 4 d at room temperature, firmness, in first case, and hue angle, TSS and vitamin C, in the second case, had low relative contribution to the first three PC (Table 3). This fact might be the result of similar effects of cold exposure and its combination with room temperature on pitahaya fruit characteristics. PC analysis show that it is possible to distinguish positive effects of cold storage and chilling damage, and show differences between cold conditions that increase the pitahaya's fruits shelf-life and those that produce chilling damage on them.

## CONCLUSIONS

Chilling injury in pitahaya fruit does not occur in a linear progressive fashion and is higher when a

contra el CP1 muestran que periodos más largos de tiempo (14 a 21 d), en cada temperatura baja evaluada, fueron diferentes que los almacenados sólo por 7 d, independientemente de los 4 d extra a temperatura ambiente, debido a la correlación positiva y negativa mayor de los CP1 con la acidez y el índice de madurez, en ambos análisis (Figura 9 A-B).

En contraste, cuando el CP3 se graficó contra el CP2, todos los tratamientos en el segundo análisis excepto el control 2 formaron un cluster cerrado (Figura 9 C). Esto indica que las características físicas y químicas de los frutos almacenados en frío tendieron a homogenizarse después de 4 d a temperatura ambiente, sin importar el tiempo y la temperatura de almacenamiento.

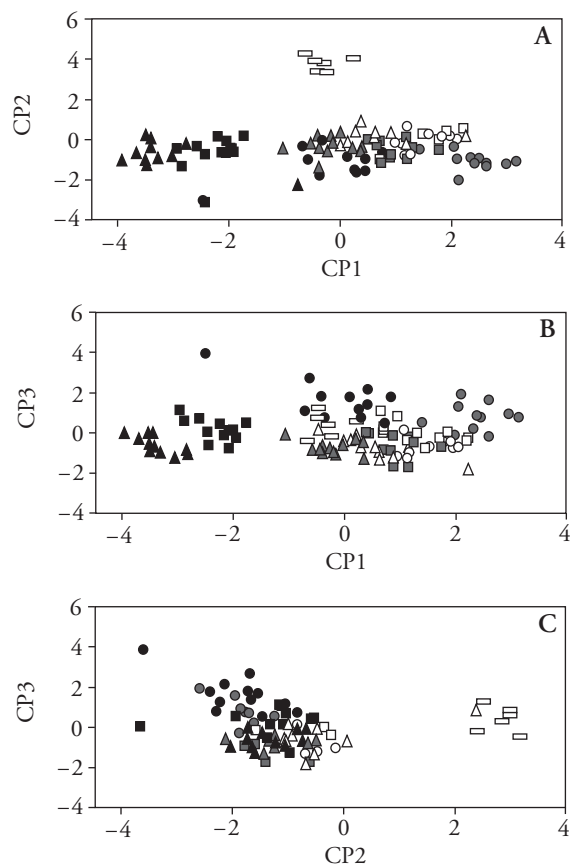
Entre las ocho variables evaluadas después del almacenamiento en frío y después del almacenamiento en frío seguido de 4 d a temperatura ambiente, la firmeza, en primer lugar, y el ángulo de tonalidad, los SST y la vitamina C, en segundo lugar, tuvieron una contribución relativa baja a los primeros tres CP (Cuadro 1). Este hecho puede ser el resultado de efectos similares de exposición al frío y su combinación con la temperatura ambiente en las características de los frutos de pitahaya. Los análisis CP muestran que es posible distinguir los efectos positivos del almacenamiento en frío y el daño por frío, y muestran diferencias entre condiciones de frío que aumentan la vida de anaquel de los frutos de pitahaya y aquellos que producen daño por frío en ellos.

## CONCLUSIONES

El daño por frío en frutos de pitahaya no ocurre de manera lineal progresiva y es mayor cuando ocurre una combinación de temperatura fría y ambiente en el almacenamiento. El almacenamiento en frío, a temperaturas bajas, por 7 d mantiene la calidad de los frutos parcialmente, independientemente de un periodo extra de 4 d a temperatura ambiente (el escenario promedio de manejo en los hogares). Así, manejar el tiempo y la temperatura de almacenamiento en la manipulación postcosecha de los frutos de pitahaya puede extender por varios días la vida de anaquel.

—End of the English version—

---\*---



**Figure 9.** Ordination on the three principal components (PC) of nine treatments of cold storage, for up to 21 d, followed by 4 d at room temperature, and a control without cold storage of pitahaya (*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose) fruits, based on eight physical and chemical characteristics (n=100). Temperature: 3 (circles), 7 (squares) and 11 (triangles) °C; and time of storage: 7 (empty symbols), 14 (gray symbols) and 21 (black symbols) d; control at room temperature for 4 d: stars.

**Figura 9.** Ordenación en los tres componentes principales (CP) de nueve tratamientos de almacenamiento frío, hasta por 21 d seguidos de 4 d a temperatura ambiente, y un testigo sin almacenamiento frío de frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose), basado en ocho características físicas y químicas (n=100). Temperatura: 3 (círculos), 7 (cuadrados) y 11 (triángulos) °C; y tiempo de almacenamiento: 7 (símbolos vacíos), 14 (símbolos grises) y 21 (símbolos negros) d; testigo a temperatura ambiente por 4 d: estrellas.

combination of cold and room storage temperature occurs. Cold storage, at chill temperatures, for 7 d partially maintains fruits quality independently of an extra 4 d time at room temperature (average

household managing scenario). Thus, managing the time and temperature of storage postharvest handling of pitahaya fruits can extend several days the shelf life.

## LITERATURE CITED

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1990. Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemistry. Washington, USA. 1005 p.
- Balois-Morales, R., M. T. Colinas-León, C. B. Peña-Valdivia, S. H. Chávez-Franco, e I. Alia-Tejagal. 2007. Sistema de estrés oxidativo, fenoles-polifenol oxidasa-peroxidasa, de frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) almacenados con frío. Rev. Chapingo Ser. Hortic. 13: 115-120.
- Balois-Morales, R., M. T. Colinas-León, C. B. Peña-Valdivia, S. H. Chávez-Franco, e I. Alia-Tejagal. 2008. Sistema enzimático antisenescencia, catalasa-superóxido dismutasa, de frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) almacenados con frío. Rev. Chapingo Ser. Hortic. 14: 295-299.
- Brawner, S. A., and M. R. Warmund. 2008. Husk softening and kernel characteristics of three black walnut cultivars at successive harvest dates. HortScience 43(3): 691-695.
- Casierra-Posada, E., E. J. García, y P. Lüdders. 2004. Determinación del punto óptimo de cosecha en el lulo (*Solanum quitoense* Lam. var. quitoense y septentrionale). Agron. Colomb. 22: 32-39.
- Castillo-Martínez, R., M. Livera-Muñoz, y J. G. Márquez-Guzmán. 2005. Caracterización morfológica y compatibilidad sexual de cinco genotipos de pitahaya (*Hylocereus undatus*). Agrociencia 39: 183-194.
- Centurión, Y. A., P. S. Solís, S. E. Mercado, S. R. Báez, V. C. Saucedo, y D. E. Sauri. 1999. Variación de las principales características de la pitahaya (*Hylocereus undatus*) durante su maduración postcosecha. Hort. Mex. 7: 419-425.
- Centurión, Y. A., P. S. Solís, C. Saucedo, R. Báez y D. E. Sauri. 2008. Cambios físicos, químicos y sensoriales en frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) durante su desarrollo. Rev. Fitotec. Mex. 31: 1-5.
- Corrales-García, J. 2003. Caracterización, postcosecha, aprovechamiento e industrialización de pitayas y pitahayas. In: Flores V., C. (ed). Pitayas y Pitahayas, Universidad Autónoma Chapingo, México. pp: 137-173.
- Corrales-García, J., and E. Canche-Canche. 2008. Physical and physiological changes in low-stored pitahaya fruit (*Hylocereus undatus*). J. Prof. Assoc. Cactus. 10: 108-119.
- Dueñas G., Y. M., C. E. Narváez C. y L. P. Restrepo S. 2009. El choque térmico mejora la aptitud al almacenamiento refrigerado de pitaya amarilla. Agron. Colomb. 27: 105-110.
- Kays, J. S., and E. R. Paull. 2004. Postharvest Biology. Exon Press; Georgia, USA. 568 p.
- Lee, K. S., and A. Kader. 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. Postharv. Biol. Technol. 20: 207-220.
- Lukatkin, A., A. Brazaitytė, C. Bobinas, and P. Dochovskis. 2012. Chilling injury in chilling-sensitive plants: a review. Agriculture 99(2): 111-124.
- Mundree, S. G., B. Baker, S. Mowla, S. Peters, S. Marais, C. Vander W., K. Govender, A. Maredza, S. Muyanga, J.

- M. Farrant, and J. A. Thomson. 2002. Physiological and molecular insights into drought tolerance. *Afr. J. Biotechnol.* 1: 28-38.
- Nerd, A. F., F. Gutman, and Y. Mizrahi. 1999. Ripening and postharvest behavior of fruits of two *Hylocereus* species (Cactaceae). *Postharv. Biol. Technol.* 17: 39-45.
- Ortiz-Hernández, Y. D., and J. A. Carrillo-Salazar, 2012. Pitahaya (*Hylocereus* spp.): a short review. *Comunicata Scientiae* 3 (4): 220-237.
- Prasanna, V., T. N. Prabha, and R. N. Tharanathan. 2007. Fruit ripening phenomena- an overview. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 47: 1-19.
- Soriano S., J., M. E. Franco Z., C. Pelayo Z., M. A. Armella V., M. L. Yañez L., e I. Guerrero R. 2007. Caracterización parcial del pigmento rojo del fruto de la "jiotilla" (*Escontria chiotilla* (Weber) Briton & Rose). *Rev. Mex. Ing. Quím.* 6: 19-25.
- Tasnim, F., A. Hossain M., S. Nusrath, K. Hossain M., Lopa D., and F. Haque K. M. 2010. Quality assessment of industrially processed fruit juices available in Dhaka city, Bangladesh. *Mal. J. Nutr.* 16(3): 431-438.
- Toivonen, P. M. A., and D. M. Hodges. 2011. Abiotic stress in harvested fruits and vegetables. In *In: Shanker, A. (ed.). Abiotic Stress in Plants - Mechanisms and Adaptations.* InTech. China. pp: 39-58.
- Vargas V., M. L., Y. Centurión, D. E. Sauri, y C. J. Tamayo. 2005. Industrialización de la pitahaya (*Hylocereus undatus*): una nueva forma de comercialización. *Rev. Mex. Agroneg.* 16: 498-509.
- Warmund, M. R. 2008. Kernel color of three black walnut cultivars after delayed hulling at five successive harvest dates. *HortScience* 43: 2256-2258.
- Wybraniec, S., and Y. Mizrahi. 2002. Fruit flesh betacyanin pigments in *Hylocereus* cacti. *J. Agric. Food Chem.* 50: 60-62.