

## Calidad de nopal fresco cortado envasado con películas plásticas durante el almacenamiento a baja temperatura\*

### Quality fresh nopal cut packaging plastic layers during low temperature storage

Armida Rodríguez-Félix<sup>§</sup> y Judith Fortiz-Hernández

Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal- Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. Carretera a La Victoria, km 0.6., A. P. 1735. C. P. 83304. Hermosillo, Sonora, México. (jfortiz@ciad.mx). <sup>§</sup>Autora para correspondencia: armida@ciad.mx.

#### Resumen

En este trabajo se evaluó la calidad de nopal verdura fresco cortado (NVFC) envasado en tres películas plásticas durante el almacenamiento a temperatura baja. Cladodios del cultivar COPENA F-1 fueron desespinados, cortados y envasados en bolsas de PEBD (testigo), polysweat Bolco<sup>®</sup> y Cryovac<sup>®</sup> PD960, posteriormente se almacenaron a 1 y 5 °C por 20 días. El color inicial de NVFC envasado en las tres películas mostró valores de luminosidad o claridad (L\*) de 52.2 a 55.3, un ángulo de tono (AT) entre 123 y 124°, y un croma o saturación de color de 22.1 a 24.2, lo anterior representa un color verde apagado. En general, el color verde apagado del NVFC envasado con las tres películas evaluadas se mantuvo durante los 20 días de almacenamiento a 1 y 5 °C. La firmeza, pH y acidez titulable inicial de NVFC fueron de 3.6 N, 4.3 y 0.75%, respectivamente y no mostraron cambios importantes que afectaran la calidad del NVFC envasado con las tres películas evaluadas durante el almacenamiento a 1 y 5 °C. El almacenamiento a 1 °C inhibió el oscurecimiento y la secreción de mucílago de NVFC en las tres películas evaluadas. El envasado de NVFC con bolsas polysweat Bolco<sup>®</sup> mostró el mayor efecto benéfico en disminuir el oscurecimiento y la secreción de mucílago durante el almacenamiento a 1 y 5 °C; siendo este efecto mayor a 1 °C.

**Palabras clave:** *Opuntia ficus-indica* L., envasado, productos frescos cortados, oscurecimiento, secreción de mucílago.

#### Abstract

In this work the quality of fresh cut nopal (NVFC) packed in three plastic layers during low temperature storage was evaluated. Cladodes cultivar COPENA F-1 were cladodes, cut and packaged in bags of PEBD (control), polysweat Bolco<sup>®</sup> and Cryovac<sup>®</sup> PD960, subsequently stored at 1 and 5 °C for 20 days. The initial color of NVFC packaged in all three layers showed values of brightness or clarity (L\*) of 52.2 to 55.3, an angle of pitch (AT) between 123 and 124°, and a chroma or color saturation of 22.1 to 24.2, this represents a dull green color. Overall, the green off the packaging NVFC evaluated the three layers was maintained during the 20 days of storage at 1 and 5 °C. Firmness, initial pH and titratable acidity of NVFC were 3.6 N, 4.3 and 0.75% respectively and showed no significant changes affecting the quality of packaging NVFC three layers evaluated during storage at 1 and 5 °C. Storage at 1 °C inhibited browning and mucilage secretion NVFC evaluated in all three layers. The NVFC packaging bags polysweat Bolco<sup>®</sup> showed the greatest beneficial effect in reducing darkening and secretion of mucilage during storage at 1 and 5 °C; this effect being greater than 1 °C.

**Keywords:** *Opuntia ficus-indica* L., darkening, fresh cut, packaging, secretion of mucilage.

\* Recibido: diciembre de 2015  
Aceptado: marzo de 2016

## Introducción

La preparación de los productos frescos cortados incluye las operaciones de pelado, cortado y rebanado, entre otras, que causan daño mecánico y rompimiento celular, e inducen un incremento en la tasa de respiración y producción de etileno, así como la síntesis de metabolitos secundarios, disminuyendo la vida de anaquel de estos productos. Los síntomas de deterioro incluyen decoloración, oscurecimiento en las áreas de corte, flacidez y disminución de su valor nutritivo (Artés *et al.*, 2007). El nopal verdura fresco cortado (NVFC) es una forma de presentación muy aceptada en ciertos mercados y para su preparación, el cladodio (tallo modificado o penca) de nopal se lava, desespina y corta ya sea en cuadros o en tiras, y se envasa en charolas de poliestireno cubiertas con películas plásticas o en bolsas plásticas (Rodríguez, 2002).

La vida de anaquel de NVFC cultivar COPENA F-1 es de 1 a 2 días a 20 °C, extendiéndose a 7 días al ser almacenado en refrigeración (5 °C; 91% H R), los principales atributos que limitan la vida de anaquel son el oscurecimiento y la secreción de mucílago. Esta última, causa un cambio en el color de verde brillante a verde olivo (aparición de nopal cocido) (Rodríguez, 2002). Quevedo *et al.* (2005) encontraron que el NVFC cultivar COPENA F-1, cortado en cuadros de 3 x 3 cm, no mostró oscurecimiento ni secreción de mucílago durante 12 días a 5 °C al ser tratado con ácido ascórbico 0.5 M y envasado en bolsas Cryovac® PD960. Recientemente, Fortiz y Rodríguez (2010), señalaron que el envasado con películas plásticas, Cryovac® RD 106 y PD 960, modifican la atmósfera dentro del envase, incrementando con esto la vida de anaquel de NVFC durante el almacenamiento a 5 °C, ya que retrasó el oscurecimiento hasta los 14 y 15 días, respectivamente. Sin embargo, el envasado con estas películas favoreció la secreción de mucílago que inició a los 11 y 10 días, respectivamente.

Se han empleado varios métodos para extender la vida de anaquel de los productos frescos cortados entre los que se encuentran la refrigeración (temperaturas entre 0 y 5 °C), el envasado en atmósferas modificadas (EAM), el uso de aditivos químicos y de cubiertas comestibles (Baldwin y Bai, 2011). La mayoría de los productos frescos cortados mantienen mejor calidad a temperaturas cercanas a 0 °C, ya que todos los procesos fisiológicos se efectúan más lentamente a temperatura menor. Como complemento a un buen control de temperatura, el EAM puede incrementar la vida de anaquel. Lo anterior, es debido a que el O<sub>2</sub> actúa como el aceptor terminal de electrones en diversas reacciones

## Introduction

The preparation of the fresh cut product includes operations peeled, cut and sliced, among others that cause mechanical damage and cell disruption, and induce an increase in the rate of respiration and ethylene production as well as the synthesis of secondary metabolites, reducing the shelf life of these products. Symptoms of damage include fading, hazing in the areas of cutting, flaccidity and decreased their nutritional value (Artes *et al.*, 2007). The nopal fresh cut (NVFC) is a presentation widely accepted in certain markets and for their preparation, the cladodes (modified stem or stalk) of nopal is washed fillet and cuts either in pictures or in strips, and packaged in polystyrene trays covered with plastic layer or plastic bags (Rodríguez, 2002).

The shelf life of NVFC grow COPENA F-1 is 1 to 2 days at 20 °C, extending to seven days when stored under refrigeration (5 °C, 91% H R), the main attributes that limit shelf life they are darkened and mucilage secretion. The latter causes a change in color from bright green to olive green (appearance of cooked nopal) (Rodríguez, 2002). Quevedo *et al.* (2005) found that the NVFC cultivating COPENA F-1, diced 3 x 3 cm, showed no darkening nor secretion mucilage for 12 days at 5 °C when treated with ascorbic acid 0.5 M and bagging Cryovac® PD960. Recently, Fortiz and Rodríguez (2010) noted that the packaging plastic layers, Cryovac® RD 106 and PD 960, modify the atmosphere inside the container, with this increasing shelf life of NVFC during storage at 5 °C, and which he delayed the dimming to 14 and 15 days, respectively. However, these layers favored packaging mucilage secretion initiated at 11 and 10 days, respectively.

They have employed various methods to extend the shelf life of fresh cut products among which are refrigeration (temperature between 0 and 5 °C), the modified atmosphere packaging (EAM), the use of chemical additives and covered edible (Baldwin and Bai, 2011). Most fresh cut maintain better quality products at temperatures close to 0 °C, and all physiological processes take place more slowly at lower temperatures. In addition to a good temperature control, the EAM can increase shelf life. This is because the O<sub>2</sub> acts as the terminal electron acceptor in various metabolic reactions, and the rate of essential metabolic processes are sensitive to the O<sub>2</sub> concentration. As O<sub>2</sub> concentrations below 10% decrease in respiration rate, the rate of degradation and senescence (Brandenburg and Zagory, 2009).

metabólicas, y la velocidad de los procesos metabólicos esenciales son sensibles a la concentración de O<sub>2</sub>. Por lo que concentraciones de O<sub>2</sub> por debajo a 10% disminuyen la tasa de respiración, la velocidad de deterioro y senescencia (Brandenburg y Zagory, 2009).

La disminución de la concentración de O<sub>2</sub> puede, en algunos casos, reducir las reacciones oxidativas de oscurecimiento (Brandenburg y Zagory, 2009), lo cual puede ser de interés particular en vegetales frescos cortados como el nopal verdura. El EAM con muy baja concentración de O<sub>2</sub> (2-5%) y CO<sub>2</sub> de 3-10%, es fundamental para prolongar de la vida de anaquel de productos cortados principalmente debido a la inhibición de oscurecimiento enzimático y envejecimiento fisiológico del tejido (Brandenburg y Zagory, 2009), por lo que es ampliamente utilizado en la industria de ensaladas frescas cortadas (Rojas *et al.*, 2009). El EAM de productos frescos cortados se basa en la relación entre la respiración del producto y la velocidad de permeabilidad a los gases del envase para alterar la atmósfera dentro de este (Brandenburg y Zagory, 2009).

Con base a lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del envasado en tres películas plásticas, PEBD (testigo), Cryovac® PD960 y polysweat Bolco®, en la calidad de NVFC cultivar COPENA F-1 durante el almacenamiento a baja temperatura (1 y 5 °C).

## Materiales y métodos

### Material experimental

El estudio se realizó de agosto a septiembre de 2013 con nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) del cultivar COPENA F-1. Los cladodios fueron desespinados, cortados en cuadros de 0.8 x 0.8 cm y envasados en bolsas de PEBD por una empresa regional. Posteriormente se trasladaron en condiciones refrigeradas al laboratorio (2 h después de su elaboración), donde se colocaron a 1 °C (88% H.R.) durante el resto del día. Se envasaron 500 g de NVFC en bolsas elaboradas (35 bolsas por película) con películas plásticas de diferente permeabilidad a los gases, las cuales se amarraron con alambre (como se efectúa comercialmente en la región). Las películas evaluadas fueron polietileno de baja densidad (PEBD) o testigo (material utilizado para venta en el comercio local), Cryovac® PD960, y bolsas coextruidas formulación polysweat Bolco®.

The decrease in O<sub>2</sub> concentration may in some cases reduce oxidative browning reactions (Brandenburg and Zagory, 2009), which may be of particular interest in fresh cut vegetables as the nopal. The EAM with very low concentration of O<sub>2</sub> (2-5%) and 3-10% CO<sub>2</sub>, is essential for prolonging the shelf life of cut mainly due to the inhibition of enzymatic browning and physiological aging tissue (Brandenburg and Zagory, 2009), so it is widely used in the industry of fresh cut salads (Rojas *et al.*, 2009). The EAM fresh cut produce is based on the relationship between product respiration rate and gas permeability of the container to alter the atmosphere within this (Brandenburg and Zagory, 2009).

Based on the above, the objective of this study was to evaluate the effect of three plastic packaging layer, PEBD (control), Cryovac® PD960 and polysweat Bolco®, quality of NVFC cultivate COPENA F-1 during storage at low temperature (1 to 5 °C).

## Materials and methods

### Experimental material

The study was conducted from August to September 2013 with nopal (*Opuntia ficus-indica*) cultivar COPENA F-1. Cladodes were peeled, cut into squares of 0.8 x 0.8 cm and packed in bags of PEBD by a regional company. Later they moved to the laboratory under refrigerated conditions (2 h after processing), where they were placed at 1 °C (88% H.R.) for the rest of the day. The 500 g of NVFC they were packed in bags made (35 bags per layer) with plastic layers different gas permeability, which is tied with wire (as commercially carried out in the region). The layer were evaluated low density polyethylene (PEBD) or witness (material used for local trade sale), Cryovac PD960, and coextruded formulation polysweat Bolco® bags.

The characteristics of the bags were as follows: Thickness of 31.8, 35.3 and 38.4 microns for PEBD bags, Cryovac PD960 and polysweat Bolco®, respectively; Water vapor permeability (g of water/m<sup>2</sup>.day) at 25 °C and 90% H.R. PEBD layer (control), Cryovac PD960 and polysweat Bolco® was 9.03, 14.00 and 101.99, respectively; and O<sub>2</sub> permeability (cc/ m<sup>2</sup> .24 h, 23 °C, 1 atm) of 5 500 8 000 and 4 039.3 Cryovac® layers for PD960 and polysweat Bolco® respectively. The NVFC bags of different treatments were

Las características de las bolsas fueron las siguientes: espesor de 31.8, 35.3 y 38.4  $\mu\text{m}$  para las bolsas de PEBD, Cryovac<sup>®</sup> PD960 y polysweat Bolco<sup>®</sup>, respectivamente; permeabilidad al vapor de agua (g de agua/  $\text{m}^2\cdot\text{día}$ ) a 25 °C y 90% H.R. de las películas de PEBD (testigo), Cryovac<sup>®</sup> PD960 y polysweat Bolco<sup>®</sup> fue 9.03, 14.00 y 101.99, respectivamente; y la permeabilidad al  $\text{O}_2$  ( $\text{cc}/\text{m}^2\cdot 24\text{ h}$ , 23 °C, 1 atm) de 5 500 a 8 000 y 4 039.3 para las películas Cryovac<sup>®</sup> PD960 y polysweat Bolco<sup>®</sup>, respectivamente. Las bolsas de NVFC de los diferentes tratamientos se almacenaron a 1 y 5 °C (88% H.R.) por 20 días y condiciones de intensidad de iluminación de la luz de 1229 lx. Se evaluó diariamente la apariencia (oscurecimiento y secreción de mucílago). Cada cinco días se analizó la composición de la atmósfera dentro del envase ( $\text{O}_2$  y  $\text{CO}_2$ ), color, firmeza, pH y acidez titulable en el producto.

Composición de la atmósfera ( $\text{O}_2$  y  $\text{CO}_2$ ) dentro del envase. Se tomó 1 mL del espacio de cabeza de cada bolsa (cuatro bolsas por tratamiento) y se inyectó en un cromatógrafo de gases Varian Star 3400 equipado con detectores de ionización de flama (DIF) y de conductividad térmica (DCT), provisto con una columna metálica (Supelco) de 2 m de longitud y 32 mm de diámetro interno, empacada con Hayesep N. Las temperaturas de inyección y columna fueron 100 y 80 °C, respectivamente. La temperatura de los detectores fue de 120 °C para el DIF y 170 °C para el DCT. Se utilizó nitrógeno como gas acarreador a un flujo de 25 mL / min (Quevedo *et al.*, 2005). Los resultados se expresaron como el promedio del porcentaje de  $\text{O}_2$  y  $\text{CO}_2$  para cada tipo de película.

Apariencia (oscurecimiento y secreción de mucílago). Diariamente se evaluó el oscurecimiento y la secreción de mucílago de 10 bolsas por película, empleando la siguiente escala hedónica: 0= no hay daño o cambio; 1= muy ligero; 2= ligero; 3= moderado; 4= severo; 5= muy severo. Un valor de dos para oscurecimiento y de uno para secreción de mucílago definieron el límite de aceptabilidad por el consumidor (Quevedo *et al.*, 2005).

Color. Esta variable se evaluó en 6 bolsas con un colorímetro Minolta CR-300, midiendo en 6 secciones diferentes de cada bolsa (3 de cada lado), de acuerdo a lo descrito por (McGuire, 1992). Se usó el espacio de color  $L^*a^*b^*$  o CIELAB, en el cual el aparato da la lectura de las variables  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ . Los resultados se expresaron como luminosidad o claridad ( $L^*$ ), ángulo de tono (AT) y croma. La escala de luminosidad o claridad del color varía de 0= negro a 100= blanco, valores cercanos a 0 indican colores oscuros y cercanos a 100, colores claros opálidos. El AT tono del color, ya sea rojo, verde, amarillo

stored at 1 and 5 °C (88% H.R.) for 20 days and conditions of illumination intensity light of 1 229 lx. appearance (browning and secretion of mucilage) was evaluated daily. Every five days, the composition of the atmosphere inside the container ( $\text{O}_2$  and  $\text{CO}_2$ ), color, firmness, pH and titratable acidity in the product was analyzed.

Composition of the atmosphere ( $\text{O}_2$  and  $\text{CO}_2$ ) into the container. The 1 mL was taken of headspace in each bag (four bags per treatment) and injected into a gas chromatograph Varian Star 3400 equipped with detectors flame ionization (DIF) and thermal conductivity (DCT), provided with a column metal (Supelco) 2 m in length and 32 mm internal diameter, packed with Hayesep N. The injection temperatures were 100 and column 80 °C, respectively. Temperature detector was 120 °C for DIF and 170 °C for the DCT. Nitrogen as carrier gas was used at a flow of 25 mL/min (Quevedo *et al.*, 2005). The results were expressed as the average percentage of  $\text{O}_2$  and  $\text{CO}_2$  for each type of layer.

Appearance (darkening and secretion of mucilage). Daily darkening and secretion of mucilage of 10 bags per layer was evaluated using the following hedonic scale: 0= no damage or change; 1= very light; 2= slight; 3= moderate; 4= severe; 5= very severe. A value two for dimming and one for mucilage secretion defined limit consumer acceptability (Quevedo *et al.*, 2005).

Colour. This variable was evaluated in six bags with a Minolta CR-300 measuring in 6 different sections of each bag (3 per side), according to what described by (McGuire, 1992). Color  $L^*a^*b^*$  or CIELAB used, in which the apparatus gives reading the variables  $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$ . Results were expressed as brightness or lightness ( $L^*$ ), hue angle (AT) and chroma. The scale of brightness or color clarity ranges from 0= black to 100= white, values close to 0 indicate dark and close to 100 colors, light or pale colors. The AT tone color, either red, green, yellow or blue, was calculated using the formula:  $\text{AT} = \arctan b^*/a^*$ , and expressed as degrees on a scale of 0 to 360°. Chroma or color saturation according to the formula:  $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ . The value of  $C^*$  is zero at the center of an achromatic color (gray), and indicates greyish colors, higher values (20 to 40) indicates muted colors and above these values, vivid colors.

Firmness. This measurement in triplicate (3 bags) was performed on the pieces of nopal (20 measurements per bag) using a penetrometer Chatillon (DFG-50) fitted with a punch of 1.2 mm in diameter. The results were expressed as the force in Newton (N) required to penetrate tissue (Quevedo *et al.*, 2005)



o azul, se calculó con la fórmula:  $AT = \arctan b^*/a^*$ , y se expresó como grados en una escala de 0 a 360°. El croma o saturación del color de acuerdo a la fórmula:  $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ . El valor de  $C^*$  es cero en el centro de un color acromático (gris), e indica colores grisáceos, el incremento de los valores (20 a 40) indica colores apagados y valores superiores a estos, colores vivos.

**Firmeza.** Esta medición se realizó por triplicado (3 bolsas) en los trozos de nopal (20 mediciones por bolsa) utilizando un penetrómetro Chatillón (DFG-50), provisto de un punzón de 1.2 mm de diámetro. Los resultados se expresaron como la fuerza en Newton (N) requeridos para penetrar el tejido (Quevedo *et al.*, 2005).

**Acidez titulable y pH.** Estas 2 determinaciones se efectuaron por triplicado en un titulador automático Mettler DL 21. Se obtuvo un extracto a partir de 10 g de nopal homogenizado con 50 ml de agua destilada neutralizada que posteriormente se filtró. La acidez titulable se midió tomando una alícuota de 50 ml del extracto, valorándose con una solución de NaOH 0.1 N hasta lograr un pH final de 8.2. El resultado de acidez titulable se expresó como el porcentaje de ácido málico presente en la muestra y el de pH como unidades de pH (Fortiz y Rodríguez, 2010).

**Diseño experimental y análisis estadístico.** Se empleó un diseño experimental en bloques con estructura factorial para dos factores: Factor A (efecto de temperatura) con dos niveles 1 y 5 °C y factor B (efecto de la película) con tres niveles PEBD (testigo comercial), polysweat Bolco® y Cryovac® PD960; la interacción AB (temperatura y película) y el período de almacenamiento (efecto del tiempo) fue el bloque. Se realizó un análisis de varianza por modelos lineales generales (MLG) a un nivel de significancia de 0.05. Cuando hubo significancia se efectuaron comparaciones de medias por la prueba de rangos múltiples de Tukey. Todos los datos fueron procesados en el paquete estadístico NCSS versión 6.0.2 (NCSS, 2001). La unidad experimental fue una bolsa con 500 g de nopal fresco cortado.

## Resultados y discusión

**Concentración de gases (O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>) dentro del envase.** Los factores temperatura y película tuvieron un efecto significativo ( $p < 0.05$ ) en la concentración de O<sub>2</sub> dentro del envase de NVFC. El contenido de O<sub>2</sub> dentro del envase de NVFC almacenado a 1 °C fue superior ( $p < 0.05$ ) que aquellos mantenidos a 5 °C (Figura 1A). El contenido de O<sub>2</sub> dentro del envase de PEBD fue mayor ( $p < 0.05$ ) que en las películas

Titrateable acidity and pH. These two determinations were made in triplicate in an automatic titrator Mettler DL 21 an extract from 10 g of nopal homogenized with 50 ml of distilled water that was subsequently filtered neutralized was obtained. Titratable acidity was measured by taking an aliquot of 50 ml of the extract, being assessed with a NaOH 0.1 N solution until a final pH of 8.2. The result of titratable acidity was expressed as the percentage of malic acid present in the sample and pH as pH units (Fortiz and Rodriguez, 2010).

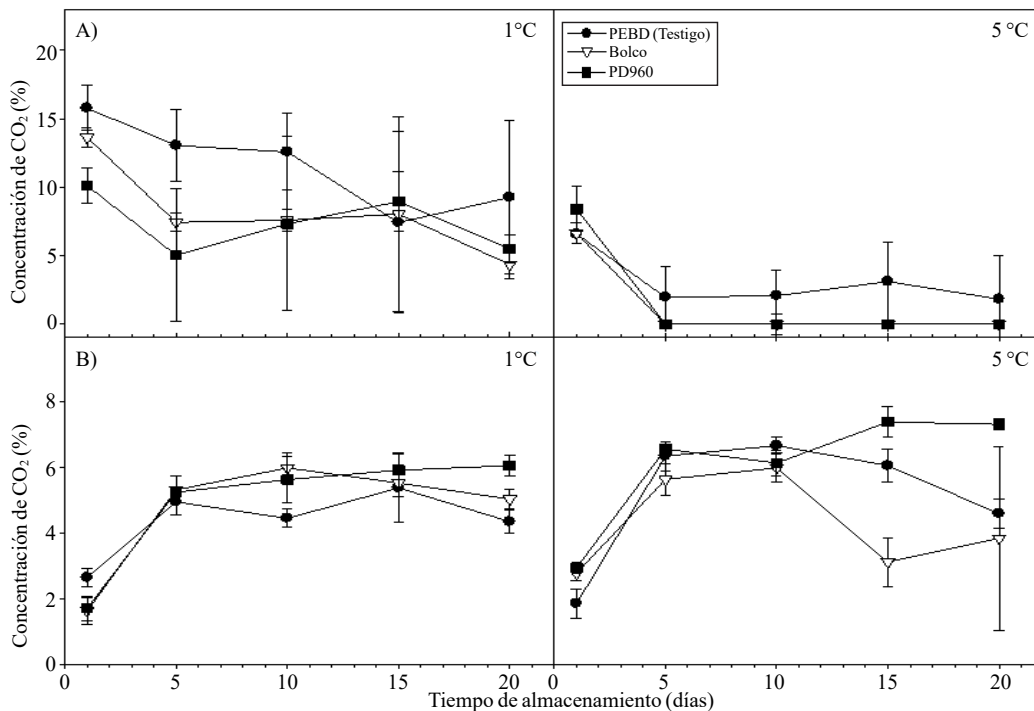
**Experimental design and statistical analysis.** An experimental design was used in blocks with factorial structure to two factors: Factor A (effect of temperature) with two levels 1 and 5 °C and factor B (effect of the layer) with three levels PEBD (commercial control) polysweat Bolco® and Cryovac PD960; AB interaction (temperature and layer) and the storage period (time effect) was the block. An analysis of variance was performed by general linear models (MLG) at a significance level of 0.05. When there were significant mean comparisons were made by the multiple range test of Tukey. All data were processed in the version 6.0.2 statistical package NCSS (NCSS, 2001). The experimental unit was a bag with 500 g of fresh nopal cut.

## Results and discussion

**Concentration of gases (O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub>) into the container.** Factors layer temperature and had a significant effect ( $p < 0.05$ ) in the concentration of O<sub>2</sub> within the package of NVFC. The content of O<sub>2</sub> within the package of NVFC stored at 1 °C was higher ( $p < 0.05$ ) than those kept at 5 °C (Figure 1A). The O<sub>2</sub> content in the container PEBD was higher ( $p < 0.05$ ) than in layers Cryovac® PD960 and polysweat Bolco®, presenting these similar values. From day 5 at 5 °C the NVFC Cryovac® packaging in bags PD960 and polysweat Bolco® showed values of 0% O<sub>2</sub>. This indicates that the O<sub>2</sub> permeability of these materials is very low at this temperature. However, during storage at 1 °C lower values O<sub>2</sub> in NVFC Cryovac® layer were packaged with Bolco® polysweat PD960 and were 4.3% and 5.5 respectively (Figure 1A). This behavior is attributed to a higher temperature is higher respiration rate of the product, resulting in rapidly consume O<sub>2</sub> remaining in the headspace of the bags to be closed and the entrance of the gas to the container is restricted due to low O<sub>2</sub> permeability of this material. Higher levels of O<sub>2</sub> at 1 °C is attributed to the lower rate of respiration of the product at a lower temperature (Cantwell and Suslow, 2002).

polysweat Bolco y Cryovac® PD960, presentando estas valores similares. A partir del día 5 a 5 °C el NVFC envasado en bolsas Cryovac® PD960 y polysweat Bolco® mostraron valores de 0% de O<sub>2</sub>. Esto indica que la permeabilidad al O<sub>2</sub> de estos materiales es muy baja a esta temperatura. Sin embargo, durante el almacenamiento a 1 °C los valores más bajos de O<sub>2</sub> en NVFC envasado con películas Cryovac® PD960 y polysweat Bolco®, fueron de 5.5 y 4.3% respectivamente (Figura 1A). Este comportamiento se atribuye a que a mayor temperatura es mayor la tasa de respiración del producto, lo que ocasiona que se consuma rápidamente el O<sub>2</sub> que queda en el espacio de cabeza de las bolsas al ser cerradas y la entrada de este gas al envase es restringida debido a la baja permeabilidad al O<sub>2</sub> de este material. Los mayores niveles de O<sub>2</sub> a 1 °C se atribuyen a la menor tasa de respiración del producto a menor temperatura (Cantwell y Suslow, 2002).

The factors temperature layer and temperature\*layer interaction had a significant effect ( $p < 0.05$ ) in the concentration of CO<sub>2</sub> in the container NVFC. The CO<sub>2</sub> content in the package was similar ( $p > 0.05$ ) in the three layers evaluated during storage at both 1 and 5 °C, except NVFC PD960 Cryovac® packaging layer presented during storage at 5 °C higher values. Nearby values were detected at 2% at the beginning of storage increased regardless of the type of plastic layer to advance storage time at both 1 and 5 °C, up to a maximum of 7.32% in NVFC packaging layer Cryovac PD960 (Figure 1B). CO<sub>2</sub> concentrations inside the container NVFC in PEBD bags, Cryovac PD960 and polysweat Bolco® stored at 1 and 5 °C were within the recommended range of concentrations (5 to 10% CO<sub>2</sub>) for minimally processed or fresh products cut (Rojas *et al.*, 2009).



**Figura 1. Concentración de oxígeno (A) y de CO<sub>2</sub> (B) dentro del envase (película de PEBD (testigo), polysweat Bolco® y Cryovac® PD960) de nopal fresco cortado COPENAF-1 durante el almacenamiento a 1° y 5 °C.** Barras verticales indican la desviación estándar. n= 4. En concentración de oxígeno DMS temperatura= 1.19\*, DMS película= 1.75\*; DMS temperatura\*película= 3.0 (ns) En concentración de CO<sub>2</sub> DMS temperatura= 0.39\*; DMS película= 0.57\*; y DMS interacción temperatura\*película= 0.99\*. ns= no significativo (Tukey, 0.05).

**Figure 1. Oxygen concentration (A) and CO<sub>2</sub> (B) into the container (PEBD layer (control), polysweat Bolco® and Cryovac® PD960) of fresh prickly pear cut COPENAF-1 during storage at 1 to 5 °C.** Vertical bars indicate the standard deviation. n= 4. DMS temperature oxygen concentration= 1.19\*, DMS layer= 1.75\*; DMS layer\*temperature= 3.0 (ns) in concentration of CO<sub>2</sub> in DMS temperature= 0.39\*; Layer DMS= 0.57\*; DMS interaction and layer\*temperature= 0.99\*. ns= not significant (Tukey, 0.05).

Los factores temperatura, película y la interacción temperatura\*película tuvieron un efecto significativo ( $p < 0.05$ ) en la concentración de CO<sub>2</sub> dentro del envase de NVFC.

The CO<sub>2</sub> in concentrations greater than 1 or 2% reduces tissue sensitivity to ethylene, which is one of the main benefits of EAM for some fruits and vegetables (Brandenburg and

El contenido de CO<sub>2</sub> dentro del envase fue similar ( $p > 0.05$ ) en las tres películas evaluadas durante el almacenamiento tanto a 1 como a 5 °C, con excepción del NVFC envasado con película Cryovac® PD960 que presentó durante el almacenamiento a 5 °C valores mayores. Se detectaron valores cercanos a 2% al inicio del almacenamiento que se incrementaron independientemente del tipo de película plástica al avanzar el tiempo de almacenamiento tanto a 1 como a 5 °C, hasta alcanzar un máximo de 7.32% en NVFC envasado con película Cryovac® PD960 (Figura 1B). Las concentraciones de CO<sub>2</sub> dentro del envase de NVFC en las bolsas de PEBD, polysweat Bolco® y Cryovac® PD960 almacenados a 1 y 5 °C estuvieron dentro del rango de concentraciones recomendadas (5 a 10% de CO<sub>2</sub>) para productos mínimamente procesados o frescos cortados (Rojas *et al.*, 2009).

El CO<sub>2</sub> en concentraciones mayores de 1 ó 2% reduce la sensibilidad a etileno del tejido, lo cual es uno de los beneficios principales del EAM para algunas frutas y hortalizas (Brandenburg y Zagory, 2009). La reducción de O<sub>2</sub> y elevación de CO<sub>2</sub> en la atmósfera del envase puede prolongar la vida de anaquel de los productos cortados, reduciendo su respiración, la transpiración y producción de etileno (Rojas *et al.*, 2009).

**Oscurecimiento.** La temperatura, el tipo de película utilizada para envasar el producto y la interacción temperatura\*película tuvieron un efecto significativo ( $p < 0.05$ ) en el comportamiento del oscurecimiento de NVFC (Figura 2A). El NVFC almacenado por 20 días a 1 °C no mostró oscurecimiento en ninguno de los tres tipos de bolsa evaluados. No así a 5 °C donde el NVFC envasado en PEBD (testigo) mostró un oscurecimiento de 0.1 a los 13 días de almacenamiento, y a los 20 días alcanzó valores de 0.8 (Figura 2A). El NVFC envasado con película Cryovac® PD 960 mostró oscurecimiento de 0.1 a los 14 días a 5 °C, que se incrementó a 0.3 a los 20 días de almacenamiento. Estos valores de oscurecimiento son superiores ( $p < 0.05$ ) a los mostrados por el NVFC envasado con película polysewat Bolco®, el cual no mostró oscurecimiento durante los 20 días de almacenamiento a 5 °C, comportamiento similar al NVFC envasado con las tres películas evaluadas y almacenado a 1 °C. Sin embargo, los valores de oscurecimiento del NVFC envasado con películas de PEBD y polysweat Bolco® fueron inferiores a 1, no superando el valor de 2 que es el límite de aceptabilidad por el consumidor. Por lo anterior, se considera que esta variable no afectó de manera importante la calidad del NVFC durante el almacenamiento por 20 días a 5 °C.

Zagory, 2009). The reduction of O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> increase in the atmosphere of the container can extend the shelf life of cut, reducing his breathing, perspiration and ethylene production (Rojas *et al.*, 2009).

**Darkening.** The temperature, the type of layer used to package the product and temperature\*layer interaction had a significant effect ( $p < 0.05$ ) in the behavior of darkening NVFC (Figure 2A). The NVFC stored for 20 days at 1 °C showed no darkening in any of the three types of bag evaluated. Not at 5 °C where NVFC the packaging PEBD (control) showed a darkening of 0.1 at 13 days of storage, 20 days and reached values of 0.8 (Figure 2A). The packaging NVFC layer Cryovac® PD 960 showed darkening of 0.1 to 14 days at 5 °C, which increased to 0.3 after 20 days storage. These values obscuration are higher ( $p < 0.05$ ) than those shown by the NVFC packaging layer polysewat Bolco®, which showed no darkening during the 20 days storage at 5 °C, similar to NVFC behavior packaging with three layers evaluated and stored at 1 °C. However, dimming values NVFC packaging layers PEBD and polysweat Bolco® were less than 1 and not exceeding the value of 2 which is the limit consumer acceptability. Therefore, it is considered that this variable did not affect significantly the quality of NVFC during storage for 20 days at 5 °C.

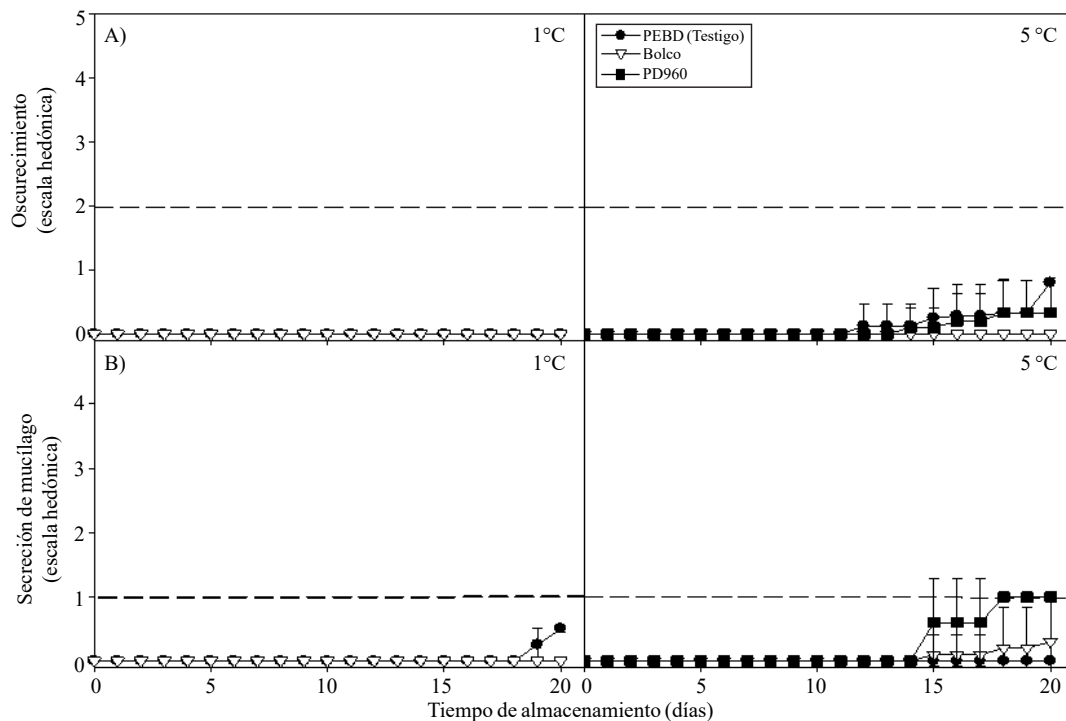
Fortiz-Hernandez and Rodriguez-Felix (2010) reported slight darkening after 7 days at 5 °C (63% H. R.) in NVFC packaged in PEBD bag. In the present study darkening in this type of bag she started until day 12 and is associated with differences in the concentrations of O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> in the package, due to the variability of plastic material used commercially PEBD.

The delay observed obscuration in this study is attributed to the low O<sub>2</sub> levels (less than 5% observed in most of the storage period) and CO<sub>2</sub> (1.9 to 4.6%) that occurred within this container, as Brandenburg and Zagory (2009) reported that very low concentrations of O<sub>2</sub> (2 to 5%), combined with CO<sub>2</sub> from 3 to 10% are critical to the inhibition of enzymatic browning and physiological aging tissue, as well as the extension the shelf life of cut. This may be associated with the activity of polyphenol oxidase (PPO) and ascorbic acid oxidase, causing acid enzymatic browning. Kader (1986) reported that the activity of these enzymes is reduced to low concentrations of O<sub>2</sub> in the package.

The lowest observed darkening NVFC packaging bag Cryovac®PD-960 contrasts with that published by Quevedo *et al.* (2005), who reported that the darkening of NVFC

Fortiz-Hernández y Rodríguez-Félix (2010) reportaron oscurecimiento ligero después de 7 días a 5 °C (63% H. R.), en NVFC envasado en bolsa de PEBD. En el presente estudio el oscurecimiento en este tipo de bolsa inició hasta el día 12 y se asocia a diferencias en las concentraciones de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> dentro del envase, debido a la variabilidad del material plástico de PEBD utilizado a nivel comercial.

began at 9 days and 16 days at 5 °C showed values greater than 2, which is the limit consumer acceptability. This could be attributed to the study of Quevedo *et al.* (2005), the concentrations of O<sub>2</sub> in the container NVFC ranged from 2 to 8%, whereas in the present study O<sub>2</sub> concentrations were 0% for almost the entire storage period, except for the initial values. These concentrations of O<sub>2</sub> to zero could cause a



**Figura 2. Oscurecimiento (A) y secreción de mucílago (B) de nopal fresco cortado envasado con 3 películas diferentes (película de PEBD (testigo), polysweat Bolco® y Cryovac® PD960) durante el almacenamiento a 1° y 5 °C.** Barras verticales indican la desviación estándar. n= 10. Escala hedónica. 0= no hay cambio; 1= muy ligero; 2= ligero; 3= moderado; 4= severo; 5= muy severo. La línea punteada en A y B indica el límite de aceptabilidad por el consumidor. En oscurecimiento DMS temperatura= 0.02\*, DMS película= 0.02\* y DMS interacción temperatura\*película= 0.04\*. En mucílago DMS película= 0.02\*; DMS película= 0.03\* y DMS interacción temperatura\*película= 0.06\*.

**Figure 2. Darkening (A) and secretion of mucilage (B) of fresh prickly pear cut packaging with 3 different layers (PEBD layer (control), polysweat Bolco® and Cryovac® PD960) during storage at 1° to 5 °C.** Vertical bars indicate the standard deviation. n= 10. hedonic scale. 0= no change; 1= very light; 2= slight; 3= moderate; 4= severe; 5= very severe. The dotted line in A and B indicates the limit consumer acceptability. In DMS darkening temperature= 0.02\*, DMS layer= 0.02\* and DMS interaction layer\*temperature= 0.04\*. Mucilage layer DMS= 0.02\*; DMS layer= 0.03\* and interaction DMS temperature\*layer= 0.06\*.

El retraso en el oscurecimiento observado en este estudio, se atribuye a los bajos niveles de O<sub>2</sub> (inferiores a 5% observados en la mayor parte del periodo de almacenamiento) y de CO<sub>2</sub> (1.9 a 4.6 %) que se presentaron dentro de este envase, ya que Brandenburg y Zagory (2009) señalaron que muy bajas concentraciones de O<sub>2</sub> (2 a 5%), combinadas con CO<sub>2</sub> de 3 a 10% son fundamentales para la inhibición del oscurecimiento enzimático y del envejecimiento fisiológico del tejido, así como en la extensión de la vida de anaquel de productos

further decrease in the activity of polyphenol oxidase (PPO) and ascorbic acid oxidase, causing enzymatic browning (Kader, 1986).

Secretion of mucilage. Secretion mucilage similar to the dimming behavior was observed, being significant ( $p < 0.05$ ) of the storage temperature, the type of layer used to package the NVFC and temperature\*layer interaction secretion mucilage NVFC (Figure 2B). To 1 °C is not mucilage



cortados. Lo anterior, puede estar asociado a la actividad de polifenoloxidasas (PPO) y ácido ascórbico-oxidasas, causantes del oscurecimiento enzimático. Kader (1986) reportó que la actividad de estas enzimas se disminuye a bajas concentraciones de O<sub>2</sub> en el envase.

El bajo oscurecimiento observado en NVFC envasado con bolsa Cryovac® PD-960 contrasta con lo publicado por Quevedo *et al.* (2005), quienes reportaron que el oscurecimiento de NVFC inició a los 9 días y a los 16 días a 5 °C presentó valores superiores a 2, que es el límite de aceptabilidad por el consumidor. Lo anterior pudiera atribuirse a que en el estudio de Quevedo *et al.* (2005), las concentraciones de O<sub>2</sub> dentro del envase de NVFC estuvieron en el rango de 2 a 8%, mientras que en el presente estudio las concentraciones de O<sub>2</sub> fueron 0% prácticamente durante todo el período de almacenamiento, con excepción de los valores iniciales. Estas concentraciones de O<sub>2</sub> de cero pudieron causar una mayor disminución de la actividad de polifenoloxidasas (PPO) y ácido ascórbico-oxidasas, causantes del oscurecimiento enzimático (Kader, 1986).

**Secreción de mucílago.** En la secreción del mucílago se observó un comportamiento similar al del oscurecimiento, encontrándose efecto significativo ( $p < 0.05$ ) de la temperatura de almacenamiento, del tipo de película utilizada para envasar el NVFC y de la interacción temperatura\* película en la secreción de mucílago de NVFC (Figura 2B). A 1 °C no se observó secreción de mucílago del NVFC, con excepción del envasado con película de PEBD, que presentó valores de 0.25 a los 19 días y alcanzó valores de 0.5 a los 20 días; sin embargo, estos valores se encuentran por debajo del límite de aceptabilidad del consumidor. En cambio cuando el NVFC se almacenó a 5 °C la secreción de mucílago aumentó a medida que transcurrió el tiempo de almacenamiento (Figura 2B) y se encontraron diferencias entre las distintas películas evaluadas (PEBD, Cryovac® PD960 y polysweat Bolco®), aunque los valores fueron bajos y solo en el NVFC envasado con bolsas Cryovac® PD960 se alcanzó el límite de aceptabilidad por el consumidor después de 18 días de almacenamiento a 5 °C. El NVFC envasado en película de PEBD (testigo) no presentó secreción de mucílago durante el almacenamiento a 5 °C (Figura 2B).

Un comportamiento similar en NVFC envasado en bolsas de PEBD fue reportado por Fortiz-Hernández y Rodríguez-Félix (2010). Sin embargo, el comportamiento de la secreción de mucílago de NVFC envasado en bolsas

secretion was observed NVFC, excluding packaging with PEBD layer, which showed values of 0.25 to 19 days and reached values of 0.5 to 20 days; however, these values are below the limit consumer acceptability. However when the NVFC stored at 5 °C mucilage secretion increased as time passed storage (Figure 2B) and differences between the various layers evaluated (PEBD, Cryovac PD960 and polysweat Bolco®) were found, though values were low and only in NVFC packaging bags Cryovac® PD960 limit consumer acceptability after 18 days storage at 5 °C was reached. The NVFC packaging layer PEBD (control) had no secretion of mucilage during storage at 5 °C (Figure 2B).

A similar behavior in NVFC packed in bags of PEBD was reported by Fortiz-Hernandez and Rodriguez-Felix (2010). However, the behavior of the secretion of mucilage NVFC bags Cryovac® PD960 packed in this study, does not match those reported by these authors who observed that this quality problem started after 11 days at 5 °C and exceeded the limit of consumer acceptability 16 days at 5 °C. These differences could be attributed to differences in the content of nopal mucilage used in different studies as shown by other authors (Camacho *et al.*, 2007).

Nopal mucilage is a heteropolysaccharide water soluble (Matsuhira *et al.*, 2006), which is stored in special cells, thin-walled, although clorenchyma found in the parenchyma and are most abundant in the latter. Mucilage has the property of retaining strongly osmotic water (Sudzuki, 1999). Mucilaginous cells are in adjacent and parallel to the vascular bundles channels, so that the transverse cut of the cladodes causes the mucilage be secreted from cut channels (Mauseth, 2005), appears as a viscous fluid that is not capable gelling (Goycoolea and Cardenas, 2003).

Analyzing together darkening and secretion of mucilage, the two major quality problems NVFC, shows that the most influential factor was the temperature had. This is because, at 1 °C no blackening or mucilage secretion was presented (except for the minimum values after 20 days storage in bags PEBD), regardless of the layer used to package the product. The NVFC packaging layers polysweat Bolco® not presented darkening at 1 and 5 °C, while the secretion of mucilage was minimal during the storage for 20 days at 5 °C.

**Colour.** At the start of the experiment the NVFC packaged in three layers showed a value of L\* of 52.2 to 55.3, an angle of pitch (AT) between 123 and 124° and a chroma or color saturation of 22.1 to 24.2 which represents a green off

Cryovac® PD960 del presente estudio, no coincide con lo reportado por estos autores quienes observaron que este problema de calidad inició después de 11 días a 5 °C y superó el límite de aceptabilidad por el consumidor a los 16 días a 5 °C. Estas diferencias pudieran atribuirse a diferencias en el contenido de mucílago del nopal verdura utilizado en los diferentes estudios como se ha mostrado por otros autores (Camacho *et al.*, 2007).

El mucílago de nopal es un heteropolisacárido, soluble en agua (Matsuhira *et al.*, 2006), que se almacena en células especiales de pared delgada, que aunque se encuentran en el clorénquima y en el parénquima, son más abundantes en esta última. El mucílago tiene la propiedad osmótica de retener fuertemente agua (Sudzuki, 1999). Las células mucilaginosas se encuentran en canales adyacentes y paralelos a los haces vasculares, por lo que el cortado transversal de los cladodios causa que el mucílago sea secretado de los canales cortados (Mauseth, 2005), apareciendo como un fluido viscoso que no tiene capacidad gelificante (Goycoolea y Cárdenas, 2003).

Analizando en conjunto el oscurecimiento y la secreción de mucílago, los dos principales problemas de calidad de NVFC, se observa que el factor que mayor influencia tuvo fue la temperatura. Esto porque, a 1 °C no se presentó oscurecimiento ni secreción de mucílago (a excepción de los valores mínimos después de 20 días de almacenamiento en las bolsas de PEBD), independientemente de la película utilizada para envasar el producto. El NVFC envasado con películas polysweat Bolco® no presentó oscurecimiento a 1 y 5 °C, mientras que la secreción de mucílago fue mínima durante el período de almacenamiento por 20 días a 5 °C.

Color. Al inicio del experimento el NVFC envasado en las tres películas mostró un valor de L\* de 52.2 a 55.3, un ángulo de tono (AT) entre 123 y 124° y un cromatismo o saturación de color de 22.1 a 24.2 que representa un color verde apagado (Figura 3). No se observó efecto ( $p > 0.05$ ) de la temperatura de almacenamiento, tipo de película empleada para envasar el NVFC, ni de la interacción temperatura\*película sobre el valor de L\* (Figura 3A). No hubo cambios importantes en esta variable durante el almacenamiento por 20 días a 1 y 5 °C, con valores superiores a 50 (de una escala de 0 a 100).

La temperatura de almacenamiento afectó significativamente ( $p < 0.05$ ) el ángulo de tono (AT) de NVFC. Aunque se tuvieron valores mayores ( $p < 0.05$ ) durante el almacenamiento a 1° que a 5 °C, 121.3° y 119.9° respectivamente, estos se ubican en el tono verde característico de esta hortaliza.

(Figura 3). No effect ( $p > 0.05$ ) the storage temperature, type of packaging used for the NVFC layer, or layer\*temperature value L\* (Figure 3A). The interaction was observed there were no major changes in this variable during storage for 20 days at 1 and 5 °C, above 50 values (on a scale from 0 to 100).

The storage temperature significantly ( $p < 0.05$ ) hue angle (AT) of NVFC. Although higher values ( $p < 0.05$ ) were taken during storage at 1° to 5 °C, 121.3° and 119.9° respectively, these are located in the characteristic green color of this vegetable. No significant differences ( $p > 0.05$ ) between the three layers evaluated in both storage temperatures were detected (Figure 3B).

Color saturation or chroma NVFC was affected by storage temperature and temperature\*layer interaction ( $p < 0.05$ ) (Figure 3C). The NVFC packaging layer polysweat Bolco® and stored at 5 °C, showed values of 24.5, which is higher ( $p < 0.05$ ) than the other treatments showed similar values including values around 21 (Figure 3C). However, despite the changes, the values above indicate muted colors.

Overall, taking into account the three attributes of color, brightness or clarity (L\*), hue angle and chroma, it was observed that the green off the NVFC packaging with the three tested layers remained during the 20 days of storage at 1 and 5 °C.

The color is used by the consumer and the industry as a selection criterion and an indicator of the overall quality of fresh cut products (Montero and Cerdas, 2011), so it is very important to maintain the normal color of the fabric (Beaulieu, 2011), as was achieved in the present study. This preservation of green NVFC off is due to the positive and synergistic effect of storage temperature and AM generated inside the containers evaluated. Yahia (2009) reported that the optimum composition of the atmosphere slows the breakdown of chlorophyll and consequent loss of green tissue. Also, Artes *et al.* (2007) reported that the use of low temperatures and high relative humidity, combined with atmospheres low in O<sub>2</sub> and moderately enriched in CO<sub>2</sub>, delays the color change from green to yellow or bright coffee green, both due to degradation of chlorophyll.

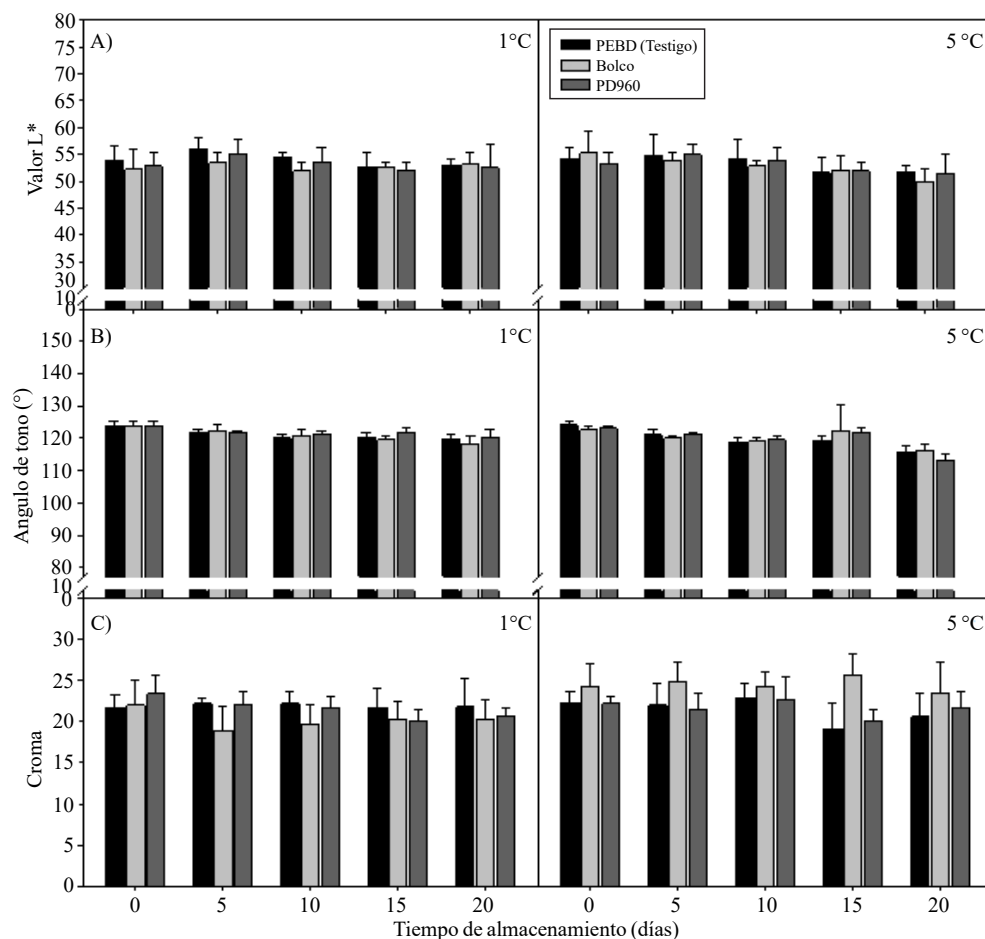
PH and titratable acidity. The initial pH of NVFC was 4.3 (Figure 4A). An effect ( $p < 0.05$ ) temperature and temperature storage\*interaction layer used to package the NVFC on pH was found (Figure 4A). As it regards temperature storage\*layer interaction, only differences ( $p < 0.05$ ) between the NVFC packaging PEBD layer (commercial control)

No se detectaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre las tres películas evaluadas en ambas temperaturas de almacenamiento (Figura 3B).

La saturación de color o croma de NVFC fue afectada por la temperatura de almacenamiento y la interacción temperatura\*película ( $p < 0.05$ ) (Figura 3C). El NVFC envasado con película polysweat Bolco® y almacenado a 5 °C, presentó valores de 24.5, los cuales son superiores ( $p < 0.05$ ) al resto de los tratamientos que mostraron valores similares entre ellos, con valores de alrededor de 21 (Figura 3C). Sin embargo, a pesar de los cambios, los valores antes mencionados indican colores apagados.

stored at 5 °C showed higher values (4.43) found that NVFC PEBD layer packaging and Cryovac® PD960 stored at 1 °C, which showed values of 4.26 and 4.31, respectively.

The initial titratable acidity was 0.75% and decreased during storage differences were found ( $p < 0.05$ ) the effect of storage temperature with different plastic packaging layers (Figure 4B). The NVFC stored at 5 °C showed a titratable acidity of 0.71%, which is lower ( $p < 0.05$ ) to 0.81% of NVFC stored at 1 °C. The NVFC packaging layer Cryovac® PD960 showed values of 0.78% which are higher ( $p < 0.05$ ) to 0.73% shown by the NVFC packaging with



**Figura 3. Color: L (A), ángulo de matiz (B) y croma (C) de nopal fresco cortado envasado con 3 películas diferentes (película de PEBD (testigo), polysweat Bolco® y Cryovac® PD960) durante el almacenamiento a 1° y 5 °C.** Barras verticales indican la desviación estándar. n=6. En valor L\* DMS temperatura=0.8 (n.s), DMS película= 1.2 (n. s) y DMS interacción temperatura\*película= 2.0 (ns). En ángulo de tono DMS temperatura= 0.7\*; DMS película= 1.1 (ns) y DMS interacción temperatura\*película= 1.8 (ns). En croma DMS temperatura=0.7\*; DMS película= 1.1 (ns) y DMS interacción temperatura\*película= 1.9\*. ns= no significativo (Tukey, 0.05).

**Figure 3. Color: L (A), hue angle (B) and chroma (C) of fresh prickly pear cut packaging with 3 different layers (PEBD layer (control), polysweat Bolco® and Cryovac® PD960) during storage 1 to 5 °C.** Vertical bars indicate the standard deviation. n= 6. Temperature value L\*DMS=0.8 (n.s), DMS layer= 1.2 (n. s) and interaction DMS layer\*temperature= 2.0 (ns). DMS pitch angle temperature= 0.7\*; DMS layer= 1.1 (ns) and DMS interaction layer\*temperature= 1.8 (ns). DMS chroma temperature= 0.7\*; DMS layer= 1.1 (ns) and DMS interaction layer\*temperature= 1.9 \*. ns= not significant (Tukey, 0.05).

En general tomando en cuenta los tres atributos de color, luminosidad o claridad ( $L^*$ ), ángulo de tono y croma, se observó que el color verde apagado del NVFC envasado con las tres películas evaluadas se mantuvo durante los 20 días de almacenamiento a 1 y 5 °C.

El color es usado por el consumidor y la industria como un criterio de selección y un indicador de la calidad general de productos frescos cortados (Montero y Cerdas, 2011), por lo que es muy importante mantener el color normal del tejido (Beaulieu, 2011), tal y como se logró en el presente estudio. Esta preservación del color verde apagado del NVFC se debe al efecto positivo y sinérgico de la temperatura de almacenamiento y de la AM generada dentro de los envases evaluados. Yahia (2009) reportó que la composición óptima de la atmósfera retarda la degradación de clorofila y consecuente pérdida de color verde del tejido. Asimismo, Artés *et al.* (2007) reportaron que el empleo de bajas temperaturas y una alta humedad relativa, combinado con atmósferas bajas en  $O_2$  y moderadamente enriquecidas en  $CO_2$ , retrasa el cambio de color de verde a amarillo o de verde brillante a café, debido ambos a la degradación de clorofila.

pH y acidez titulable. El pH inicial del NVFC fue de 4.3 (Figura 4A). Se encontró un efecto ( $P < 0.05$ ) de la temperatura y de la interacción temperatura de almacenamiento \* película usada para envasar el NVFC sobre el pH (Figura 4A). En lo que se respecta a la interacción temperatura de almacenamiento \* película, únicamente se encontraron diferencias ( $p < 0.05$ ) entre el NVFC envasado con película de PEBD (testigo comercial) almacenado a 5 °C que mostró valores mayores (4.43) que el NVFC envasado con película PEBD y Cryovac® PD960 almacenados a 1 °C, los cuales presentaron valores de 4.26 y 4.31, respectivamente.

La acidez titulable inicial fue de 0.75% y disminuyó durante el almacenamiento encontrándose diferencias ( $p < 0.05$ ) por efecto la temperatura de almacenamiento del envasado con las diferentes películas plásticas (Figura 4B). El NVFC almacenado a 5 °C mostró una acidez titulable de 0.71%, la cual es menor ( $p < 0.05$ ) a 0.81% del NVFC almacenado a 1 °C. El NVFC envasado con película Cryovac® PD960 presentó valores de 0.78 % que son superiores ( $p < 0.05$ ) al 0.73% mostrado por el NVFC envasado con película de PEBD. La mayor acidez titulable a 1 °C, podría deberse al efecto positivo de esta temperatura de almacenamiento en disminuir la actividad metabólica y el deterioro del nopal, ya que se ha reportado que la temperatura de almacenamiento de los productos cortados afecta la tasa de respiración de los mismos, la cual se incrementa al elevarse la temperatura (Cantwell y Suslow,

PEBD layer. The titratable acidity greater than 1 °C, could be due to the positive effect of this temperature decrease storage and metabolic activity

Nopal deterioration because it has been reported that the storage temperature of the cut products affects the respiration rate thereof, which increases as temperature rises (Cantwell and Suslow, 2002). This effect is exacerbated if the product is in EAM with  $O_2$  concentrations relatively low and high  $CO_2$ , designed for low temperature storage storage (2 to 10 °C), as these reduce the loss of acidity of the tissue (Baldwin and Bai, 2011).

Generally higher respiration rate, reduced shelf life as breathing substrates, sugars and acids are consumed. Malic acid, the main organic acid nopal, seems to be used as a substrate breathing via malic enzyme, which decarboxylated malate to pyruvate, with the extra carbon fed to the cycle of tricarboxylic acid (TCA), while citrate can enter directly to the TCA cycle (Baldwin and Bai, 2011).

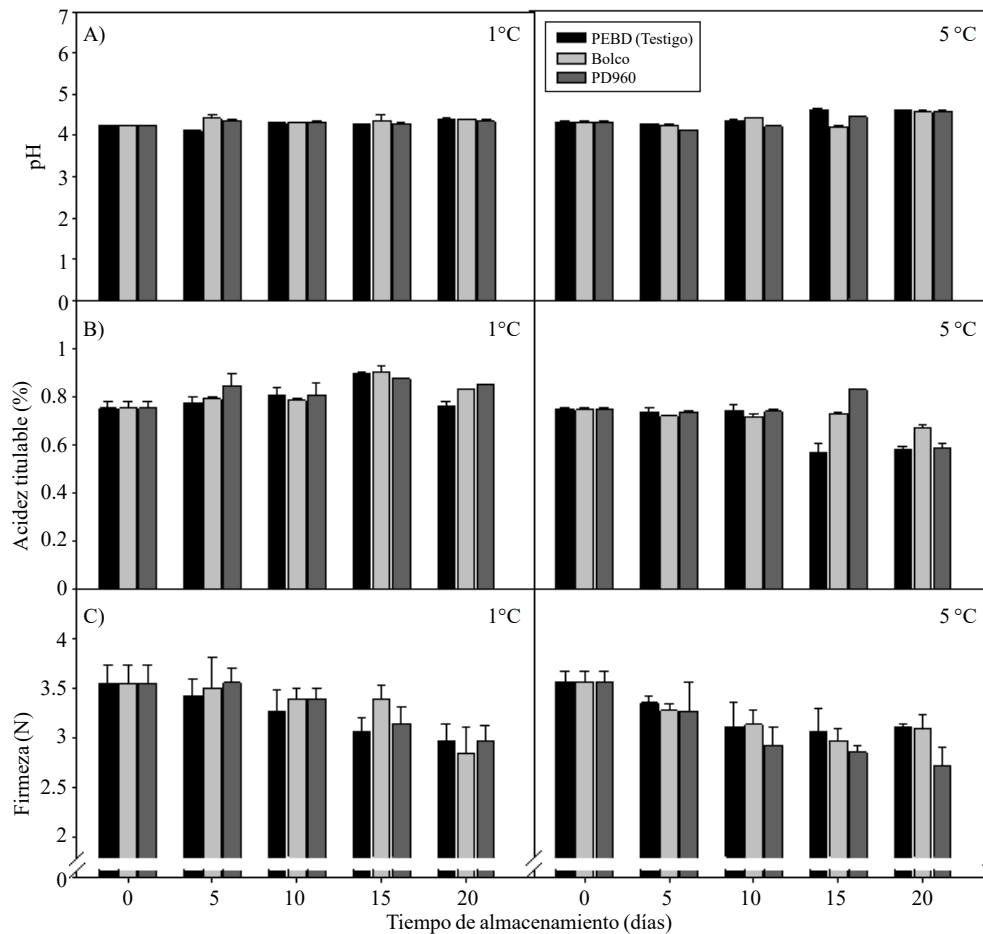
Firmness. The initial strength of NVFC was 3.6 N. This variable decreased ( $p < 0.05$ ) during storage after 20 days presenting a value of 2.9 N, with higher values in the NVFC stored at 1 °C with respect to the stored 5 °C ( $p < 0.05$ ) (Figure 4C). The NVFC firmness treatments packaging layers PEBD (control), Cryovac® PD 960 and polysweat Bolco® was similar. These results agree with those reported by Quevedo *et al.* (2005) who observed a decrease in the strength of NVFC PD960 Cryovac® packaging layer during storage for 20 days at 5 °C. Firmness is a critical quality attribute that helps the industry and the consumer to determine the acceptability of cut fruits and vegetables (Beaulieu, 2011). The softening of the tissue is a serious problem that occurs during the marketing of fruits and vegetables cut. This occurs largely because during the preparation of these products integrity of fruits and vegetables is impaired, causing tissue damage and altering cellular microstructure, which by enzymatic action accelerates the degradation of the cell wall (Artes *et al.*, 2007; Montero and Cerdas, 2011). Modifications to the cell wall have been attributed to the  $\beta$ -galactosidase, polygalacturonase enzymes, pectinmetil esterase, cellulase, fenilalaninamonio lyase and peroxidase (Montero and Cerdas, 2011).

## Conclusions

The quality variables pH, titratable acidity, firmness and color showed no major changes affecting the quality of fresh prickly pear cut during storage at 1 and 5 °C. The storage

2002). Este efecto es exacerbado si el producto se encuentra en EAM con concentraciones de  $O_2$  relativamente bajas y alto  $CO_2$ , diseñadas para el almacenamiento a baja temperatura de almacenamiento (2 a  $10^\circ C$ ), ya que estas disminuyen la pérdida de acidez del tejido (Baldwin y Bai, 2011).

temperature  $1^\circ C$  preserved the quality of nopal cut fresh (NVFC) with respect to variables darkening and secretion of mucilage, because regardless of the layers used to package the product at this temperature did not show darkening in tissue and mucilage secretion was minimal. This reflects the



**Figura 4.** pH (A), acidez titulable (%) (B) y firmeza (C) de nopal fresco cortado envasado con 3 películas diferentes (película de PEBD (testigo), polysweat Bolco® y Cryovac® PD960) durante el almacenamiento a  $1^\circ$  y  $5^\circ C$ . Barras verticales indican la desviación estándar.  $n=3$ . En pH DMS temperatura =  $0.04^*$ , DMS película =  $0.06$  (n.s) y DMS interacción temperatura \* película =  $0.1^*$ . En acidez titulable DMS temperatura =  $0.03^*$ ; DMS película =  $0.04^*$  y DMS temperatura \* película =  $1.07$  (ns). En firmeza DMS temperatura =  $0.08^*$ ; DMS película =  $0.12$  (ns) y DMS interacción temperatura \* película =  $0.19$  (ns). n.s = no significativo (Tukey, 0.05).

**Figure 4.** pH (A), titratable acidity (%) (B) and firmness (C) of fresh prickly pear cut packaging with 3 different layers (PEBD layer (control), polysweat Bolco® and Cryovac® PD960) during storage  $1$  to  $5^\circ C$ . Vertical bars indicate the standard deviation.  $n=3$ . Temperature pH DMS =  $0.04^*$ , DMS layer =  $0.06$  (n.s) and DMS interaction layer \* temperature =  $0.1^*$ . In titratable acidity in DMS temperature =  $0.03^*$ ; Layer DM =  $0.04^*$  and DMS temperature \* layer =  $1.07$  (ns). DMS firmness temperature =  $0.08^*$ ; Layer DMS =  $0.12$  (ns) and DMS interaction layer \* temperature =  $0.19$  (ns). n.s = not significant (Tukey, 0.05).

En general a mayor tasa de respiración, menor vida de anaquel, ya que los sustratos de la respiración, azúcares y ácidos, son consumidos. El ácido málico, principal ácido orgánico del nopal, parece ser utilizado como un sustrato de respiración vía la enzima málica, la cual descarboxila malato a piruvato, siendo el carbono extra alimentado al ciclo de los ácidos tricarboxílicos (ATC), mientras que citrato puede entrar directamente al ciclo ATC (Baldwin y Bai, 2011).

importance of using optimal temperatures during storage of the product. The use of complementary EAM storage temperature seems only be relevant to  $5^\circ C$ , as during storage at this temperature the layer packaging Cryovac® PD960 promotes the secretion NVFC mucilage.

*End of the English version*





Firmeza. La firmeza inicial de NVFC fue de 3.6 N. Esta variable disminuyó ( $p < 0.05$ ) durante el almacenamiento, presentando después de 20 días un valor de 2.9 N, con valores superiores en el NVFC almacenado a 1 °C con respecto al almacenado a 5 °C ( $p < 0.05$ ) (Figura 4C). La firmeza de NVFC de los tratamientos de envasado con las películas de PEBD (testigo), Cryovac® PD 960 y polysweat Bolco® fue similar. Estos resultados coinciden con lo reportado por Quevedo *et al.* (2005), quienes observaron una disminución en la firmeza de NVFC envasado con película Cryovac® PD960, durante el almacenamiento por 20 días a 5 °C. La firmeza es un atributo de calidad crítico que ayuda a la industria y al consumidor a determinar la aceptabilidad de frutas y hortalizas cortadas (Beaulieu, 2011). El ablandamiento del tejido es un serio problema que ocurre durante la comercialización de los frutos y vegetales cortados. Este ocurre en gran parte debido a que durante la preparación de estos productos se altera la integridad de las frutas y hortalizas, ocasionando daño al tejido y alterando la microestructura celular, lo cual por acción enzimática acelera la degradación de la pared celular (Artés *et al.*, 2007; Montero y Cerdas, 2011). Las modificaciones a la pared celular se han atribuido a las enzimas  $\beta$ -galactosidasa, poligalacturonasa, pectinmetil esterasa, celulasa, fenilalaninamonio liasa, y peroxidasa (Montero y Cerdas, 2011).

## Conclusiones

Las variables de calidad pH, acidez titulable, firmeza y color no mostraron cambios importantes que afectaran la calidad del nopal fresco cortado durante el almacenamiento a 1 y 5 °C. La temperatura de almacenamiento a 1 °C preservó la calidad de nopal verdura fresco cortado (NVFC) en lo relativo a las variables de oscurecimiento y secreción de mucílago, ya que independientemente de las películas utilizadas para envasar el producto, a esta temperatura no se presentó oscurecimiento en el tejido y la secreción de mucílago fue mínima. Lo anterior refleja la importancia de utilizar temperaturas óptimas durante el almacenamiento de este producto. El empleo del EAM complementario a la temperatura de almacenamiento solo parece ser relevante a temperatura de 5 °C, ya que durante el almacenamiento a esta temperatura el envasado con la película Cryovac® PD960 favorece la secreción de mucílago de NVFC.

## Literatura citada

- Artés, F.; Gómez, P. A. and Artés, H. F. 2007. Physical, physiological and microbial deterioration of minimally fresh processed fruits and vegetables. *Food Sci. Technol. Int.* 13(3):177-188.
- Baldwin, E. and Bai, J. 2011. Physiology of fresh-cut fruits and vegetables. *In: Martín-Belloso, O. y Soliva-Fortuny, R. (Eds.). Advances in fresh-cut fruits and vegetables processing.* CRC Press. Florida, USA. 87-113 pp.
- Beaulieu, J. C. 2011. Factors affecting sensory quality of fresh-cut produce. *In: Martín-Belloso, O. y Soliva-Fortuny, R. (Eds.). Advances in fresh-cut fruits and vegetables processing.* CRC Press. Florida, USA. 115-143 pp.
- Brandenburg, J. and Zagory, D. 2009. Modified and controlled atmosphere packaging technology and applications. *In: Yahia, E. M. (Ed.). Modified and controlled atmospheres for the storage, transportation, and packaging of horticultural commodities.* CRC Press. Florida, USA. 73-92 pp.
- Camacho, O.; Peña-Valdivia, C. B. y Sánchez-Urdaneta, A.B. 2007. Efecto del potencial hídrico del suelo en el crecimiento y contenido de polisacáridos estructurales de nopalito (*Opuntia* spp.). *Rev. Fav. Agron. (LUZ).* 24(1):254-259.
- Cantwell, M. and Suslow, T. 2002. Postharvest handling systems: fresh-cut fruits and vegetables. *In: Kader, A. A. (Ed.). Postharvest technology of horticultural crops.* Third ed. division of agriculture and natural resources. University of California Publication 3311. 445-463.
- Fortiz, H. J. y Rodríguez, F. A. 2010. Efecto del envasado en películas plásticas en la calidad de nopal verdura mínimamente procesado. *Rev. Iber. Tecnol. Postcos.* 11(2):180-190.
- Goycoolea, F. M. and Cardenas, A. 2003. Pectins from *Opuntia* spp.: a short review. *J. Prof. Assoc. Cactus Dev.* 5(1):17-29.
- Kader, A. A. 1986. Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. *Food Technol.* 5:99-104.
- Matsuhiro, B.; Lillo, L. E.; Sáenz, C.; Urzúa, C. C. and Zárate, O. 2006. Chemical characterization of the mucilage from fruits of *Opuntia ficus indica*. *Carbohydr. Polym.* 63(2): 263-267.
- Mauseth, J. D. 2005. Anatomical features, other than wood, in subfamily Opuntioideae (Cactaceae). *Haseltonia* 11:113-125.
- McGuire, R. G. 1992. Reporting of color measurements. *HortSci.* 27(12):1254-1255.
- Montero, C. M. and Cerdas, A. M. M. 2011. Fruits and vegetables for the fresh-cut processing industry. *In: Martín-Belloso, O. y Soliva-Fortuny, R. (Eds.). Advances in fresh-cut fruits and vegetables processing.* CRC Press. Florida, USA. 185-210 pp.
- NCSS. 2001. Number Cruncher Statistical System. Guiders Lines. Version 6.0.2. USA. 629 p.
- Ohlsson, T. y Bengtsson, N. 2002. Minimal processing technologies in the food industry. Cambridge, Woodhead. 301 p.
- Quevedo, P. K.; Villegas, O. M.; González, R. H. y Rodríguez, F. A. 2005. Efecto de antioxidantes en la calidad de nopal verdura mínimamente procesado. *Rev. Fitotec. Mex.* 28(3): 261-270.

- Rodríguez, F. A. 2002. Postharvest physiology and technology of cactus pear fruits and cactus leaves. *Acta Hort.* 581:191-199.
- Rojas, G. M. A.; Oms, O. G.; Soliva, F. R. and Martín, B. O. 2009. The use of packaging techniques to maintain freshness in fresh-cut fruits and vegetables: a review. *Int. J. Food Sci. Tech.* 44(5):875- 889.
- Sudzuki, H. F. 1999. Anatomía y morfología, cap. 4. *In*: Barbera, G.; Inglese, P. y Pimienta-Barrios, E. (Eds.). *Agroecología, cultivo y usos del nopal. Producción y protección vegetal.* FAO. Roma, Italia. 29-36 pp.
- Yahia, E. M. 2009. *Modified and controlled atmospheres for the storage, transportation, and packaging of horticultural commodities.* CRC Press. Florida, USA. 576 p.