

# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

**CAMPUS MONTECILLO**

## **POSTGRADO DE FITOSANIDAD**

**ENTOMOLOGÍA Y ACAROLOGÍA**

**ATMÓSFERAS MODIFICADAS EN MODALIDAD DE  
MICROPERFORADO,  
ENTEROBACTERIAS Y RESIDUOS DE PLAGUICIDAS EN NOPAL  
VERDURA (*Opuntia ficus indica* L.)**

**NORA MERAZ MALDONADO**

**T E S I S**  
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

**DOCTORA EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO**

2012

La presente tesis titulada: **ATMÓSFERAS MODIFICADAS EN MODALIDAD DE MICROPERFORADO, ENTEROPÁTOGENOS Y RESIDUOS DE PLAGUICIDAS EN NOPAL VERDURA (*Opuntia ficus indica* L.)**, realizada por la alumna: **Nora Meraz Maldonado** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS

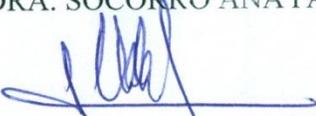
**FITOSANIDAD**  
ENTOMOLOGÍA Y ACAROLOGÍA

**CONSEJO PARTICULAR**

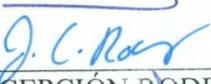
CONSEJERO

  
\_\_\_\_\_  
DRA. SOCORRO ANAYA ROSALES

ASESOR  
(Director de tesis)

  
\_\_\_\_\_  
DR. SALVADOR VALLE GUADARRAMA

ASESOR

  
\_\_\_\_\_  
DR. J. CONCEPCIÓN RODRÍGUEZ MACIEL

ASESOR

  
\_\_\_\_\_  
DR. GABRIEL LEYVA RUELAS

ASESOR

  
\_\_\_\_\_  
DR. JAVIER HERNÁNDEZ MORALES

Montecillo, Texcoco, Estado de México, 2012

**ATMÓSFERAS MODIFICADAS MODALIDAD DE MICROPERFORADO,  
ENTEROBACTERIAS Y RESIDUOS DE PLAGUCIDAS EN NOPAL VERDURA**

*(Opuntia ficus indica L.)*

**Nora Meraz Maldonado, Dra.**

**Colegio de Postgraduados, 2012**

**Resumen**

El nopal verdura es una hortaliza que aporta cantidades importantes de nutrimentos a la dieta en México. Sin embargo, cuando éste es usado como producto mínimamente procesado, la vida de anaquel se limita a los cambios en coloración de la piel y heridas pero, también debe ser considerada, dentro de la calidad, la inocuidad relacionada a la contaminación química y microbiológica. El presente estudio aborda éstos aspectos en seis capítulos que tienen por objetivos: 1) Determinar la predilección del consumidor en la adquisición de nopal verdura por tamaño, color, presentación, acidez y fibra. 2) Evaluar algunos cambios en la calidad por efecto del tamaño en nopal verdura entero desespinado. 3) Determinar el efecto de las atmósferas modificadas en la calidad de nopal verdura entero desespinado. 4) Evaluar la aplicación de ac. ascórbico, ac. ascórbico + ac. fumárico y ac. ascórbico + ac. málico y cloro (testigo), en la calidad y preservación de nopal verdura entero desespinado. 5) Medir la sobrevivencia y crecimiento de *Salmonella sp* y *Escherichia coli* en nopal verdura troceado, tratado con cloro, ac. ascórbico y agua destilada estéril. 6) Evaluar el efecto del lavado en la reducción de los residuos de malatión y clorpirifós etílico. El nopal verdura de 12-17 cm de longitud es preferido en un 70% por los consumidores. La clorofila se correlacionó directamente con el tamaño de los cladodios. Los nopales de 5.0-10.5 cm son susceptibles a mayores pérdidas de peso. Las atmósferas modificadas con 15 microperforaciones preservaron mejor la apariencia del nopal verdura a  $4 \pm 2^\circ\text{C}$ . La aplicación de cloro y/o ac. ascórbico disminuyó el cambio de color de los tejidos. El ac. ascórbico tendió a disminuir los niveles de *Salmonella sp* y *E. coli* en nopal verdura troceado, pero no erradicó a las bacterias. El lavado redujo en más de 90% la presencia de malatión en nopal verdura a las 24 horas de aplicación.

**Palabras clave:** *Opuntia ficus-indica*, atmósferas modificadas, *Salmonella sp*, *Escherichia coli*, malatión, clorpirifós etílico.

**MODIFIED ATMOSPHERES IN THE MICRO PERFORATED MODE, BACTERIA GROWTH AND PLAGUICIDES RESIDUES IN VEGETABLE NOPAL (*Opuntia ficus indica* L.)**

**Nora Meraz Maldonado, Dra.  
Colegio de Postgraduados, 2012**

**Abstract**

Nopal is a vegetable that provide important amount of nutriments to diet on México. However, when nopal is used as a minimally processed product some concerns appear such as the shelf life, which is short and it is limited by the discoloration of the skin and wounds but, into the quality, the safety by chemical y microbiological pollution must also be included. These topics were addressed in this study, which was divided in six chapters with the following objectives: 1) To determine the consumer preference when acquiring nopal considering size, color, presentation, acidity and fiber by. 2) To evaluate quality changes according to the size of integer and free of thorns nopal leaves. 3) To determine the effect of modified atmospheres on integer and free of thorns nopal leaves. 4) To determine the effect of ascorbic acid, ascorbic acid + fumaric acid, ascorbic acid + malic acid and chlorine as a witness, in the quality of nopal leaves, which were integer and free of thorns. 5) To measure the survival and growth of *Salmonella sp* and *E. coli* in nopal leaves minimally processed treated with chlorine, ascorbic acid and sterile water. 6) To evaluate the effect of washing in reducing the residues of malathion and chlorpyrifos ethyl. The preferred nopal leaves size by consumers in 70% of the cases is for those between 12 and 17 cm. Chlorophyll content is directly proportional to nopal leaves size. Vegetable nopals of 5 to 10.5 cm long are susceptible to greater weight loss. Modified atmospheres with 15 microperforations better preserved nopal appearance at  $4 \pm 2$  ° C. Application of chlorine and/or ascorbic acid decreased the enzymatic darkening and cold damage in vegetable nopal. Ascorbic acid tended to decrease the levels of *Salmonella sp* and *E. coli* in chopped nopal, but it did not eradicate the bacteria. Washing decreased by more than 90% the presence of malathion in vegetable nopal, analyzed 24 hours after its application.

**Keywords:** *Opuntia ficus-indica*, modified atmospheres, *Salmonella sp*, *Escherichia coli*, malathion, chlorpyrifos ethyl.

## **Agradecimientos**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para la realización de mis estudios de postgrado; al Colegio de Postgraduados por el apoyo brindado en mi formación como doctora y al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECYT) por la ayuda proporcionada mediante la beca tesis de postgrado para la culminación de esta tesis.

A los laboratorios de Investigación, Físicoquímica, Fisiología Postcosecha y de Atmósferas Modificadas y Microperforadas, así como a la Subdirección del Departamento de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Autónoma Chapingo por las facilidades brindadas para el desarrollo de la investigación.

A los Doctores integrantes de mi Consejo Particular por su esfuerzo, dedicación y tiempo invertido en mi formación.

A la Dra. Patricia Landa Salgado, a los Profesores Adalberto Gómez Cruz y Félix Esparza, a la Sra. Alejandra Galván, al Biólogo Alejandro Sánchez Galván y al Ingeniero Jaime Urzúa por la ayuda brindada durante el desarrollo de los diferentes experimentos

A los Doctores Héctor Flores Magdaleno, Pablo Téllez Palos, Marcos Ventura Vázquez Hernández por su valioso tiempo que permitió mejorar el presente documento y al Sr. Lorenzo Franco por todo el apoyo y disponibilidad brindada en la adquisición y experimentación con nopal verdura.

Al Dr. A. Enrique Becerril Román y al Dr. Ronald Ferrera Cerrato por el apoyo brindado en la plantación de nopal verdura.

Al personal del Departamento de Ingeniería Agroindustrial de la UACH y de Entomología-Acarología del Colegio de Postgraduados.

A todos mis profesores, compañeros y amigos.

## ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADROS.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
<b>INTRODUCCIÓN GENERAL.....</b>	<b>1</b>
Objetivos generales.....	2
Objetivos específicos.....	3
Hipótesis.....	3
<b>REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>10</b>
<b>CAPITULO I. TONALIDAD, TAMAÑO Y CORTES PREFERIDOS EN NOPAL VERDURA 'ATLIXCO' (<i>Opuntia ficus indica</i>) PARA SER CONSUMIDOS.....</b>	<b>17</b>
Resumen.....	17
1.1. Introducción.....	18
1.2. Materiales y métodos.....	19
1.3. Resultados y discusión.....	20
1.4. Conclusiones.....	21
1.5. Literatura citada.....	21
<b>CAPITULO II. CALIDAD EN TRES TAMAÑOS DE NOPAL VERDURA (<i>Opuntia ficus indica</i>L. 'ATLIXCO').....</b>	<b>23</b>
Resumen.....	23
2.1. Introducción.....	24
2.2. Materiales y métodos.....	25
2.3. Resultados y discusión.....	28
2.4. Conclusiones.....	38
2.5. Literatura citada.....	38
<b>CAPITULO III. CLADODIOS DESESPINADOS DE NOPAL (<i>Opuntia ficus indica</i> L.) EN ATMÓSFERAS MODIFICADAS-MICROPERFORADAS.....</b>	<b>43</b>
Resumen.....	43
3.1. Introducción.....	44
3.2. Materiales y métodos.....	45
3.3. Resultados y discusión.....	48
3.4. Conclusiones.....	68
3.5. Literatura citada.....	68

**CAPITULO IV. CLADODIOS DESESPINADOS DE NOPAL VERDURA (*Opuntia ficus indica* L.) TRATADOS CON CLORO, ÁCIDO ASCÓRBICO, ÁCIDO ASCÓRBICO + ÁCIDO FUMÁRICO Y ÁCIDO ASCÓRBICO + ÁCIDO MÁLICO.....71**

Resumen.....	71
4.1. Introducción.....	72
4.2. Materiales y métodos.....	73
4.3. Resultados y discusión.....	77
4.4. Conclusiones.....	118
4.5. Literatura citada.....	119

**CAPITULO V. SOBREVIVENCIA DE *Salmonella sp* Y *Escherichia coli* EN NOPAL VERDURA MÍNIMAMENTE PROCESADO EN ATMÓSFERAS MODIFICADAS MODALIDAD PERFORADO .....125**

Resumen.....	125
5.1. Introducción.....	126
5.2. Materiales y métodos.....	128
5.4. Conclusiones.....	140
5.5. Literatura citada.....	140

**CAPITULO VI. EFECTO DEL LAVADO EN LA REMOSIÓN DE RESIDUOS DE CLORPIRIFOS ETÍLICO Y MALATIÓN EN CLADODIOS DE *Opuntia ficus indica* ‘ATLIXCO’ .....149**

Resumen.....	149
6.1. Introducción.....	150
6.2. Materiales y métodos.....	152
6.3. Resultados y discusión.....	156
6.4. Conclusiones.....	160
6.5. Literatura citada.....	161

**CONCLUSIONES GENERALES.....164**

**ANEXO 1. DIAGRAMA DE CROMATICIDAD.....166**

**ANEXO 2. ESCALA HEDÓNICA DE APARIENCIA EN NOPAL VERDURA ‘ATLIXCO’167**

**ANEXO 3. APARIENCIA DE NOPAL VERDURA EN EMPAQUES MICROPERFORADOS ALMACENADOS A 4±2°C Y 19±1°C EN DIFERENTES DÍAS DE ALMACENAMIENTO168**

**ANEXO 4. APARIENCIA DE NOPAL VERDURA TRATADO CON CLORO, ÁCIDO ASCÓRBICO, AC. ASCORBICO + ÁCIDO FUMÁRICO Y ÁCIDO ASCÓRBICO + ÁCIDO MÁLICO EN DIRERENTES DÍAS DE ALMACENAMIENTO .....176**

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Determinación de resistencia al corte (N) en los días uno y seis de evaluación de nopal verdura ‘atlixco’ de tres tamaños almacenado a $8 \pm 2^\circ\text{C}$ .	29
<b>Cuadro 2.</b> Pérdida de peso(%) en nopales ‘Atlixco’ de tres tamaños, en los días uno, tres y seis de almacenamiento refrigerado a $8 \pm 2^\circ\text{C}$ .	30
<b>Figura 2.</b> °hue en nopales ‘Atlixco’ en tres longitudes de tamaño, mantenidos en almacenamiento refrigerado por seis días a $8 \pm 2^\circ\text{C}$ .	31
<b>Figura 3.</b> Chroma en nopales ‘Atlixco’ en tres longitudes de tamaño, mantenidos en almacenamiento refrigerado por seis días a $8 \pm 2^\circ\text{C}$ .	32
<b>Figura 4.</b> Acidez titulable (%) en nopales de tres tamaños, en almacenamiento refrigerado a $8 \pm 2^\circ\text{C}$ .	33
<b>Cuadro 3.</b> Clorofilaa, b, total (mg 100 g <sup>-1</sup> ) en nopales de tres tamaños, refrigerados a $8 \pm 2^\circ\text{C}$ por seis días.	35
<b>Cuadro 4.</b> Insecticidas empleados y sus características.	153
<b>Cuadro5.</b> Tratamientos aplicados en nopal verdura ( <i>O. ficus indica</i> L.).	153
<b>Cuadro 6.</b> Residuos de clorpirifós etil y malatión (mg kg <sup>-1</sup> ) en nopal verdura ‘Atlixco’ después de 24 h de aplicación en nopales sin lavado y con lavado.	158
<b>Cuadro 7.</b> Máximo nivel de exposición aprobado (NOAEL) e ingesta diaria aceptable para clorpirifós y malatión.	159
<b>Cuadro 8.</b> Ingesta diaria estimada (IDA), índice de riesgo (IR), ingesta promedio diaria estimada (EADI) e índice de peligrosidad (IP).	160

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Nopal ‘atlixco’ de 10-12 cm; 15-17; 22-30 cm. A) tonalidad verde oscuro (vo). B) tonalidad verde media amarilla (vma); c) tonalidad verde amarilla (va).	19
<b>Figura 2.</b> °hue en nopales ‘atlixco’ en tres longitudes de tamaño, mantenidos en almacenamiento refrigerado por seis días a $8 \pm 2^\circ\text{C}$ .	31
<b>Figura 3.</b> Chroma en nopales ‘atlixco’ en tres longitudes de tamaño, mantenidos en almacenamiento refrigerado por seis días a $8 \pm 2^\circ\text{C}$ .	32
<b>Figura 4.</b> Acidez titulable (%) en nopales de tres tamaños, en almacenamiento refrigerado a $8 \pm 2^\circ\text{C}$ .	33
<b>Figura 5.</b> Contenido de ácido ascórbico (mg 100 g <sup>-1</sup> ) en nopales de tres tamaños en almacenamiento refrigerado a $8 \pm 2^\circ\text{C}$ .	36

**Figura 6.** Azúcares totales (%) en nopales de tres estados de desarrollo, refrigerados a  $8 \pm 2^\circ\text{C}$  por seis días. ....37

**Figura 7.** Luminosidad o brillantez en nopal verdura sin espinas: a) almacenados a  $4 \pm 2^\circ\text{C}$  y  $19 \pm 1^\circ\text{C}$ , por 29 y 13 días, respectivamente; b) almacenados a  $19 \pm 1^\circ\text{C}$  sin empaque (SE), cero perforaciones (00P), cinco perforaciones (05P), 10 perforaciones (10P), 15 perforaciones (15P) y 20 perforaciones (20 P) por 13 días; c) almacenado a  $4 \pm 2^\circ\text{C}$  sin empaque (SE), cero perforaciones (00P), cinco perforaciones (05P), 10 perforaciones (10P), 15 perforaciones (15P) y 20 perforaciones (20P) por 29 días. ....49

**Figura 8.** Ángulo de tono o °hue en nopales sin espinas: a) almacenados a  $4 \pm 2^\circ\text{C}$  y  $19 \pm 2^\circ\text{C}$  por 29 y 13 días, respectivamente b) almacenados a  $19 \pm 2^\circ\text{C}$  sin empaque (SE), cero perforaciones (00P), cinco perforaciones (05P), 10 perforaciones (10P), 15 perforaciones (15P) y 20 perforaciones (20P) por 13 días; c) almacenados a  $4 \pm 2^\circ\text{C}$  sin empaque (SE), cero perforaciones (00P), cinco perforaciones (05 P), 10 perforaciones (10P), 15 perforaciones (15P) y 20 perforaciones por 29 días .....51

**Figura 9.** Chroma en nopales verdura desespinados: a) almacenados a  $4 \pm 2^\circ\text{C}$  y  $19 \pm 1^\circ\text{C}$ ; b) almacenados  $19 \pm 1^\circ\text{C}$  sin empaque (SE), cero perforaciones (00P), cinco perforaciones (05 P), 10 perforaciones (10 P), 15 perforaciones (15P) y 20 perforaciones (20P) por siete días; c) almacenado  $4 \pm 2^\circ\text{C}$  sin empaque (SE), cero perforaciones (00P), cinco perforaciones (05 P), 10 perforaciones (10 P), 15 perforaciones (15P) y 20 perforaciones (20P) por 29 días. ....53

**Figura 10.** pH en nopales desespinados: a) almacenados a  $4 \pm 2^\circ\text{C}$  y  $19 \pm 1^\circ\text{C}$  por 29 y 13 días, respectivamente; b) almacenados a  $19 \pm 1^\circ\text{C}$  sin empaque (SE), cero perforaciones (00P), cinco perforaciones (05 P), 10 perforaciones (10 P), 15 perforaciones (15P) y 20 perforaciones (20P) por 13 días; c) almacenados  $4 \pm 2^\circ\text{C}$  sin empaque (SE), cero perforaciones (00P), cinco perforaciones (05 P), 10 perforaciones (10 P), 15 perforaciones (15P) y 20 perforaciones (20P) por 29 días. ....55

**Figura 11.** Acidez titulable (%) en nopales desespinados: a) almacenados a  $4 \pm 2^\circ\text{C}$  y  $19 \pm 1^\circ\text{C}$ , por siete y 29 días, respectivamente. B) almacenados a  $19 \pm 2^\circ\text{C}$  sin empaque (SE), cero perforaciones (00P), cinco perforaciones (05 P), 10 perforaciones (10P), 15 perforaciones (15P) y 20 perforaciones (20P) por siete días. C) almacenados a  $4 \pm 2^\circ\text{C}$  sin empaque (se), cero perforaciones (00P), cinco perforaciones (05P), 10 perforaciones (10 P), 15 perforaciones (15P) y 20 perforaciones (20P). ....57

**Figura 12.** Sólidos solubles totales (°brix) en nopales verdura desespinados: a) almacenados a  $4 \pm 2^\circ\text{C}$  y  $19 \pm 1^\circ\text{C}$  por siete y 29 días; b) almacenados a  $19 \pm 1^\circ\text{C}$  sin empaque (SE), cero perforaciones (00P), cinco perforaciones (05 P), 10 perforaciones (10 P), 15 perforaciones (15P) y 20 perforaciones (20P) por siete días; c) almacenado  $4 \pm 2^\circ\text{C}$  sin empaque (SE), cero perforaciones (00P), cinco perforaciones (05 P), 10 perforaciones (10 P), 15 perforaciones (15P) y 20 perforaciones (20P) por 29 días. ....59

**Figura 13.** Etanol ( $\mu\text{l g}^{-1}$ ) en nopales verdura desespinados: a) almacenados a  $4 \pm 2^\circ\text{C}$  y  $19 \pm 1^\circ\text{C}$ , por siete y 29 días, respectivamente; b) almacenado  $19 \pm 1^\circ\text{C}$  sin empaque (SE), cero perforaciones (00P), cinco perforaciones (05 P), 10 perforaciones (10 P), 15 perforaciones (15P). C) y 20 perforaciones (20P) por siete días; b) almacenados a  $4 \pm 2^\circ\text{C}$  sin empaque (SE), cero perforaciones (00P), cinco perforaciones (05P), 10 perforaciones (10p), 15 perforaciones (15P) y 20 perforaciones (20P), por 29 días.....61

**Figura 14.** Acetaldehído ( $\mu\text{l kg}^{-1}$ ) en nopales desespinados: a) almacenados a  $4 \pm 2^\circ\text{C}$  y  $19 \pm 1^\circ\text{C}$ , por siete y 29 días, respectivamente; b) almacenados a  $19 \pm 1^\circ\text{C}$  sin empaque (SE), cero perforaciones (00P), cinco perforaciones (05 P), 10 perforaciones (10 P), 15 perforaciones (15P) y 20 perforaciones (20P), por siete días; c) almacenados a  $19 \pm 1^\circ\text{C}$  sin empaque (SE), cero perforaciones (00P), cinco perforaciones (05 P), 10 perforaciones (10 pP), 15 perforaciones (15P) y 20 perforaciones (20P). ....62

**Figura 15.** Pérdida de peso (%) en nopales verdura desespinados: a) almacenados a  $4 \pm 2^\circ\text{C}$  y  $19 \pm 1^\circ\text{C}$ , por siete y 29 días, respectivamente; b) almacenados  $19 \pm 1^\circ\text{C}$  sin empaque (SE), cero perforaciones (00P), cinco perforaciones (05 P), 10 perforaciones (10P), 15 perforaciones (15P) y 20 perforaciones (20P) por siete días; c) almacenados  $4 \pm 2^\circ\text{C}$  sin empaque (SE), cero perforaciones (00P), cinco

perforaciones (05P), 10 perforaciones (10P), 15 perforaciones (15P) y 20 perforaciones (20P), por 29 días.....64

**Figura 16.** A) Firmeza (N) en nopales verdura desespinados: a) almacenados a  $4 \pm 2^\circ\text{C}$  y  $19 \pm 1^\circ\text{C}$ , por 13 y 29 días; b) almacenado  $19 \pm 1^\circ\text{C}$  sin empaque (SE), cero perforaciones (00P), cinco perforaciones (05P), 10 perforaciones (10P), 15 perforaciones (15P) y 20 perforaciones (20P), por 13 días; c) almacenados  $4 \pm 2^\circ\text{C}$  sin empaque (SE), cero perforaciones (00P), cinco perforaciones (05P), 10 perforaciones (10P), 15 perforaciones (15P) y 20 perforaciones (20P), por 29 días.....66

**Figura 17.** Luminosidad( $L^*$ ) en nopal verdura sin espinas almacenado a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  por siete días y a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  por 25 días. ....77

**Figura 18.** Luminosidad( $L^*$ ) en nopal verdura sin espinas almacenado a  $24 \pm 1^\circ\text{C}$  y a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$ . ....78

**Figura 19.** Luminosidad ( $L^*$ ) en nopal verdura desespinado. A) promedio total general por tratamiento (ácido ascórbico, ac. Ascórbico + ac. Fumárico y ácido ascórbico + málico). B) promedio por tratamiento (cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido fumárico y ácido ascórbico + ácido málico) en almacenamiento a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  por siete días. C) promedio por tratamientos (cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido fumárico y ácido ascórbico + ácido málico) en almacenamiento a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  por 25 días. ....80

**Figura 20.** A) Luminosidad( $L^*$ ) en nopal verdura sin espinas almacenado a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  por siete días. B) luminosidad ( $L^*$ ) en nopal verdura sin espinas almacenado a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  por 25 días. Las barras verticales indican el error típico. ....81

**Figura 21.** Ángulo hue en nopal verdura sin espinas almacenado a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  y a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$ .....83

**Figura 22.** A) Promedio total del ángulo de tono ( $^\circ\text{hue}$ ) general por tratamiento. B) ángulo de tono ( $^\circ\text{hue}$ ) promedio en nopal verdura tratado con cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido fumárico y ácido ascórbico + ácido málico almacenado a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  por siete días. C) ángulo de tono ( $^\circ\text{hue}$ ) promedio en nopal verdura tratado con cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido fumárico y ácido ascórbico + ácido málico almacenado a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  por 25 días. ....84

**Figura 23.** A) Ángulo hue o de tono en nopal verdura sin espinas almacenado a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$ . B) ángulo hue en nopal verdura sin espina almacenado a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$ . Las barras verticales indican el error típico. ....85

**Figura 24.** Chroma en nopal verdura sin espina almacenado a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  y a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$ .....87

**Figura 25.** A) Promedio total de chroma por tratamiento. B) promedio de chroma en nopal verdura tratado con cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido fumárico y ácido ascórbico + ácido málico y almacenado a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  por siete días. C) chroma promedio en nopal verdura tratado con cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido fumárico y ácido ascórbico + ácido málico y almacenado a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  por 25 días. ....88

**Figura 26.** A) Chroma en nopal verdura sin espinas almacenado a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$ . B) chroma en nopal verdura almacenado a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$ . Las barras verticales indican el error típico. ....89

**Figura 27.** Ph en nopal verdura sin espina almacenado a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  y a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$ .....90

**Figura 28.** A) ph general por tratamiento en nopal verdura desespinado. B) ph promedio en nopal verdura desespinado tratado con cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido málico, ácido ascórbico + ácido fumárico almacenado a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  por siete días. C) ph promedio en nopal verdura tratado con cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido málico, ácido ascórbico + ácido fumárico almacenado a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  por 25 días. ....91

**Figura 29.** A) ph en nopal verdura sin espinas almacenado a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$ . B) ph en nopal verdura sin espinas almacenado a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$ . Las barras verticales indican el error típico. ....92

<b>Figura 30.</b> Acidez titulable en nopal verdura sin espinas almacenado a $24 \pm 2^\circ\text{C}$ y a $5 \pm 2^\circ\text{C}$ .....	93
<b>Figura 31.</b> A) acidez titulable total general por tratamiento. B) acidez titulable en nopal verdura tratado con cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido málico, ácido ascórbico + ácido fumárico almacenado a $24 \pm 2^\circ\text{C}$ por siete días. C) acidez titulable en nopal verdura tratado con cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido málico, ácido ascórbico + ácido fumárico almacenado a $5 \pm 2^\circ\text{C}$ por siete días. .	95
<b>Figura 31.</b> A. Acidez titulable en nopal verdura sin espinas almacenado a $24 \pm 2^\circ\text{C}$ . B. Acidez titulable en nopal verdura sin espinas almacenado a $5 \pm 2^\circ\text{C}$ . Las barras verticales indican el error típico.....	96
<b>Figura 32.</b> Sólidos solubles totales ( $^\circ\text{Brix}$ ) en nopal verdura sin espinas almacenado a $24 \pm 2^\circ\text{C}$ y a $5 \pm 2^\circ\text{C}$ .....	97
<b>Figura 33.</b> Sólidos solubles totales (SST) generales por tratamiento. A) sólidos solubles totales ( $^\circ\text{Brix}$ ) promedio en nopal verdura tratado con cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido málico, ácido ascórbico + ácido fumárico almacenado a $24 \pm 2^\circ\text{C}$ por siete días. Sólidos solubles totales ( $^\circ\text{Brix}$ ) en nopal verdura tratado con cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido málico, ácido ascórbico + ácido fumárico almacenado a $5 \pm 2^\circ\text{C}$ por 25 días. .	98
<b>Figura 34.</b> A) Sólidos solubles totales ( $^\circ\text{Brix}$ ) en nopal verdura sin espinas almacenado a $24 \pm 2^\circ\text{C}$ . B) sólidos solubles totales ( $^\circ\text{Brix}$ ) en nopal verdura sin espinas a $4 \pm 2^\circ\text{C}$ . Las barras verticales indican el error típico.....	99
<b>Figura 35.</b> Firmeza (N) en nopal verdura sin espinas almacenado a $24 \pm 2^\circ\text{C}$ y $5 \pm 2^\circ\text{C}$ .....	100
<b>Figura 36.</b> A) Firmeza (N) en nopal verdura sin espinas. B) firmeza en nopal verdura tratado con cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido málico, ácido ascórbico + ácido fumárico almacenado a $24 \pm 2^\circ\text{C}$ por siete días. C) firmeza en nopal verdura tratado con cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido málico, ácido ascórbico + ácido fumárico almacenado a $5 \pm 2^\circ\text{C}$ por 25 días. .	102
<b>Figura 37.</b> A) Firmeza (N) en nopal verdura sin espinas almacenado a $24 \pm 2^\circ\text{C}$ por siete días. B) firmeza (N) en nopal verdura sin espinas almacenado a $5 \pm 2^\circ\text{C}$ por 25 días. Las barras verticales indican el error típico. ....	103
<b>Figura 38.</b> Pérdida de peso en nopales almacenados por siete días a $24 \pm 2^\circ\text{C}$ y en refrigeración ( $5 \pm 2^\circ\text{C}$ ) durante 25 días. ....	104
<b>Figura 39.</b> A) Pérdida de peso (%) en nopal verdura desespinado. B) Pérdida de peso (%) en nopal verdura desespinado tratado con cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido fumárico y ácido ascórbico + ácido málico almacenado a $24 \pm 2^\circ\text{C}$ por siete días. C) Pérdida de peso (%) en nopal verdura desespinado tratado con cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido fumárico y ácido ascórbico + ácido málico almacenado a $5 \pm 2^\circ\text{C}$ por 25 días. ....	105
<b>Figura 40.</b> A) Pérdida de peso (%) en nopal verdura sin espinas almacenado a $24 \pm 2^\circ\text{C}$ por siete días. B) Pérdida de peso (%) en nopal verdura sin espinas almacenado a $5 \pm 2^\circ\text{C}$ por 25 días. Las barras verticales indican el error típico. ....	106
<b>Figura 41.</b> Porcentaje de $\text{O}_2$ (%) al interior del empaque en nopal verdura desespinado almacenado a $5 \pm 2^\circ\text{C}$ y $24 \pm 2^\circ\text{C}$ por ocho y 25 días, respectivamente. ....	108
<b>Figura 42.</b> A) $\text{O}_2$ al interior del empaque (%) en nopal verdura desespinado. B) $\text{O}_2$ al interior del empaque (%) en nopal verdura desespinado tratado con cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido fumárico y ácido ascórbico + ácido málico almacenado por siete días a $24 \pm 2^\circ\text{C}$ . C) $\text{O}_2$ al interior del empaque (%) en nopal verdura desespinado tratado con cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido fumárico y ácido ascórbico + ácido málico almacenado a $5 \pm 2^\circ\text{C}$ por 25 días.....	109

<b>Figura 43.</b> A) O <sub>2</sub> al interior del empaque con nopal verdura sin espinas almacenado a 24 ± 2°C. B) O <sub>2</sub> al interior del empaque con nopal verdura sin espinas almacenado a 5 ± 2°C. Las barras verticales indican el error típico.....	110
<b>Figura 44.</b> % de CO <sub>2</sub> al interior del empaque en nopal verdura desespinado y almacenado a 5 ± 2 y 24 ± 2°C.....	111
<b>Figura 45.</b> A) CO <sub>2</sub> al interior del empaque (%) en nopal verdura desespinado. B) CO <sub>2</sub> al interior del empaque (%) en nopal verdura desespinado tratado con cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido fumárico y ácido ascórbico + ácido málico almacenado por siete días a 24 ± 2°C. C) co <sub>2</sub> al interior del empaque (%) en nopal verdura desespinado tratado con cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido fumárico y ácido ascórbico + ácido málico almacenado a 5 ± 2°C por 25 días.....	112
<b>Figura 46.</b> CO <sub>2</sub> al interior del empaque con nopal verdura sin espinas: a) almacenado a 24 ± 2°C. B) almacenado a 5 ± 2°C. Las barras verticales indican el error típico. ....	113
Figura 47. Tasa respiratoria (ml de CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ) en nopal verdura desespinado y almacenado a 5 ± 2 y 24 ± 2°C.....	114
<b>Figura 48.</b> A) Tasa respiratoria general (ml de CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ) en nopal verdura desespinado. B) tasa respiratoria (ml de CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ) en nopal verdura desespinado tratado con cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido fumárico y ácido ascórbico + ácido málico almacenado por siete días a 24 ± 2°C. C) tasa respiratoria (ml de CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ) en nopal verdura desespinado tratado con cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido fumárico y ácido ascórbico + ácido málico almacenado a 5 ± 2°C por 25 días. ....	115
<b>Figura 49.</b> A) Tasa respiratoria (µl CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ) en nopal verdura sin espinas almacenado a 24 ± 2°C por siete días. B) tasa de respiración (µl CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ) en nopal verdura sin espinas almacenado a 5 ± 2°C por 25 días. ....	116
<b>Figura 50.</b> Apariencia de los nopales almacenados a 5 ± 2°C. A) día uno de evaluación. B) tratados con cloro en el día 25. C) tratados con ácido ascórbico día 25. D) tratados con ácido ascórbico + fumárico día 23. ....	118
<b>Figura 51.</b> A) Dinámica poblacional de <i>Salmonella sp</i> en almacenamiento refrigerado (4 ± 2°C) y al ambiente (19 ± 1°C). B) dinámica poblacional de <i>E. coli</i> . En almacenamiento refrigerado (4 ± 2°C) y al ambiente (24 ± 2°C).....	132
<b>Figura 52.</b> Dinámica poblacional de <i>E. coli</i> . A) almacenamiento al ambiente 24 ± 2°C. B) almacenamiento refrigerado a 4 ± 2°C. ....	136
<b>Figura 53.</b> Dinámica de poblacional de <i>Salmonella sp</i> . A) almacenamiento a 19 ± 1°C. B) almacenamiento a 4 ± 2°C. ....	138

## INTRODUCCIÓN GENERAL

El nopal verdura *Opuntia spp* de tolerancia a suelos pobres y regiones semiáridas, ha sido distribuido en varias regiones del mundo, debido a sus propiedades nutraceuticas (Rodríguez-Félix y Cantwell, 1988; Haile *et al.*, 2002; Saénz, 2003; Stintzing y Reinhold, 2005; Lee *et al.*, 2005; Feugang *et al.*, 2006; Hernández-Urbiola *et al.*, 2011). Es destinado principalmente a la explotación de sus frutos maduros para consumo humano en Italia, Argentina y Chile (Besile 2001; Odepa-Ciren, 2003; Ochoa y Uhart, 2004). Sus pencas o tallos son empleados también en la alimentación de ganado en Argentina y Brasil (Kiestlin, 1998). México, adicionalmente del aprovechamiento de los frutos y pencas, emplea los brotes tiernos de *Opuntia spp* (nopalitos o nopal verdura) como hortaliza, lo que lo convierte en el principal productor (723,815.42 t anuales) y consumidor de éste cultivo en el mundo (5.38 Kg de consumo per cápita) (SIAP, 2010; Claridades Agropecuarias, 2010) con una superficie cultivada de 12,472.5 ha (SIAP, 2010).

El nopal verdura (*Opuntia spp*) se encuentra dentro de las 40 hortalizas más cultivadas en México con un valor de la producción cercano a 671, 212,700 pesos (SIAP, 2010). Se le considera un producto étnico, consumido principalmente por mexicanos; sin embargo, hoy día debido a su contenido de fibra y minerales ( Rodríguez-Félix y Cantwell, 1988; Lee *et al.*, 2005; Stintzing y Reinhold, 2005; Feugang *et al.*, 2006), es demandado por los Estados Unidos de América, Canadá, Japón, Italia y Turquía (Osorio-Córdoba *et al.*, 2011). Entre las principales limitantes de éste producto en comercialización están la perecibilidad, el cambio de apariencia debido a la pérdida de color verde brillante y oscurecimiento de los tejidos cortados, sobre todo cuando se lleva a cabo la eliminación de las espinas y rebanado, debido a que ocurre un aumento en el metabolismo y con ello los procesos de deterioro que reducen la vida útil (Artés *et al.*, 2007; Kim, 2007; Fortiz-Hernández y Rodríguez-Félix, 2010).

Se han realizado estudios concernientes a la conservación de la calidad y apariencia del nopal verdura mínimamente procesado donde, la refrigeración en combinación de atmósferas modificadas o controladas y la aplicación de ácido ascórbico han sido útiles para dichos propósitos en ‘Milpa Alta’ y ‘Copena F1’ (Guevara *et al.*, 2001; Guevara *et al.*, 2003; Quevedo-Preciado *et al.*, 2005; Fortiz-Hernández y Rodríguez-Félix 2010; Yahia y Guevara-Arauz, 2005).

2010); pero la variedad es determinante en el comportamiento postcosecha, sobre todo, en cuanto al oscurecimiento de los tejidos, el cual está directamente relacionado con la apariencia (Aguilar-Sánchez *et al.*, 2007).

Otro aspecto preocupante del nopal verdura lo representa la inocuidad, pues el producto en muchos de los casos es producido sin los lineamientos de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y llevado directamente de la parcela al mercado, donde la eliminación de las espinas y troceado es realizado manualmente por el vendedor sin que se tomen medidas higiénicas como la desinfección y lavado del nopal, es decir sin Buenas Prácticas de Manufactura (BPM), lo cual podría implicar riesgos asociados a brotes de enfermedades transmitidas por alimentos cuando el producto es consumido crudo. Aunado a lo anterior, en México no existen plaguicidas autorizados para su empleo en nopal verdura (CICOPLAFEST, 2004) y, por lo tanto, no hay límites máximos de residuos que garanticen la inocuidad del producto al consumidor, pues el manejo fitosanitario con pesticidas es necesario para aumentar la producción y dar mejor apariencia al producto (Zhang *et al.*, 2007; Aldana *et al.*, 2008).

Para abordar los problemas planteados se diseñaron tres experimentos relacionados con la calidad y preservación de los cladodios de nopal verdura sin espinas; un cuarto concerniente a la sobrevivencia de *Salmonella sp* y *Escherichia coli* en el producto libre de espinas y troceado y, un quinto referente a residuos de los insecticidas Malathion 1000-E ® (malation) y Lorsban ® (clorpirifós etílico). Por cada experimento se tuvieron los siguientes objetivos:

### **Objetivos generales**

- a) Determinar la calidad del nopal verdura libre de espinas en tres estados de desarrollo y el efecto de diferentes niveles de microperforado en las atmósferas modificadas y de algunos desinfectantes en la conservación y apariencia de nopal verdura desespinado en dos temperaturas y tiempos de almacenamiento.
- c) Estimar el crecimiento de las poblaciones de poblaciones de *Salmonella sp* y *E. coli* en nopal verdura troceado y tratado con desinfectantes en una contaminación posterior a la desinfección.
- d) Determinar el efecto del lavado en las concentraciones de los residuos de insecticidas Malatión 1000-E® y Lorsban®.

## Objetivos específicos

- a) Determinar la calidad del nopal verdura libre de espinas en tres estados de desarrollo, almacenado por seis días a  $8 \pm 2^\circ\text{C}$ .
- b) Establecer el número de microperforaciones adecuado para la conservación de nopal verdura ‘Atlixco’ desespinado a  $4 \pm 2^\circ\text{C}$  y  $19 \pm 2^\circ\text{C}$ , por 29 y 12 días, respectivamente.
- c) Evaluar el efecto del cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido fumárico y ácido ascórbico + ácido málico en la conservación de nopal verdura sin espinas en combinación con la mejor atmósfera microperforada por 15 y siete días a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  y  $24 \pm 2^\circ\text{C}$ , respectivamente.
- d) Cuantificar el efecto del cloro y ácido ascórbico sobre el crecimiento de las poblaciones de *Salmonella sp* y *E. coli* en una contaminación posterior a la desinfección de nopal verdura troceado y embasado en atmósferas modificadas microperforadas.
- e) Medir el efecto del lavado en las concentraciones de los residuos de los insecticidas malatión y clorpirifós etílico en nopal verdura 24 horas después de la aplicación de los pesticidas.

## Hipótesis

- Existen diferencias en cuanto a algunos atributos de calidad en postcosecha, entre estados de desarrollo de nopal verdura sin desespinado.
- Al menos un nivel de microperforaciones aumenta la vida de anaquel del nopal verdura sin espinas.
- Al menos uno de los tratamientos mejora la apariencia del nopal verdura sin espinas.
- Al menos uno de los tratamientos puede tener un efecto bactericida durante el almacenamiento del nopal verdura mínimamente procesado.
- El lavado disminuye la concentración de los residuos de los insecticidas Malathion 1000E® (malatión) y Lorsban® (clorpirifós etílico) en nopal verdura.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Importancia

*Opuntia ficus indica* L. es una de las cactáceas más trascendentales en el mundo, debido a sus frutos y tallos comestibles, también llamados nopalitos (Quisling, 1998). Ésta especie fue fitomejorada y domesticada entre 8000-9000 años atrás por los antiguos pobladores de México, de donde fue llevada a otras regiones del mundo por sus propiedades antiescorbúticas, frutos comestibles y la presencia del insecto grana cochinilla, del cual los pueblos precolombinos obtenían carmín (tinte) (Kiestling, 1998; Kriffith 2004; Reyes-Agüero *et al.*, 2005). Algunos de sus nombres comunes refieren a la carencia de espinas o forma (Reyes-Agüero *et al.*, 2005).

Actualmente, *O. ficus indica* se encuentra cultivada principalmente para la producción de frutos (tunas) en el continente Americano, África, Australia y el Mediterráneo (Piga, 2004). En México, su aprovechamiento implica también el consumo de los tallos tiernos (7-30 cm de longitud) como verdura (Norma de Calidad del Codex Alimentarius, CODEX STAN 185-1993), la cual tiene una producción anual de 723,815.42 ton y un consumo per cápita promedio de 5.38 kg anuales (SIAP, 2010; Claridades Agropecuarias, 2011).

El nopal verdura incluye, aparte de *O. ficus indica* L. (Mill), a las especies *O. tormentosa*, *O. hypticantha*, *O. robusta*, *O. inermis* Coultier y *O. undulata* (Norma de Calidad del Codex Alimentarius, CODEX STAN 185-1993), de las que destaca con la mayor superficie cultivada *O. ficus indica* L. (Mill) con las siguientes variedades: ‘Milpa alta’, ‘Atlixco’, ‘Copena VI’, ‘Copena F1’, ‘Moradilla’, ‘Blanco’, ‘Negro’, ‘Blanco con espinas’, ‘Polotitlán’ (Claridades Agropecuarias, 2001; Aguilar-Sánchez *et al.*, 2007).

### Propiedades nutricionales

La presencia de los compuestos químicos en los cladodios o tallos de nopal verdura puede variar (Stintzing *et al.*, 2005) con la variedad, estación de cosecha y edad del cladodio (Retamal *et al.*, 1987; Rodríguez-Félix y Cantwell, 1988), pero en general, según Feugang *et al.* (2006), éste producto contiene diferentes compuestos nutritivos y altas cantidades de fibra y minerales. Al respecto, Hernández-Urbiola *et al.* (2011) indican que 100 g de nopal de 30 cm de

longitud contienen 5.03 g de humedad, 17.65 g de cenizas, 2.16 g de grasa, 11 g de fibra, 7.07 g de proteínas, 42.94 g de carbohidratos, minerales como Fe, Mg, P, Mn, Zn, V, Ca, Co y Se.

Otros compuestos que también han sido encontrados en nopal verdura son azúcares en bajas concentraciones (Muñoz de Chávez *et al.*, 1995), ácidos fenólicos (felúrico, p-coumarico, 4-hidroxibenzoico, cafeico, salicílico, gálico) (Guevara-Figueroa *et al.*, 2010), flavonoides (Isorhamnetin 3-O-(2, 6-dirhamnosyl) glucoside e Isorhamnetin 3-O-D-rutinoside) (Cai *et al.*, 2010), carotenoides ( $\alpha$  criptoxantina, luteína,  $\beta$  caroteno) (Jaramillo-López *et al.*, 2003), taninos (Hernández-Castillo *et al.*, 2011) y terpenos (Jianqin *et al.*, 2002; Park *et al.*, 2001), glutamina, valina y serina como principales aminoácidos (Brükner y Westhauser, 2003) y, de acuerdo con Bañuelos *et al.*, (2012), los cladodios de nopal (*O. ficus indica*), al igual que los frutos, pueden ser una alternativa en la prevención de enfermedades cancerígenas en humanos.

### **Clasificación taxonómica**

El nopal *Opuntia ficus indica* L. es clasificada por Bravo (1978) de la siguiente manera:

Reino: Vegetal

Sub-reino: Embriophita

División: Angiosperma

Clase: Dicotiledonea

Subclase: Dialipetalas

Orden: Opuntiales

Familia: Cactaceae

Subfamilia: Opuntioideae

Tribu: Opuntiae

Género: *Opuntia*

Nombre científico: *Opuntia ficus indica* L. (Mill.)

### **Procesamiento mínimo en postcosecha**

Las frutas y hortalizas cortadas en fresco, llamadas también mínimamente procesadas, ligeramente procesadas, procesadas frescos, pre-preparadas o de la IV gama, son productos

altamente demandados hoy en día (Artés-Calero, 2006), al estar crudos, pelados o cortados, listos para su consumo o preparación y, por los beneficios que aportan a la salud humana (Salinas-Hernández *et al.*, 2007). Sin embargo, como consecuencia de las heridas del procesamiento mínimo, éstos productos presentan mayor respiración y síntesis de etileno que aquellos enteros, generándose oscurecimiento u oxidación en tejidos y mayor deterioro (Saénz, *et al.* 2006; Artés *et al.*, 2007; Kim, 2007), los cuales son considerados como limitaciones de comercialización en nopal verdura con procesamiento mínimo (Fortiz-Hernández y Rodríguez-Félix, 2010).

El oscurecimiento de los tejidos cortados en los productos hortofrutícolas es atribuido principalmente a la oxidación de dihidrofenoles a quinonas (o-quinonas) por la enzima Polifenol-Oxidasa (Lamikanra, 2002; Hopfinger, *et al.* 1984; Aguilar-Sánchez *et al.*, 2007), los cuales son producidos como reacción a las heridas y producción de etileno por la enzima Fenil Amonialiasa (Laminkaya, 2002).

Por su parte, el oscurecimiento no enzimático, que también afecta a los productos agrícolas mínimamente procesados, puede ocurrir debido a la exposición del producto a altas temperaturas que dan como resultado, oxidación y polimerización de diversos compuestos químicos como quinonas, compuestos fenólicos, grupos amino de proteínas (péptidos, aminoácidos), aminos, ácido ascórbico (Amiot, 1997).

### **Tecnologías postcosecha**

La refrigeración es una tecnología postcosecha importante en preservación de la calidad de los productos hortícolas en el almacenamiento, debido a que aplaza el deterioro, incluido el oscurecimiento enzimático y crecimiento microbiano (Laminaka, 2002). En nopal verdura, la refrigeración está obligada a combinarse con otras tecnologías como las atmósferas modificadas y controladas, debido a que la sensibilidad del producto al frío que ocasiona deterioro en apariencia y calidad (Cantwell *et al.*, 1992).

Las atmósferas modificadas refrigeradas contribuyen a la disminución de daños por frío y oscurecimiento enzimático en diversos productos, sobre todo en los mínimamente procesados, donde además de prolongar la vida de anaquel, reducen el oscurecimiento enzimático, la síntesis de etileno, tasa respiratoria, pérdida de azúcares, pérdida de acidez, degradación de clorofila,

antocianinas y carotenos, pérdida de peso y, pueden limitar la acción microbiana (Laminkara, 2002; Del Valle *et al.*, 2004; Artés *et al.*, 2007). No obstante, una atmósfera modificada inapropiada podría resultar en anaerobiosis (Del Valle *et al.*, 2004; González *et al.*, 2010).

Entre las atmósferas modificadas, las atmósferas modificadas microperforadas son las más empleadas en tejidos tiernos y/o mínimamente procesados, al presentar éstos una alta tasa respiratoria, pues el limitado pero, suficiente intercambio gaseoso entre el interior del empaque con el exterior permite una mejor preservación y calidad del producto al no generarse anaerobiosis (Del Valle *et al.*, 2004; González *et al.*, 2010; Villanueva, 2005).

Goldman *et al.*, (2005) reportan que la vida de anaquel, en nopal verdura (*Nopalea cochenillifera*) fresco cortado, puede prolongarse hasta por 12 días en almacenamiento con atmósferas microperforadas refrigeradas a 5°C; Osorio-Córdoba *et al.* (2011) señalan una vida de anaquel de 20 días en nopal ‘Milpa Alta’ desespinado, mediante el empaque en atmósferas modificadas con aire, nitrógeno, y la mezcla de 5 KPa O<sub>2</sub>+4KPa CO<sub>2</sub> y una refrigeración a 4°C, debido a reducciones en el oscurecimiento enzimático, pero también indican la presencia de metabolitos secundarios. Fortiz-Hernández y Rodríguez-Félix (2010) reportan que en nopal verdura ‘Copena F1’ mínimamente procesado, el inicio del oscurecimiento ocurrió entre los días 14 y 15 del almacenamiento a 5°C con respecto al testigo, en el que se observó dicha apariencia a los 7 días. Así mismo, Guevara *et al.* (2003) conservaron mejor el color y la firmeza de nopal verdura entero con espinas, en empaques de películas permeables como atmósferas modificadas en refrigeración (5°C), con respecto a aquellos empacados con película perforada (24.6 mm) y el testigo sin empaque a la misma temperatura.

La eficiencia de las atmósferas modificadas refrigeradas, en la disminución del oscurecimiento enzimático, es aumentada en los productos mínimamente procesados con la aplicación previa al empaque de aditivos. Entre éstos se prefieren a aquellos sustentables y de origen natural como los ácidos acético, láctico, málico, cítrico y ascórbico, los cuales presentan una actividad antioxidante que retarda el efecto de la Polifenol-Oxidasa (PPO) (Rodríguez-Félix, 2002; Samelis y Sofos, 2003; Lanciotti *et al.* 2004).

Quevedo-Preciado *et al.* (2005) lograron extender la vida útil del nopal verdura ‘Copena’ troceado hasta por 20 días con la aplicación de sorbato de potasio + ácido ascórbico (0.5 M) y un

empaques de película plástica (espesura de 35.3  $\mu\text{m}$ , permeabilidad al vapor de agua de 13.95 a 17.05  $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-2}$  a 21° C y 100% HR, permeabilidad al  $\text{O}_2$  de 6000 a 8000  $\text{cm}^3 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$  a 21°C y una atm y, permeabilidad al  $\text{CO}_2$  19, 000 a 22, 000  $\text{cm}^3 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$  a 21°C y una atm de presión) en almacenamiento a 5°C.

## **Inocuidad**

La inocuidad en un producto alimenticio está garantizada por los sistemas de reducciones de riesgos de contaminación (SRRC), el uso de las buenas prácticas agrícolas (BPA) y de manufactura (BPM), ya que reducen al máximo las probabilidades de contaminación biológica y química de los productos hortícolas y no comprometen la calidad, sostenibilidad y rentabilidad de los procesos productivos (FAO, 2003). Estos sistemas son todavía más importantes en el caso de los productos frescos cortados, los cuales debido a los procesos de pelado y cortado requieren una alta manipulación, que los hace vulnerables a la contaminación microbiológica y aumentan en el consumidor los riesgos de padecer enfermedades transmitidas por los alimentos, al ser productos crudos listos para comer (Castro *et al.*, 2004).

La contaminación química de los productos agrícolas, al igual que la microbiológica compromete la salud del consumidor, por lo que, en los SRRC se realiza monitoreos diseñados para tales fines (LFSV, 2007). Los casos en los que se incrementa el riesgo por este tipo de contaminación son debidos a la aplicación de productos no autorizados, a una dosis de plaguicida mayor a la recomendada o a que los intervalos de seguridad entre la aplicación y la cosecha no fueron respetados.

## **Contaminación microbiológica**

En México, el nopal verdura cocinado es un acompañante de las comidas, pero debido a sus propiedades en el tratamiento de la diabetes y su alto contenido de fibra también es consumido en crudo como licuado o en forma de ensalada (Claridades Agropecuarias, 2011). Hasta ahora no existen reportes que vinculen a esta hortaliza con brotes de enfermedades infecciosas, sin embargo, Hernández-A. *et al.* (2009) detectaron la presencia de *Salmonella* en nopal verdura (*O. ficus indica* L.) en Morelos, México y, Landa (2012) reporta que la calidad microbiológica de jugos preparados a base de nopal, en expendios de la zona centro de la ciudad de Texcoco,

México, fue deficiente debido a la presencia de *E. coli*. Por su parte, Martínez-Martínez (2011) indica la sobrevivencia tanto de tanto de dicho patógenos como de *E. coli* en nopal verdura entero con y sin espinas almacenado por 16 días a 4 y 18°C.

### **Residuos de plaguicidas**

En el cultivo de nopal verdura las principales plagas que se pueden presentar son: grana cochinilla (*Dactylopius indicus* Green: Homóptera: Dactylopiidae), picudo barrenador (*Cactophagus spinolae* Gyll: Coleóptera: Curculionidae), picudos de las espinas (*Cylindrocoptorus birradiatus* Champ: Coleóptera: Curculionidae), gusano blanco del nopal (*Lanifera ciclades* Druce: Lépidoptera: Pyralidae), gusano cebra (*Olycella nephelepsa* Dyar: Lépidoptera: Pyralidae), chinche gris (*Chelinidea tabulata* Burn: Hemíptera: Coreidae), chinche roja (*Hesperolabops gelastop* Kirk: Hemíptera: Miridae), trips del nopal (*Serivotrips opuntiae* Hood: Thysanoptera: Thripidae), (*Phyllophaga spp*: Coleóptera: Scarabeidae), barrenador del nopal (*Moneilema variolaris* Thomson: Coleóptera: Cerambycidae), caracol (*Helix aspersa* Muller: Stylommatophora: Helicidae) (Badii y Flores, 2001).

La aplicación de plaguicidas durante el proceso de producción de los productos hortofrutícolas es necesaria para el control de plagas que afectan negativamente la calidad y rendimiento (Zhang *et al.*, 2007; Aldana *et al.*, 2008). No obstante, muchos desordenes han sido asociados a la exposición de niveles inseguros de plaguicidas, directamente debido a la aplicación o a causa de la ingesta de alimentos contaminados con dichos productos químicos (Zheng *et al.*, 2007; Giamou *et al.*, 2008), pues son bioacumulables en tejidos de animales y humanos (Liu *et al.*, (2009).

En México, no existen plaguicidas autorizados en nopal verdura (*O. ficus indica* L.) para el control de plagas (CICOPLAFEST, 2004), por lo que los límites máximos residuos de plaguicidas (mg Kg<sup>-1</sup>) que aseguren la salud del consumidor son desconocidos. Sin embargo, Martínez (2011) detectó la presencia de los insecticidas dimetoato, ometoato, clorpirifós etílico, malatión, paratión metílico (organofosforados) y bifentrina (piretroide) en monitoreos realizados a cladodios de nopal verdura ‘Atlixco’ en la comunidad de San Martín de las Pirámides México y; Aldana *et al.* (2008) informaron en el producto cultivado en Sonora México, residuos de diazinón, clorpirifós, malatión y paratión metílico

Entre los daños que se mencionan por la exposición a insecticidas, clorpirifós puede estar asociado a efectos negativos en el DNA del espermatozoide humano, deterioros neuronales, y disminuciones en la capacidad de aprender (Meeker *et al.*, 2004; Guillet *et al.* 1998; Prendergast *et al.*, 1998). Rauh *et al.* (2006) señalan que las consecuencias neurotóxicas de la exposición a clorpirifós, en niños durante los 3 primeros años de vida, resultan en problemas de atención, afecciones psicomotoras y cognitivas y, menor desarrollo motor y mental.

En cuanto a malatión, Blasiak *et al.* (1999) concluyen que los metabolitos secundarios malaoxón e isomaltión pueden ocasionar citotoxicidad, genotoxicidad, mutaciones genéticas, rompimiento de DNA y supresión de genes.

### Literatura citada

- Aguilar Sánchez, L., M. T. Martínez-Damián, A. F. Barrientos-Priego, N. Aguilar-Gallegos y C. Gallegos-Vásquez. 2007. Potencial de Oscurecimiento Enzimático de Variedades de Nopalitos. J. PACD 165-183.
- Aldana M. M. L., M. del C. García M., G. Rodríguez O., M. I. Silveira G., A. I. Valenzuela Q. 2008. Determinación de insecticidas organofosforados en nopal verdura fresco y deshidratado. Revista Fitotecnia Mexicana. 31(2):133-139.
- Amiot, M. J., A. Fleuriet, V. Cheynier and J. Nicolas. 1997. Phenolic compounds and oxidative mechanism in fruit and vegetables. P 51-85. *In* Tomas-Barberan, F. A. and R. J. Robin (eds.) Phytochemistry of fruit and vegetables. Oxford University Press, New York, USA.
- Artés F., P. Gómez, F. Artés-Hernández, E. Aguayo and V. Escalona. 2007. Improved strategies for keeping overall quality of fresh-cut produce. Acta Horticulturae 746:245-257.
- Artés-Calero F. 2006. El envasado en atmósferas modificadas mejora la calidad de consumo de los productos hortofrutícolas intactos y mínimamente procesados en fresco. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha. 7(2):61-85.
- Badii M. H. and A. E. Flores. 2001. Prickly pear cacti pest and their control in México. Florida Entomologist 84(4):503-505.
- Bañuelos, G. S., C. Stushnoff, S. S. Walse, T. Zuber, S. I. Yang, I. J. Pickering, J. L. Freedman. Bio-fortified, selenium enriched, fruit and cladode of three *Opuntia* Cactus pear cultivars grown agricultural drainage sediment for use in nutraceutical foods. Food Chemistry 135 (1):9-16.

- Blasiak J., P. Jaloszinsky, A. Trzeciak, K. Szifter. 1999. In vitro studies of genotoxicity of the organophosphorus insecticides malathion and its two analogues. *Mutation Research /Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*. 445(2): 275-283.
- Bravo, H. 1978. Las Cactáceas de México. 2da edición, vol. 1. Universidad Nacional Autónoma de México. México. Pp 743.
- Brükner, H. and T. Westhauser. 2003. Chromatografic determination of L- and D-amino acids in plants. *Amino Acids* 24:43-55.
- Cantwell M., A. Rodríguez-Félix and F. Robles-Contreras. 1992. Postharvest physiology of prickly pear cactus stems. *Scientia Horticulturae* 50:1-9.
- Castro Del C. D., C. Chávez Q., W. Rubio C. and J. B. Váldez T. 2004. Sobrevivencia de *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* en frutos mínimamente procesados. *Revista Cubana de Salud Pública* 30(1).En línea 14-05-2012. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-34662004000100009&script=sci\\_arttext&tlng=en](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-34662004000100009&script=sci_arttext&tlng=en)
- CICOPLAFEST (Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas). 2004. Catalogo de Plaguicidas. CICOPLAFEST. SSA, SAGARPA, SEMARNAT, SE. México, D. F.
- CLARIDADES AGROPECUARIAS. 2001. El nopal, leyenda, comercio y futuro en México. 98:3-21. [http://www.infoaserca.gob.mx/claridades/revistas/098/pdf\\_19-marzo-2012](http://www.infoaserca.gob.mx/claridades/revistas/098/pdf_19-marzo-2012)
- CLARIDADES AGROPECUARIAS. 2011. Nopal y tuna: una mirada a su realidad actual. 213:3-12. [http://www.infoaserca.gob.mx/claridades/revistas/213/ca213-3.pdf\\_19-marzo-2012](http://www.infoaserca.gob.mx/claridades/revistas/213/ca213-3.pdf_19-marzo-2012).
- Del Valle V., E. Almenar, P. Hernández-Muñoz, J. M. Lagarón, R. Catala and R. Gavara. 2004. Volatile organic compound permeation through porous polymeric films for modified atmosphere packaging of food. *Society of Chemical Industry* 84: 937-942.
- EC. Pesticide EU-MRLs. EU Pesticide data base. European Comission. Regulation (EC) No. 39612005.2012. [http://ec.europa.eu/sanco\\_pesticides/public/index.cfm?event=homepage&CFID=332659&CFTOKEN=9a5cd4/de0a2817c-FAB2141C-B364-9BFE-8E9F0C0B7502D74E&jsessionid=3607c8b31a4d6c0e71d3](http://ec.europa.eu/sanco_pesticides/public/index.cfm?event=homepage&CFID=332659&CFTOKEN=9a5cd4/de0a2817c-FAB2141C-B364-9BFE-8E9F0C0B7502D74E&jsessionid=3607c8b31a4d6c0e71d3). En línea 14 de marzo de 2012.

- EPA. Title 40: Protection of Environment .Code of Federal Regulations. United States Environmental Protection Agency .2012. [http://ecfr.gpoaccess.gov/cgi/t/text/-idx?c=ecfr&sidbd32aab1f2263di89c2ea7ae45c321e9&tp=/ecfrbrowse/titlle40/40cfr/80main\\_0.2tpl](http://ecfr.gpoaccess.gov/cgi/t/text/-idx?c=ecfr&sidbd32aab1f2263di89c2ea7ae45c321e9&tp=/ecfrbrowse/titlle40/40cfr/80main_0.2tpl)). En línea 14 de marzo de 2012.
- Feugang M. J., P. Konarski, D. Zou, F. C. Stintzing and C. Zou. 2006. Nutritional and medicinal use of cactus pear (*Opuntia spp.*) cladodes and fruits. *Frontiers in Bioscience* 11:2574-2589.
- Fortiz-Hernández J. y A. Rodríguez-Félix. Efecto del envasado en películas plásticas en la calidad de nopal verdura mínimamente procesado. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 11(2):180-190).
- Gimou, M. M., U. R. Charrondiere, J. C. Leblanc and R. Pouillot. 2008. Dietary exposure to pesticide residue in Yaoundé: The Cameroonian total diet study. *Food Additives and Contaminant* 25(4); 458-471).
- Goldman, G., Y. Vinokur, B. Horev, S. Lurie, V. Rodov and G. Liguori. 2005. Fresh-Cut Products from Cactus Species. *Acta Horticulturae* 682: 1961-1963.
- González J., A. Ferrer, R. Oria and M. L. Salvador. 2008. Determination of O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> transmission rates through microperforated films for modified atmosphere packaging of fresh fruits and vegetables. *Journal of Food Engineering*. 86(2):194-201.
- Griffith M. P. 2004. The origins of an important cactus crop, *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae): New molecular evidence. *American Journal of Botany* 91(11): 1915-1921.
- Guevara J. C., E. M. Yahia and E. Brito. 2001. Modified atmosphere packaging of prickly pear cactus stems (*Opuntia spp*). *Lebens. Wiss. U. Technology*. 34:445-451.
- Guevara J.C., E.M. Yahia, E. Brito de la Fuente and S.P. Biserka. 2003. Effects of elevated concentrations of CO<sub>2</sub> in modified atmospheres packaging on the quality of prickly pears cactus stems (*Opuntia spp*) *Postharvest Biology and Tecnology* 29:167-/176. doi: 10.1016/S0925-5214(03)00021-8
- Guevara-Figueroa T., H. Jiménez-Islas, M. L. Reyes-Escogido, A. G. Mortensen, B. B. Laursen, L.W. Lin, A. de León-Rodríguez. 2010. Proximate composition, phenolic acids, and flavonoids characterization of commercial and wild nopal (*Opuntia spp*). *Journal of Food Composition and Analysis* 23:525-532.

- Guillette E. A., M. M. Meza, M. G. Aguilar, A. Soto and I. E. García. 1998. An anthropological approach to the evaluation of preschool children exposed to pesticides in Mexico. *Environ Health Perspex* 106:347–353.
- Hernández-A. A. M.; P. Landa-S.; G. Mora-A.; C. A. Eslava-C.; J. E. Call; A. C. S. Porto-Fett and J. B. Luchansky. 2009. Characterization of *Salmonella* from nopal leaves and associated soil and water samples in Morelos, México. Abstracts of the Annual Meeting of the International for Food Protection. 37:74-75.
- Hernández-Urbiola, M. I., E. Pérez-Torero and M. E. Rodríguez-García. 2011. Chemical Analysis of nutritional content of prickly pads (*Opuntia ficus indica*) at varied ages in an organic harvest. *Int. J. Environment Res. Public Health*. 8:1287-1295.
- Hopfinger, J. A.; B. W. Poovaiah and M. E. Patterson. 1984. Calcium and magnesium interactions in browning of ‘Golden delicious’ apples with bitter pit. *Scientia Horticulturae*, 23:345-351.
- Jaramillo-Flores, M. E. L., M. González-Cruz, L. Cornejo-Mazon, G. F. Dorantes-Álvarez, Gutiérrez-López, H. Hernández-Sánchez. 2003. Effect of thermal treatment on the antioxidant activity and content of arytenoids and genomic compounds of cactus pear cladodes. *Food Science and Technology International* 9:271-278.
- Jeanine, J., Y. Wincey, C. Zhen, L. Fengchang, M. Zhida. 2003. Two new phenolic carboxylic acid esters from *Opuntia vulgaris*. *J. Chin. Pharmaceut. Sci.* 11:1-3.
- Kiesling, R. 1998. Origen, domesticación y distribución de *Opuntia ficus indica*. *J. PACD* 165-183.
- Kim, J. G. 2007. Fresh-cut Market Potential and Changes in Far-East Asia. *Acta Horticulturae* 746: 33 a 38.
- Kriffitin M. P. 2004. The origins of an important cactus crop, *Opuntia ficus indica* (Cactaceae): New molecular evidence. *American Journal of Botany* 91(11):1915-1921.
- Lamikanra, O. 2002. Fresh-cut fruits and vegetables. Preservative treatments for fresh-cut fruits and vegetables. CRC Press E. U. Pp 267-303.
- Lanciotti R., A. Gianotti, F. Patrignani, N. Belletti, M. E. Guerzoni, F. Gardini. 2004. Use of natural aroma compounds to improve shelf-life and safety of minimally processed fruits. *Trends Food Sci. Technol.* 15:201-208.

- Landa S. P. 2012. Calidad sanitaria en jugos de nopal, persistencia de *Salmonella Typhymurium* y respuesta de defensa de nopal verdura. Colegio de Postgraduados. Postgrado en Fitopatología. Tesis doctoral. Pp.149.
- Lee Y-C., Y-H Pyo, C-K Ahn and S-H Kim. 2005. Food functionality of *Opuntia ficus indica* var. cultivated in Jeju Islan. J. Food Sci Nutr 10:103-110.
- Ley Federal de Sanidad Vegetal. 2007.
- Liu, H., J. Ru, J. Qu, R. Dai, Z. Wang and C. Hu. 2009. Removal of persistent organic pollutants from micro-polluted drinking water by triolein embedded absorbent. Biorescesource Technology 100(12):2995-3002.
- Martínez, M. T. O. 2011. Calidad sanitaria en la producción de nopal verdura (*Opuntia sp*) en Otumba México. Colegio de Postgraduados. Postgrado en Fitopatología. Entomología-Acarología. Tesis doctoral. Pp. 116.
- Meeker, J. D., S. P. Narendra, R. Louse, S. Duty, D. B. Barr, R. F. Herrick, D. H. Bennett and R. Hauser. 2004. Urinary levels of insecticide metabolites and DNA damage in human sperm. Human Reproduction 19(11):2580.
- Norma del CODEX para el nopal. 2005. CODEX STAN 185-1993, EMD. 1-2005.
- Osorio-Córdoba, J., C. Pelayo-Saldívar, J. R. Verde-Cálvo, M. Ponce-Valádez, F. Díaz de León-Sánchez, E. Bosquez-Molina y Ma. E. Rodríguez-Huezo. 2010. Conservación de nopal verdura 'Milpa Alta' (*Opuntia ficus indica* Mill) desespinado en envases con atmósfera modificada. Revista Mexicana de Ingeniería Química. 10(1):93-104).
- Park, E.-H., M.-J. Chan. 2001. Wound healing activity of *Opuntia focus indicia*. Fitoterapia. 72:165-167.
- Piga A. 2004. Cactus pear: a fruit of nutraceutical and functional importance. Journal of the Professional Association for Cactus Development. 6-22.
- Prendergast M. A., A. V. Terry and J. J. Buccafusco. 1998. Effects of chronic, low-level organophosphate exposure on delayed recall, discrimination, and spatial learning in monkeys and rats. Neurotoxicol Teratol 20:115-122.

- Quevedo-Preciado K., M. A. Villegas-Ochoa, H. González-Ríos y A. Rodríguez-Félix. 2005. Calidad de nopal verdura mínimamente procesado, efecto de la temperatura e inhibidores del oscurecimiento. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 28(3):261-270.
- Rauh V. A., R. Garfinkel, F. P. Perera, H. F. Andrews, L. Hoepner, D. B. Barr, R. Whitehead, D. Tang, R. W. Whyatt. 2006. Impact of prenatal clorpyrifos exposure of neurodevelopment in the first 3 years of life among Inner-city children. *Official Journal of the American Academy of Pediatrics*. 118(6):1845-1859.
- Reyes A. A., R. Aguirre-Rivera and H. M. Hernández. 2005. Notas sistemáticas y una descripción detallada de *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. (Cactaceae). *Agrociencia* 39: 395-408.
- Rodríguez-Félix A. y Ma. Cantwell. 1988. Development changes in composition and quality of prickly pear cactus cladodes (nopalitos). *Plant Food for human Nutrition*. 38:83-93.
- Rodríguez-Félix, A. 2002. Postharvest physiology and technology of cactus pear fruits and cactus leaves. *Acta Horticulturae*. 581:191-199.
- Rojas-Graü, M. A., A. Sobrino-López, A. Tapía M. S. and M. Belloso O. 2006. Browning inhibition in fresh cut 'Fuji' Apple slices by natural antibrowning agents. *Journal Food Science Technology* 47; 75-84.
- Saénz C., H. B., J. Corrales G., L. Galletti, V. García de C., I. Higuera, C. Mondragón, A. Rodríguez-Félix, E. Sepúlveda, M. T. Varnero. 2006. Utilización agroindustrial del nopal. *Boletín de servicio Agrícola de la FAO*. Roma.
- Salinas-Hernández, R. M., G. A. González-Aguilar, M. E, Pirovani and F. Ulín-Montejo. 2007. Modelación del deterioro de productos vegetales frescos cortados. *Universidad y Ciencia* 23(2):183-196.
- Samelis, J. and J. N. Sofos. 2003. Organic acids. *In: Roller S. (Ed.). Natural antimicrobials for the minimal processing of foods*. Cambridge: Woodhead. pp. 98-120.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2010. <http://w6.siap.gob.mx/comercio/index.php 7-marzo-2012>.
- Stintzing F. C. and C. Reinhold. 2005. Review Cactus Stems (*Opuntia spp.*): A review on their chemistry, technology, and uses. *Mol Nutr Food Res* 49:175 – 194.doi 10.1002/mnfr.200400071
- Yahia E., M. and J. C. Guevara. 2010. Modified atmosphere packaging of nopal (Prickly pear cactus stems *Opuntia spp.*). *Acta Horticulturae* 857:441-450.

Zhang Z.-Y., X.-J. Liu, X.-Y. Yu, C.-Z. Zhang, X.-Y. Hong. 2007. Pesticide residues in the spring cabbage (*Brassica oleracea L. var. capitata*) grown in open field. Food Control 18:723-730.

Zheng Y.-Z., W.-S. Lan, C.-L. Qiao, A. Mulchandani and W. Chen. 2007. Decontamination of vegetables sprayed with organophosphate pesticides by organophosphorus hydrolase and carboxylesterase. Applied Biochemistry and Biotechnology 136: 233-241.

## **CAPITULO I. TONALIDAD, TAMAÑO Y CORTES PREFERIDOS EN NOPAL VERDURA ‘ATLIXCO’ (*Opuntia ficus indica*) PARA SER CONSUMIDOS**

### **Resumen**

El nopal verdura es una hortaliza que desde las épocas precolombinas ha sido consumida en México. Sin embargo, éste producto puede ser cosechado de los 7 a los 30 cm de longitud y, las preferencias por los consumidores en cuanto al tamaño y características no han sido completamente determinadas. El presente estudio estimó la predilección de nopal verdura en cuanto a apariencia, forma de adquisición (con o sin espinas), cortes para la preparación y longitud de los cladodios mediante entrevistas realizadas en la comunidad de San Miguel Coatlinchán, Municipio de Texcoco. Nopales verdura de tres tamaños y tonos diferentes se exhibieron ante los entrevistados como herramienta complementaria. El 70% de los encuestados indicó predilección por los cladodios de 10-17 cm de longitud y color verde oscuro, mientras que un 75% mencionó preferencia por la adquisición de aquellos enteros y sin espinas. Sólo 5.7% de las personas entrevistadas refirió el consumo de nopal en jugo. De acuerdo con los resultados obtenidos en las encuestas, las amas de casa limitan la adquisición del producto a el oscurecimiento de las heridas (54.3%) y el color de piel (48.6%).

**Palabras clave:** *Opuntia ficus indica* ‘Atlixco’, nopal, preferencia de compra.

## **1.1. Introducción**

La calidad de un producto hortofrutícola está orientada a satisfacer las necesidades del consumidor y puede abarcar atributos sensoriales, nutricionales y de seguridad, dependiendo de los diferentes manejadores en la cadena de distribución, quienes la enfocan en el producto mismo o desde el punto de vista del consumidor (Nwankwo, 1993; Shewfelt, 1999).

Se ha encontrado que la percepción del dulzor y la agradabilidad de un producto hortofrutícola está asociada al color (Rico *et al.*, 2007), pero éste y la textura determinan el grado de frescura de muchos vegetales (Clydesdale, 1993), que junto con la apariencia son concluyentes en la elección de un producto hortofrutícola (Rico *et al.*, 2007). Sin embargo las preferencias de los consumidores son diferentes entre grupos demográficos, culturas e individuos, por lo que las mediciones de los atributos de calidad de un producto no siempre pueden reflejar éstas (Rico *et al.*, 2007). Lo anterior ha sido confirmado en algunos estudios realizados en nopal verdura, del que se tiene poca información sobre la preferencia del consumidor en cuanto a tamaño, apariencia, forma de corte y limitaciones de adquisición de los cladodios, motivo por el cual la presente investigación tuvo por objetivo el siguiente:

### **1.1.1 Objetivo general**

Monitorear, mediante entrevistas, la elección de nopal verdura en cuanto a preferencias de adquisición y consumo en la comunidad de San Miguel Coatlinchán, Texcoco, México.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

Determinar la predilección del consumidor en la adquisición de nopal verdura en tamaño, color, presentación, acidez y fibra mediante la aplicación de entrevistas.

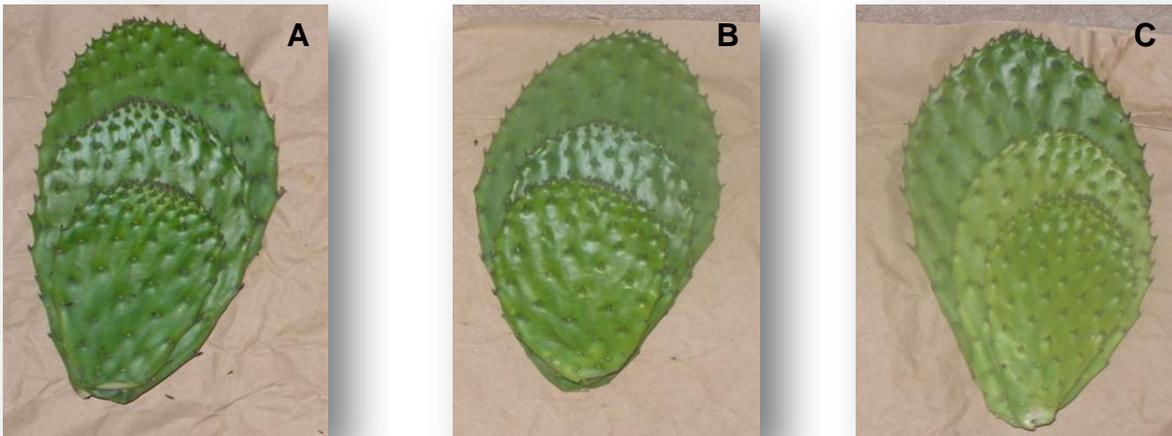
### **1.1.3. Hipótesis**

La preferencia en cuanto a tamaño, color, adquisición, acidez, fibra y forma del corte del nopal verdura es diferente entre consumidores.

## 1.2. Materiales y métodos

### 1.2.1. Material vegetal

Los nopales verdura se adquirieron en septiembre de 2009 en una huerta de riego cultivada con la variedad ‘Atlixco’ bajo la normatividad de buenas prácticas agrícolas (BPA), en la comunidad de San Pablo Ixquitlán, Municipio de San Martín de las Pirámides en el Estado de México a 19° 46’ 20” LN y 98° 38’ 48” LO y 2300 m. s. n. m. Los cladodios se cosecharon en tres diferentes tamaños: chicos (10-12 cm), medianos (15-17 cm) y grandes (22-30 cm) y, fueron clasificados en tres tonos: verde-oscuro (VO), verde medio amarillo (VMA) y verde amarillo (VA) como se muestra a continuación en la Figura 1.



**Figura 1. Nopal ‘Atlixco’ de 10-12 cm; 15-17; 22-30 cm. a) Tonalidad verde oscuro (VO).b) tonalidad verde media amarilla (VMA); C) tonalidad verde amarilla (VA).**

### 1.2.2. Entrevistas

Las entrevistas (Anexo 4) se realizaron a 50 personas de la comunidad de San Miguel Coatlinchán, Texcoco y constaron de preguntas sobre la predilección en adquisición de nopal verdura en cuanto a acidez, fibra, firmeza, corte, secreción de mucílago, oscurecimiento de heridas, tamaño del cladodio, apariencia y color. Los nopales cosechados y clasificados en tres tamaños (10 - 12, 15 - 17 y 22-30 cm) y tonos (VO=verde oscuro; VMA= verde medio amarillo; VA=verde amarillo) se exhibieron a los entrevistados para una obtener una mayor precisión en relación a los tonos deseables de nopal verdura. Los resultados se presentaron en porcentajes.

### 1.3. Resultados y discusión

Los resultados de la entrevista indicaron preferencia por nopales de 10-17 cm de longitud en un 70% (38.57% para los de 10-12 cm y 31.42% en aquellos de 15-17 cm), debido a la brillantez-apariencia tierna (40%) y el color (35%), asociados a la frescura. Sin embargo en porcentajes similares, los cladodios de 22-30 cm tuvieron 30.29% de preferencia en adquisición fue. El mismo porcentaje de los entrevistados (70%) refirió su predilección por los nopalitos de color verde oscuro (Figura 1a). La compra de nopalitos sin espina reflejó un 75% de adquisición, debido a que mejor manipulación que con espinas.

Las entrevistas revelaron 75, 14 y 12% de elección para nopales enteros libres de espinas, picados y con espinas, respectivamente. El corte de los cladodios en la mayoría de los casos es determinado por la presentación del platillo a preparar en un 70%, donde destacan las formas de cuadro chico, tiras y rallados enteros en un 33.77, 25.5 y 40.72%, respectivamente, lo cual implica que esta hortaliza es consumida principalmente asada. Sólo un 5.7 % de los nopalitos es usado en jugos.

La compra de nopales verdura se realiza considerado el estado de oscurecimiento de las heridas (54.3%), color de piel (48.6%) y la secreción de mucílago o baba (27.1%), los cuales son precisados como aspectos limitantes en la vida de anaquel del nopal verdura (Fortiz-Hernández y Rodríguez-Félix, 2010).

De acuerdo a las respuestas de los entrevistados, para la compra del nopal verdura se toma en cuenta el estado de oscurecimiento de las heridas (54.3%), color de piel (48.6%) y la secreción de mucílago o baba (27.1%), como factores determinantes en la adquisición del producto.

En cuanto a las características químicas, el 40% de las personas entrevistadas mencionaron que les agradan los cladodios con sabor poco ácido y en el mismo porcentaje con mucha fibra, la cual es preferida debido a cuestiones de salud en un 45%, por la sensación en el paladar en 35% y 5% por el sabor. El resto de los encuestados indicaron que les gustan los nopales con cantidades medias y bajas de fibra (35 y 25%, respectivamente).

Los resultados obtenidos de las entrevistas, reflejan que la asociación del tamaño del nopal verdura con la frescura y el color en un 40 y 35%, respectivamente, es determinante en la

adquisición de ésta hortaliza, tal y como lo menciona Rico *et al.* (2007), quienes resaltan que la apariencia y el color son decisivos en la elección de la fruta o vegetal. De acuerdo con lo anterior, el color representa una de las limitantes en la compra de nopal verdura, pero cobra mayor relevancia el nivel de oscurecimiento de las heridas cuando los cladodios son sometidos a la eliminación de espinas y/o cortado, lo cual ha sido mencionado por Fortiz-Hernández y Rodríguez-Félix (2010) en nopal verdura ‘Copena’.

Por otra parte, la preferencia en el contenido de fibra, acidez y forma de procesamiento de nopal (sólo desespinado, desespinado cortado en cuadro, rectángulo o rallado) indica la necesidad de satisfacer dichas características en los cladodios de diferente estado de desarrollo, desde la cosecha hasta el consumo, pues se ha observado que la acidez titulable se incrementa con el tamaño del nopal verdura y con el almacenamiento prolongado a bajas temperaturas ( Rodríguez-Félix y Cantwell, 1988; Cantwell, 1992). Sin embargo también debe de considerarse que las demandas del consumidor pueden cambiar entre culturas, grupos demográficos e individuos (Rico *et al.*, 2007).

#### **1.4. Conclusiones**

La adquisición de nopal verdura se encuentra ligada a la brillantez y el color en 40 y 35%, respectivamente, prefiriéndose aquellos de color verde oscuro (70%), de 10-12 cm de longitud (38.57%) sin espinas (75%), los cuales son empleados en un 40.72%, con cortes longitudinales sin trozar completamente la pieza, para ser asados; seguido del corte en cuadros chicos (33.77%) y en tiras (25.50%).

En la compra de nopal verdura se considera principalmente el oscurecimiento de las heridas (54.3%) y el color de la piel (48.6%). En cuanto a sabor, 40% de las entrevistas revelaron que les gusta el nopal poco ácido y con mucha fibra.

#### **1.5. Literatura citada**

Aguilar-Sánchez L, M. T. Martínez-Damián, A. F. Barrientos-Priego, N. Aguilar-Gallegos N y C. Gallegos-Vázquez. 2007. Potencial de oscurecimiento enzimático de variedades de nopales. *Profess Assoc Cactus Dev.*9:165 - 184.

- Betancourt-Domínguez, M. A., T Hernández-Pérez and P. García-Saucedo. 2006. Physico-Chemical Changes in Cladodes (Nopalitos) From Cultivated and Wild Cacti (*Opuntia spp*). *Plant Foods Human Nutrition* 61: 115-119.
- Cantwell, M., A. Rodríguez-Félix and F. Robles Contreras. 1992. Postharvest physiology of prickly pear cactus stems. *Scientia Horticulturae* 50:1-9.
- Clydesdale F. M. 1993. Color as a factor in food choice. *Critical Reviewers in Food Science and Nutrition*. 33(1): 83-101.
- Fortiz-Hernández J. y A. Rodríguez-Félix. 2010. Efecto del envasado en películas plásticas en nopal verdura mínimamente procesado. *R. Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 11(2):180-190.
- Nwankwo, S. A. 1993. A framework for conducting a customer orientation audit. *J. Conserv. Stud. Home Econ.* 17:1-11.
- Rico D., A. B. Martín-Diana, J. M. Barat and C. Barry-Ryan. 2007. Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables: a review. *Trends in Food Science and Technology* 18:373-386.
- Rodríguez-Félix, A. and M. Cantwell. 1998. Development changes in composition and quality of prickly pear cactus cladodes (nopalitos). *Plant Foods for Human Nutrition* 38: 83-93.
- Rodríguez-García, M. E., C. De Lira, E. Hernández-Becerra, M. A. Cornejo-Villegas, A. J. Palacios-Fonseca, I. Rojas-Molina, R. Reynoso, L. C. Quintero, A. Del Real, T. A. Zepeda and C. Muñoz-Torres. 2007. Physicochemical characterization of nopal pads (*Opuntia ficus indica* L.) and dry vacuum nopal powders as a function of the maturation. *Plant Food Human Nutrition*. 62:107-112. DOI 10.1007/s11130-007-0049-5.
- Shewfelt R. L. 1999. What is quality? *Postharvest Biology and Technology* 15:197-200.
- Skvorc, Z., K. Server, J. Franjic, D. Krstonosic and M. Poljak. 2012. Photosynthesis intensity and vegetative growth of ependunculate oak (*Quercus robur* L.) in common-garden experiment. *Sumarski List* 136(1-2):7-17.
- Zhao H., Q. Zhou, M. Zhou, C. Li, X. Gong, C. Liu, C. Qu, L. Wang, W. Si and F. Hong. 2012. Magnesium deficiency results in damage of nitrogen and carbon cross talk of maize and improvement by cerium addition. *Biol Trace Elem Res* 148:102-109.

## CAPITULO II. CALIDAD EN TRES TAMAÑOS DE NOPAL VERDURA (*Opuntia ficus indica* L. ‘ATLIXCO’)

### Resumen

Hoy día el nopal verdura se ha convertido en parte importante de la dieta humana debido a sus propiedades nutraceuticas. Los consumidores muestran diferentes preferencias en cuanto al tamaño de éste producto. El objetivo de este estudio evaluar algunos cambios de calidad debidos al efecto del tamaño del nopal verdura en refrigeración ( $8 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ) durante seis días. La hipótesis fue que los parámetros de calidad varían de acuerdo con el tamaño y tiempo de almacenamiento. La resistencia al corte, pérdida de peso, color, acidez titulable, ácido ascórbico y clorofila se evaluaron en tres tamaños de nopal verdura (5.0-10.5; 10.6-16.9 y 17.0-22.0 cm) de *Opuntia ficus indica* L. ‘Atlixco’ (desespinado), mantenido en refrigeración a  $8 \pm 2^{\circ}\text{C}$  durante seis días. El tamaño más pequeño mostró una alta pérdida de peso (3.22%). El contenido de clorofila a, b y total fue directamente proporcional al tamaño y se incrementó con el tiempo de almacenamiento durante los días evaluados. El ácido ascórbico disminuyó con el tiempo de almacenamiento.

**Key words:** *Opuntia ficus indica*, postcosecha, clorofila, contenido de ácido ascórbico.

## 2.1. Introducción

El nopal verdura contiene cantidades importantes de potasio, calcio, vitaminas, entre otros elementos como el selenio, fósforo etc., lo cual lo hace un alimento atractivo para los humanos (Rodríguez-García *et al.*, 2007). Sin embargo, el nopal verdura mínimamente procesado (sin espinas y cortado) tiene una vida de anaquel de siete días, si es almacenado a 5°C (Fortiz-Hernández y Rodríguez-Félix, 2010).

El proceso de cortado causa rompimiento celular y con ello incrementos en la velocidad de respiración y producción de etileno, así como de la síntesis de metabolitos secundarios (Artés *et al.*, 2007); de tal manera que el nopal verdura puede presentar síntomas de oscurecimiento enzimático, secreción de mucílago, pérdida de firmeza, cambios de color verde brillante a verde olivo, pérdida de agua, de vitamina C y descontrol de la acidez titulable (Aguilar-Sánchez *et al.*, 2007; Artés *et al.*, 2007; Oms-Oliu *et al.*, 2010).

A nivel comercial, las variedades ‘Milpa Alta’, ‘Atlixco’, ‘Copena VI’, ‘Copena F1’, ‘Blanco’, ‘Negro’, ‘Blanco con espinas’ y ‘Polotitlan’, de la especie *O. ficus indica* L. son usadas en la producción de nopal verdura (Claridades Agropecuarias, 2001). Según Gallegos *et al.* (2006), el nopal verdura *O. ficus indica* L. ‘Atlixco’ es cultivado en amplias áreas de México y parte de la producción es exportada a los Estados Unidos. Sin embargo, las bases de datos disponibles muestran información escasa para ésta variedad, en cuanto a calidad postcosecha y, el efecto del tamaño en relación a ésta. Algunos estudios han demostrado que algunos parámetros de calidad pueden ser diferentes entre tamaños de nopal verdura en otras variedades (Betancourt *et al.*, 2006; Hernández-Urbiola *et al.*, 2011). Aguilar-Sánchez *et al.* (2007) reportan diferencias en la acidez titulable, pH, firmeza, luminosidad, pureza del color, ángulo de tono, entre otras variables, en 19 variedades of *O. ficus indica* L. Betancourt-Domínguez *et al.* (2006) encontraron variabilidad en el contenido de sólidos soluble, textura, acidez titulable y pH, en relación al tamaño de los cladodios (14, 17 y 22 cm) en nopal verdura del género *Opuntia* ‘Blanco sin espinas’, ‘Verde Valtierra’ y una variedad silvestre.

Por lo anteriormente expuesto, en el presente estudio se plantearon los siguientes objetivos:

### **2.1.1. Objetivo general**

Evaluar algunos cambios en la calidad por efecto del tamaño (1= 5.0-10.5 cm, 2= 10.6 -16.9 cm y 3= 17.0-22.0 cm) de nopal verdura (*O. ficus indica* L. ‘Atlixco’) durante seis días de almacenamiento en refrigeración ( $8 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ).

### **2.1.2. Objetivos específicos**

Cuantificar la resistencia al corte, pérdida de peso, color (luminosidad, ángulo hue y chroma), acidez titulable, contenido de ácido ascórbico y clorofila a, b y total, contenido de agua y azúcares totales en nopales verdura de 5.0-10.5, 10.6-16.9 y 17.0-22.0 cm.

### **2.1.3. Hipótesis**

Los parámetros de calidad varían de acuerdo al tamaño de cosecha del nopal verdura y del tiempo de almacenamiento.

## **2.2. Materiales y métodos**

### **2.2.1. Material vegetal**

Los nopales verdura (*O. ficus indica* L. ‘Atlixco’) fueron obtenidos de la comunidad de San Pablo Ixquitlán, en el municipio de San Martín de las Pirámides, Estado de México; ubicada geográficamente a  $19^{\circ} 46' 20''$  Latitud Norte y  $98^{\circ} 38' 48''$  Longitud Oeste, a una altitud de 2300 m. La cosecha fue realizada manualmente entre las 8:00 and 10:00 a.m. Se cosecharon nopales verdura de tres diferentes tamaños (1= 5.5-10.5 cm, 2= 10.6-16.9 cm and 3= 17.0-21.6 cm), que fueron transportados en bolsas de papel estraza al Laboratorio de Postcosecha del Postgrado en Fruticultura del Colegio de Postgraduados. 18 horas previas a las determinaciones, se removieron las espinas usando un cuchillo. Así se lavaron con agua corriente de la llave. Se removió el exceso de humedad y los nopales verdura se clasificaron por tamaño y fueron almacenados en bolsas de plástico abiertas por seis días a  $8 \pm 2^{\circ}\text{C}$ . Se usó una bolsa por cada cinco nopales verdura. Se evaluó la resistencia al corte, pérdida de peso, color (luminosidad, ángulo hue y chroma), acidez titulable, contenido de clorofila (a, b y total) y contenido de ácido

ascórbico. El día de cosecha se consideró como el día cero. Las evaluaciones se realizaron los días uno, tres y seis. La resistencia al corte fue evaluada solo los días uno y seis.

### 2.2.2. Variables evaluadas

Resistencia al corte. Se determinó en tres puntos del nopal (base, centro y ápice) de la sección central longitudinal, usando un texturómetro (FDV-30, Warner Instrument®, USA), el cual tiene una sensibilidad de 0-13.6 kg fuerza y un puntal de corte en forma de cincel de 30 mm. Los datos fueron registrados en Newtons (N).

Pérdida de peso (%). Los nopales verdura se pesaron los días uno, tres y seis en una balanza electrónica (A&D Co Model EY-2200A) con capacidad de 2 kg. La pérdida de peso se calculó con la siguiente ecuación:

$$Pp = \frac{\text{pesoinicial} - \text{pesofinal}}{\text{pesoinicial}} 100$$

Color. La medición de color se llevó a cabo, utilizando el colorímetro Hunter-Lab D 25® con una apertura de 1.25 cm; los valores  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  fueron medidos en la parte media de una de las caras de los nopales verdura. El valor  $L^*$  es la luminosidad de los frutos y su valor está representado en una escala de 0 a 100. Se determinó el valor del hue o ángulo de tono ( $\tan^{-1} b^*/a^*$ ) y chroma o saturación del color ( $\sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$ ). El valor de  $L^*$  que se interpretó directamente como luminosidad o brillantez.

Acidez titulable. La cuantificación de la acidez titulable se realizó con forme a la AOAC (1990). Se homogeneizaron 10 g de muestra en 50 mL de agua destilada. El volumen total de la mezcla fue medido con una probeta y, posteriormente se realizó un filtrado con una gasa, para eliminar los sólidos. Se tomó una alícuota de 2 mL y se tituló con NaOH (0.01 N), usando fenolftaleína como indicador. Los resultados se expresan como % de ácido málico (Fortiz-Hernández y Rodríguez-Félix, 2010) usando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Ac. málico} = \frac{\text{mLNaOH} * \text{NNaOH} * \text{meq de ac. málico} * \text{volumentotal} * 100}{\text{pesodelamuestra} * \text{alícuota}}$$

Contenido de clorofila. La clorofila fue extraída con acetona al 80% en agua basado en la metodología 942.04 propuesta por la AOAC (1970), determinándose la clorofila a, b y total por espectrofotometría. Se midió la absorbancia en longitudes de onda visibles de 663 y 645 nm a 663 y 645 nm. Las estimaciones fueron realizadas utilizando las siguientes ecuaciones: clorofila total = 8.05 (A663) + 20.2 (A645); clorofila a = 12.5 (A663 - 2.59 (A645), clorofila b = 22.9 (A645) - 4.68 (A663), los resultados se reportan en mg de clorofila 100 g<sup>-1</sup> de pulpa.

Ácido ascórbico: la cuantificación de ácido ascórbico se llevó a cabo mediante el método 967.21 del 2, 6 diclorofenol indofenol (AOAC, 1990). Se homogeneizó cinco gramos de muestra con 50 mL de ácido oxálico (0.5%). Cinco mililitros como alícuota fueron titulados con la solución Tillman (0.02% de 2, 6-diclorofenol indophenol Merk®) hasta obtener un color rosa. La concentración de ácido ascórbico fue determinada con ayuda de una curva patrón que se generó por titulación de muestras con concentraciones conocidas de ácido ascórbico. Los resultados son reportados como mg de ácido ascórbico por 100 g de pulpa.

Contenido de humedad. Se determinó tomando el peso inicial de los nopales verdura antes de someterlos a secado con estufa (60°C), al interior de bolsas de papel estraza perforadas en toda la superficie de sus caras, hasta obtener un peso constante. Esta variable se midió en porcentaje (%).

Azúcares totales. Se evaluaron con el método de Antrona (Witham *et al.*, 1971). Un mililitro de solución madre (filtrada con algodón) se evaporó en un frasco de vidrio a baño María, en seguida se agregaron 25 mL de agua destilada, se mezcló y tomó un mililitro en un tubo de ensayo con dos mililitros de agua destilada, para colocarse en agua fría, dónde le fueron adicionados seis mililitros de solución de antrona (cuatro gramos de antrona en 100 mL de ácido sulfúrico concentrado). Se agitó hasta obtener una mezcla verde homogénea, para lo cual se colocó en baño María por tres minutos y luego en agua fría hasta alcanzar la temperatura ambiente. A continuación se tomó lectura de absorbancia a 600 nm en el espectrofotómetro Spectronic 20®. Las lecturas se extrapolaron con los valores de una curva patrón de concentraciones conocidas. Los valores se reportaron en mg mL<sup>-1</sup>.

### 2.2.3. Diseño experimental

Se usó un diseño experimental complemente al azar, con tres tratamientos y cinco repeticiones. También se usó un diseño experimental factorial completamente al azar (dos factores de variación: los tamaños de nopal verdura y días de evaluación) para determinar diferencias significativas entre días. Las determinaciones analíticas fueron sometidas a un análisis de varianza (ANOVA), para identificar diferencias entre tratamientos y días. Para la diferencia de medias se usó la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ). La correlación de Person se determinó ( $r\leq 0.05$ ) entre los tamaños de nopal verdura y el contenido de clorofila a, b y total. El análisis estadístico fue ejecutado usando el paquete SAS for Windows versión 6.12 (SAS, 1988-1996).

## 2.3. Resultados y discusión

### 2.3.1. Resistencia al corte

En promedio, la resistencia al corte inicial fue de 7.27 N, y aumentó significativamente ( $P\leq 0.05$ ) con el almacenamiento a 7.72 N (Cuadro1). La parte media de los nopales verdura tuvieron mayor resistencia al corte ( $P\leq 0.05$ ) con un promedio total de 8.53 N, en relación a la base y la punta (7.11 y 7.45 N). El tamaño 1 de nopal verdura registró ( $P\leq 0.05$ ) menor resistencia al corte en su punta (6.5 N en 1-3 días y 3-6 días) en relación con el resto de los tamaños de nopal verdura evaluados. En el día seis, la resistencia al corte en el tamaño 1 fue ( $P\leq 0.05$ ) baja (7.3 N) en ese tamaño.

El incremento en la resistencia al corte coincide con Yahia y Arauza (2010), quienes indican un ligero aumento en la firmeza de nopal con espinas (*O. ficus indica* L. 'Milpa Alta') de 15 cm de longitud, los primeros siete días de almacenamiento a 5°C en atmósferas semi-pasivas con 20 % de CO<sub>2</sub>. Por otra parte, los valores obtenidos en el presente estudio son cercanos a los reportados para el testigo sin empaque, refrigerado a 5°C por Guevara *et al.* (2001) en *O. ficus indica* L. 'Milpa Alta', después del día cero, por lo que probablemente la resistencia al corte y su ligero aumento fueron debidas a una mayor temperatura de refrigeración ( $8 \pm 2^\circ\text{C}$ ) y, a una baja humedad relativa.

**Cuadro 1. Determinación de resistencia al corte (N) en los días uno y seis de evaluación de nopal verdura ‘Atlixco’ de tres tamaños almacenado a  $8 \pm 2^\circ\text{C}$ .**

Tamaño	Día 01			
	Base	Media	Apical	Promedio
1 <sup>z</sup>	$6.6 \pm 2.74^y$ a*	$7.2 \pm 2.45$ a	$6.5 \pm 0.54$ b	$6.8 \pm 1.54$ a
2	$5.8 \pm 2.47$ a	$7.9 \pm 2.36$ a	$8.7 \pm 2.39$ a	$7.5 \pm 2.18$ a
3	$7.0 \pm 1.23$ a	$8.4 \pm 2.56$ a	$7.1 \pm 0.90$ b	$7.5 \pm 0.68$ a
Media	$6.46 \pm 2.19$	$7.83 \pm 2.43$	$7.43 \pm 1.73$	$7.27 \pm 1.57$
	Día 06			
1	$7.4 \pm 1.58$ a	$8.1 \pm 1.66$ b	$6.5 \pm 0.95$ b	$7.3 \pm 1.16$ b
2	$7.9 \pm 1.73$ a	$9.0 \pm 2.4$ ab	$7.3 \pm 0.85$ ab	$8.1 \pm 1.04$ ab
3	$8.0 \pm 2.96$ a	$10.6 \pm 2.19$ a	$8.6 \pm 0.99$ a	$9.1 \pm 1.47$ a
Media	$7.76 \pm 2.15$	$9.23 \pm 2.48$	$7.46 \pm 1.19$	$8.17 \pm 1.43$
Promedio	$7.11 \pm 2.27$	$8.53 \pm 2.51$	$7.45 \pm 1.48$	$7.72 \pm 1.56$

\*Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales. <sup>z</sup>1 = Nopales de 5.5 - 10.5 cm de longitud; 2 = Nopales de 10.6 - 16.9 cm de longitud; 3 = Nopales de 17 - 21.6 cm de longitud. <sup>y</sup>Desviación estándar.

Los resultados obtenidos en el tamaño del nopal verdura 1 podrían implicar mayor pérdida de agua y una alta tasa de respiración (Del Valle *et al.*, 2004). Sin embargo, no se encontraron correlaciones entre la resistencia al corte y la pérdida de peso. La mayor resistencia al corte en los tamaños de nopal verdura 2 y 3 puede ser causada por un mayor desarrollo de las células reservorias de agua con respecto al tamaño 1, es decir al grosor del cladodio (Betancourt-Domínguez *et al.*, 2006).

### 2.3.2. Pérdida de peso

Basado en la Cuadro 2, la pérdida de peso incrementó significativamente ( $P \leq 0.05$ ) con el tiempo de almacén (día uno al tres = 0.77%; día tres al seis = 1.40%). Al final del almacenamiento, los nopales verdura tamaño 1 y 3 perdieron ( $P \leq 0.05$ ) el mayor peso (3.24 y 1.93%, respectivamente) en relación al tamaño 2 (1.34%). Luo *et al.* (2012) han reportado la pérdida de peso en *Zizania latifolia* entera y cortada a  $1^\circ\text{C}$ . Yahia y Guevara-Arauz (2010) mencionaron que la pérdida de peso incrementó en nopales verdura enteros ‘Milpa Alta’ empacados en atmósferas modificadas refrigeradas ( $5^\circ\text{C}$ ).

**Cuadro 2. Pérdida de peso (%) en nopales ‘Atlixco’ de tres tamaños, en los días uno, tres y seis de almacenamiento refrigerado a  $8 \pm 2^\circ\text{C}$ .**

Tamaño	Pérdida de peso (%)		
	Día 01- 03	Día 03- 06	Total
1 <sup>z</sup>	1.10 $\pm$ 0.77 <sup>y</sup> a*	2.14 $\pm$ 1.42 a	3.24 $\pm$ 1.66 a
2	0.36 $\pm$ 0.35 a	0.98 $\pm$ 1.28 a	1.34 $\pm$ 1.17 b
3	0.86 $\pm$ 0.83 a	1.07 $\pm$ 0.81 a	1.93 $\pm$ 1.09 ab
Media	0.77 $\pm$ 0.73	1.40 $\pm$ 1.28	2.17 $\pm$ 1.6

Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey  $P < 0.05$ ). <sup>z</sup>1 = Nopales de 5 – 5.5 cm de longitud; 2 = Nopales de 10.6 – 16.9 cm de longitud; 3 = Nopales de 17 – 21.6 cm de longitud. <sup>y</sup> Desviación estándar.

La alta pérdida de peso en los nopales verdura del tamaño 1 podría ser debida a una mayor transpiración que en los otros tamaños. También ha sido mencionado que los tejidos jóvenes tienen alta respiración con respecto de los más viejos (Del Valle *et al.*, 2004). Otra razón podría ser una alta transpiración debida al daño generado por el desespinado, a causa de la eliminación de la epidermis y de la cutícula. López *et al.* (2009) indican que el tiempo de secado del nopal verdura (*O. ficus indica* L.) se redujo cuando el 30% de la cutícula fue removido. El tamaño 1 de los nopales verdura tuvo la mayor área de daños durante la remoción de espinas. Este factor causa más serios daños en una reducida superficie comparado con los nopales verdura de tamaño 2.

### 2.3.3. Color

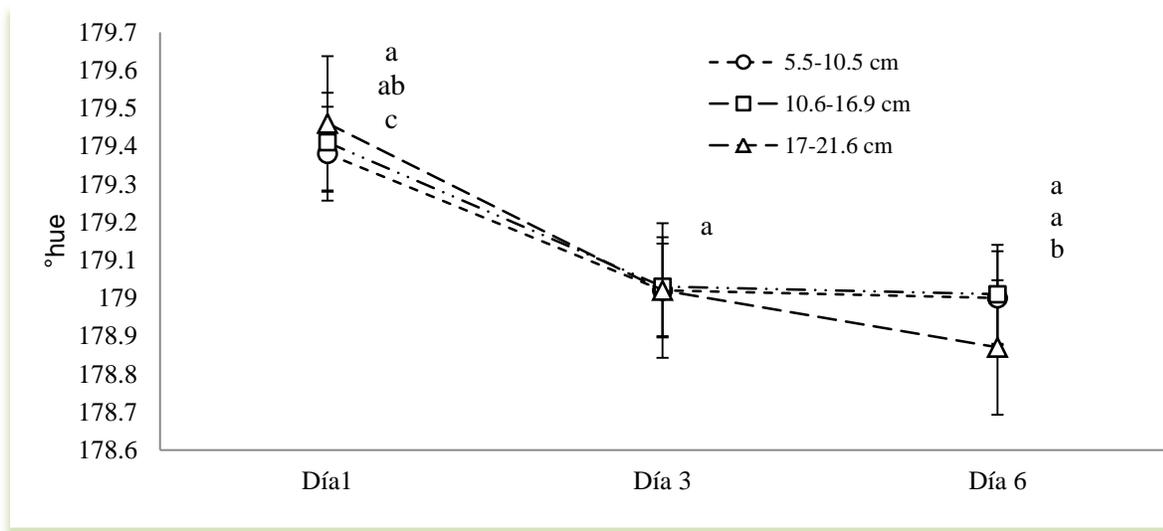
#### 2.3.3.1. Luminosidad o brillantez

La luminosidad fluctuó entre 38.49 a 43.99e incrementó ( $P \leq 0.05$ ) en el día tres (43.09) y disminuyó significativamente ( $P \leq 0.05$ ) en el día seis (40.82) con respecto al día tres. En las evaluaciones del día uno, la luminosidad fue estadísticamente igual para los tres tamaños de nopal verdura evaluados (41.90, 39.76 y 38.595, respectivamente). En el día tres, los valores incrementaron (tamaño 1=43.99; tamaño 2=42.93, tamaño 3=42.36), sin diferencias significativas, la misma situación ocurrió en el día seis (tamaño 1=41.18; tamaño2=40.18; tamaño 3=41.10). Los incrementos en la luminosidad durante el almacenamiento fueron reportados por Yahia y Guevara-Arauza (2010) en nopal verdura ‘Milpa Alta’ sin espinas

empacados en atmósferas con 40 y 80 KPa de CO<sub>2</sub>. En general, los valores de luminosidad fueron similares a los valores encontrados por Aguilar-Sánchez *et al.* (2007). Ellos reportaron un rango de 40 a 46 para 19 variedades de *O. ficus indica* L. incluyendo la variedad de este estudio (43.08).

### 2.3.3.2. Ángulo de tono o ángulo hue

El ángulo de tono osciló entre 178 y 180° en el tono verde (Figura2) y éste disminuyó significativamente ( $P \leq 0.05$ ) después del día uno (179.4, 179.03 y 178.96, día uno, tres y seis, respectivamente). El tamaño uno fue significativamente ( $P \leq 0.05$ ) menos verde (179.38) que los otros tamaños; los tamaños 2 y 3 no mostraron diferencias significativas (179.41 y 179.46). En el día seis de almacenamiento, el tamaño 3 mostró significativamente ( $P \leq 0.05$ ) el más bajo valor en el ángulo hue (178.87).



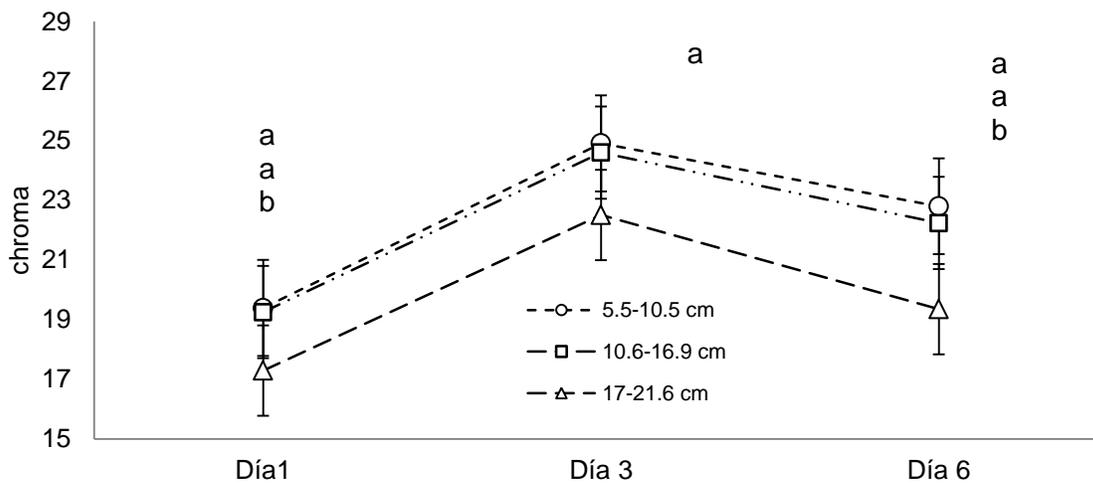
**Figura 2. °Hue en nopales ‘Atlixco’ en tres longitudes de tamaño, mantenidos en almacenamiento refrigerado por seis días a  $8 \pm 2^\circ\text{C}$ .**

Los valores en el ángulo de tono fueron diferentes de los reportados por Aguilar-Sánchez *et al.* (2007), en los cuales el ángulo de tono de ‘Atlixco’ fue de 114.8°. El ángulo de tono en nopal verdura de tamaño 1 en el día uno podría implicar que éste tiene cloroplastos menos desarrollados y, la disminución en el tamaño 3 en la determinación del día seis resulta en una tenencia de cambio de color verde a amarillo, probablemente debido a la degradación de clorofila (Tovoinen y Brummell, 2008). Resultados similares han sido reportados por en

verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) (Rinaldi *et al.*, 2010) y rúgula (*Eruca sativa* Mill) (Koukounas *et al.*, 2007), como resultado de altas temperaturas de almacenamiento, donde el metabolismo de los vegetales se incrementó originando cambios en el color y disminución de los valores de ángulo hue.

### 2.3.3.3. Intensidad del color o chroma

Chroma representa la intensidad del tono, es decir si el tono es intenso o pálido. En promedio, chroma registró el mayor valor en el día tres ( $P \leq 0.05$ ) de almacenamiento (24.00) en comparación con los días uno y seis, los cuales fueron estadísticamente diferentes entre ellos (18.64 y 21.46, respectivamente).

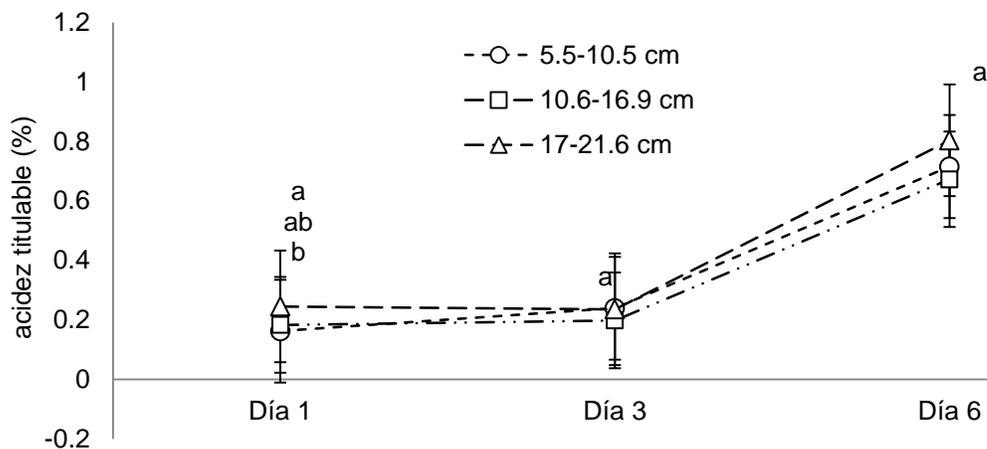


**Figura 3. Chroma en nopales ‘Atlixco’ en tres longitudes de tamaño, mantenidos en almacenamiento refrigerado por seis días a  $8 \pm 2^\circ\text{C}$ .**

Los análisis indican un rango de valores de entre 17.29 y 24.91 (Figura 3). Los valores del tamaño 3 fueron ( $P \leq 0.05$ ) menores en el día uno y seis (17.29 y 19.35, respectivamente). Chroma fue asociado con la luminosidad ( $r=0.499^{**}$ ;  $r=0.774^{**}$ ;  $r=0.599^{**}$ ) y el tamaño de los nopales verdura (día tres  $r = -0.527^{**}$ ; día seis:  $r = -0.538^{**}$ ), el tamaño tres mostró un color verde menos intenso que los otros tamaños. Los valores en el día uno y tamaño 3 del día seis fueron más pequeños que esos reportados en 19 variedades de *O. ficus indica* L. por Aguilar-Sánchez *et al.* (2007), quienes indican un rango entre 20.93 y 29.452, y específicamente un valor de 23.47 para la variedad ‘Atlixco’ de 20 cm de longitud.

### 2.3.4. Acidez titulable

En general, los nopales verdura están constituidos de varios ácidos, tales como el ácido oxálico, málico, cítrico, malónico, succínico, tartárico, fórbico, pscídico, eucómico, etc. (Jianqin *et al.*, 2002). El rango de acidez titulable estuvo entre los 0.162 y 0.803% durante el almacenamiento y ésta se incrementó significativamente ( $P \leq 0.05$ ) en el día seis (0.74% de promedio). El tamaño 3 de los nopales verdura fue significativamente ( $P \leq 0.05$ ) más ácido en el día uno (0.25%) y el tamaño 1 el menos ácido (0.162%) (Figura 4). Los días uno y tres mostraron la acidez titulable más baja que los valores de 0.28% a 0.95%, 0.4% a 0.6%, 0.30% a 0.85% reportados por Cantwell *et al.* (1992), Corrales-García *et al.* (2004) y Betancourt-Domínguez *et al.* (2006), respectivamente. La baja acidez podría ser ligada a las condiciones de clima, suelo y manejo del cultivo.



**Figura 4. Acidez titulable (%) en nopales de tres tamaños, en almacenamiento refrigerado a  $8 \pm 2^\circ\text{C}$ .**

El incremento de la acidez titulable durante el tiempo de almacenamiento coincide con los resultados reportados por Cantwell *et al.* (1992), en nopales verdura enteros de *O. ficus indica* L. 'Inermis' de 10 cm de longitud refrigerados a  $10^\circ\text{C}$  y cosechados en la mañana. La acidez titulable es modificadas por la temperatura de almacenamiento (Cantwell *et al.*, 1992) y de acuerdo con Vickery (1954) en condiciones de bajas temperatura y oscuridad hay una continua acumulación de ácido málico, lo que podría explicar los incrementos en acidez titulable de todos los tamaños de nopal verdura en el día seis.

Por otra parte, la composición acida de los nopales verdura puede cambiar con el estado de desarrollo (Stintzing y Reinhold, 2005). Por ejemplo, el ácido pscidico puede incrementarse cuatro veces conforme se incrementa el tamaño y el ácido fórbico puede disminuir en un 50% (Teles *et al.*, 1994). Esto explica las diferencias ( $P \leq 0.05$ ) entre los tamaños 1 y 3 en el día uno de evaluación. Los valores de acidez en el día uno incrementaron con el tamaño de nopal verdura ( $r=0.560^{**}$ ).

### 2.3.5. Clorofila

El contenido de clorofila b fue más alto que el de clorofila a (Cuadro 3). El contenido de clorofila b se incrementó significativamente ( $P \leq 0.05$ ) con el tiempo de almacenamiento en el día seis (6.15 mg por 100 g de pulpa). Aparentemente la clorofila a y la b están relacionadas proporcionalmente con el tamaño del nopal verdura, así como la clorofila total. El tamaño 3, exhibió significativamente ( $P \leq 0.05$ ) el mayor contenido de clorofila a, en los días uno y tres (4.58 y 4.65 mg por 100g de pulpa, respectivamente) y el tamaño 1, los más bajos valores (2.38 y 2.93 mg por 100g de pulpa) los mismos días de evaluación. La clorofila b fue estadísticamente diferente ( $P \leq 0.05$ ) en el tamaño 1, el cual exhibió los más bajos valores en todos los días de evaluación (día uno=3.54; día tres=4.8; día seis=4.86 mg por 100 g de pulpa). El tamaño 1 fue significativamente más bajo durante todas las evaluaciones en la clorofila total (5.92, 7.73 y 8.12 mg por 100 g de pulpa, respectivamente).

El mayor contenido de clorofila b que de clorofila a encontrado en este estudio fue diferente de lo reportado por Yahia y Guevara-Arauz (2010), quienes mencionan resultados en orden opuesto. El aumento de clorofila coincide con lo informado por Guevara *et al.* (2001) en nopal verdura ‘Milpa Alta’ durante los primeros cinco días de almacenamiento en atmósferas modificadas. El menor contenido de clorofila en el tamaño 1 podría ser debido a los cloroplastos menos desarrollados. El máximo valor en el tamaño 3 encontrado en el día tres (11.23 mg por 100 g de pulpa) fue cercano al valor inicial de 12.4 mg 100 g<sup>-1</sup> de pulpa reportado por Guevara *et al.* (2001) en nopal verdura ‘Milpa Alta’ de 15 cm de longitud, entero, con espinas y empacado en atmósferas modificadas a 5°C.

La relación entre el tamaño y el contenido de clorofila es soportada por el resultado y las correlaciones encontradas para cada día y tamaño de nopal (día uno  $r= 0.569^{**}$ ;  $r=0.652^{**}$ ;

r=0.615\*\*; día dos r=0.473\*\*; r=0.634\*\*; r=0.558\*\*; día tres r=0.397; r=0.550\*\*; r=0.508\*\*, respectivamente.

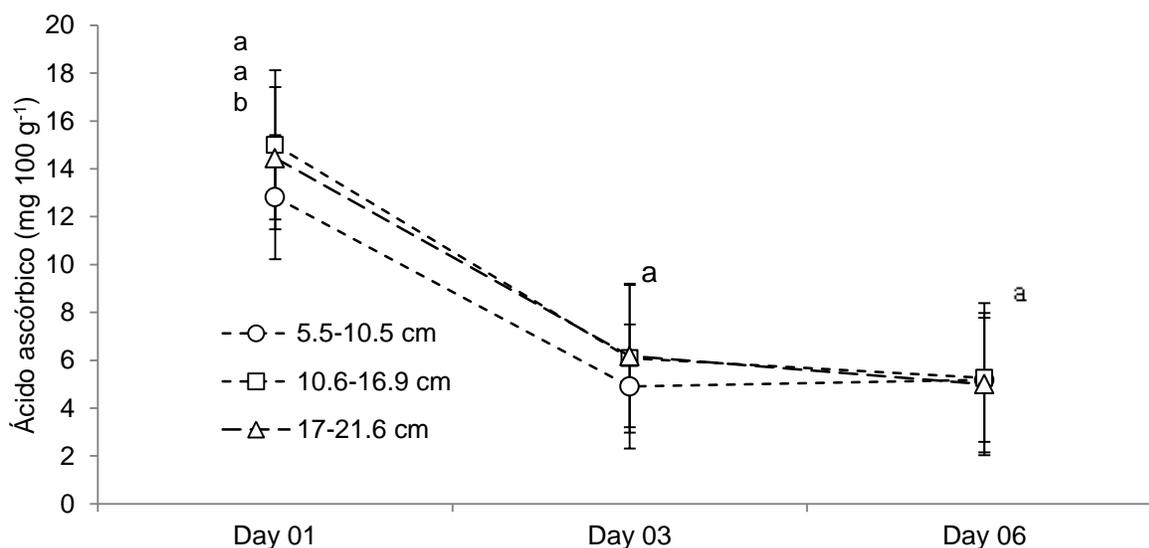
**Cuadro 3. Clorofila a, b, total (mg 100 g<sup>-1</sup>) en nopales de tres tamaños, refrigerados a 8 ± 2°C por seis días.**

Tamaño	Clorofila a		
	Día 01	Día 03	Día 06
1 <sup>z</sup>	2.38 ± 1.16 c*	2.93 ± 0.39 c	3.26 ± 0.54 a
2	3.62 ± 0.84 b	3.64 ± 0.55 b	4.05 ± 1.38 a
3	4.58 ± 0.66 a	4.65 ± 1.41 a	4.19 ± 1.20 a
Medias	3.53 ± 1.40	3.74 ± 1.13	3.83 ± 0.97
	Clorofila b		
1	3.54 ± 1.82 b	4.80 ± 1.82 c	4.86 ± 0.72 b
2	5.47 ± 0.98 a	5.67 ± 1.33 b	6.62 ± 2.16 ab
3	6.08 ± 1.18 a	6.58 ± 1.71 a	6.97 ± 1.42 a
Media	5.08 ± 1.86	5.68 ± 1.56	6.15 ± 1.59
	Clorofila total		
1	5.92 ± 2.89 b	7.73 ± 1.50 c	8.12 ± 1.24 b
2	9.09 ± 1.67 ab	9.31 ± 1.81 b	10.67 ± 3.53 a
3	10.66 ± 1.81 a	11.23 ± 3.07 a	11.16 ± 2.47 a
Media	8.56 ± 3.20	9.42 ± 2.59	9.98 ± 2.47
Media total	5.72 ± 1.17	6.28 ± 1.7	6.65 ± 2.79

\*Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey P < 0.05).  
<sup>z</sup>1 = nopales de 5.5 - 10.5 cm de longitud; 2 = nopales de 10.6 - 16.9 cm de longitud; 3 = nopales de 17 - 21.6 cm de longitud. <sup>y</sup> Desviación estándar.

### 2.3.6. Ácido ascórbico

El ácido ascórbico disminuyó significativamente ( $P \leq 0.05$ ) en los días tres y seis (5.72 y 5.15 mg  $100^{-1}$  de pulpa). El día uno mostró el mayor promedio (15 mg  $100 \text{ g}^{-1}$ ) sin diferencias significativas (Figura 5). La disminución de ácido ascórbico fue reportada por Nath *et al.* (2011) en floretes de brócoli almacenados en ambiente abierto a  $15 \pm 1^\circ\text{C}$  y  $4 \pm 0.5^\circ\text{C}$ , donde disminuyó de 130 mg  $100 \text{ g}^{-1}$  a 35.3 mg  $100 \text{ g}^{-1}$  y de 130 mg  $100 \text{ g}^{-1}$  a 92 mg  $100 \text{ g}^{-1}$  en el día seis, respectivamente.



**Figura 5. Contenido de ácido ascórbico (mg  $100 \text{ g}^{-1}$ ) en nopales de tres tamaños en almacenamiento refrigerado a  $8 \pm 2^\circ\text{C}$ .**

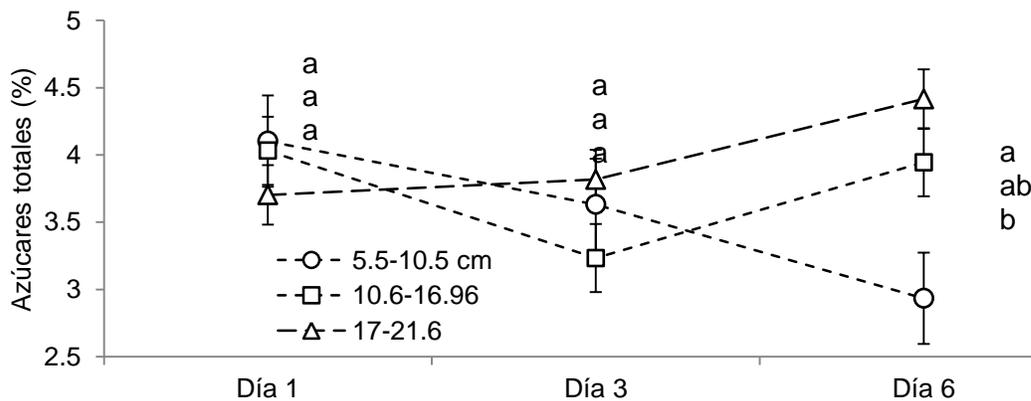
Similares resultados han sido mencionados por Lu *et al.* (2010) en salicornia (*Salicornia bigelovii* Torr.) almacenadas en varias temperaturas (0, 2, 8 y  $25^\circ\text{C}$ ). Rinaldi *et al.* (2010) han informado que el contenido de ácido ascórbico disminuyó rápidamente en verdolaga (*P. oleracea* L.) cuando ésta se almacenó a  $10^\circ\text{C}$ . Las disminuciones en éste pueden ser ligadas a la oxidación causada por la enzima Polifenol Oxidasa. El contenido de ácido ascórbico osciló de 0.5 a 15 mg por 100g de pulpa, en el día uno los valores se encontraron dentro del rango mencionado por Rodríguez-Félix y Cantwell (1988), quienes reportan valores de 7 a 18 mg por 100 g de pulpa en *O. amyclaea* Tenore, *O. ficus indica* L. y *O. ficus indica* L. 'Inermis'. Gil-Izquierdo *et al.* (2001) notaron una disminución en el contenido de ácido ascórbico debido a la temperatura de almacenamiento en alcachofa (*Cynaras coymus* L. 'Blanca de Tudela').

### 2.3.7. Contenido de humedad

El mayor contenido de humedad fue significativo ( $P \leq 0.05$ ) para los nopales verdura tamaño 3 con 95% de agua y 5% de materia seca. Los clasificados como tamaño 1 mostraron ligeramente, menores valores de humedad y, por consiguiente, un peso de materia seca levemente superior con 94.18% y 5.82%, respectivamente, mientras que los tamaño 2 presentaron 94.39% de agua y 5.61 de materia seca. Los resultados coinciden con Betancourt-Domínguez *et al.* (2005) y Rodríguez-Félix y Cantwell (1988), quienes señalan un incremento en el contenido de humedad conforme aumenta el estado de desarrollo de los cladodios en *Opuntia sp* silvestre, *Opuntia ficus indica* y *O. inermis*, posiblemente debido a un mayor almacenamiento de agua resultado de un mayor desarrollo del parénquima (Rodríguez-Félix y Cantwell, 1988).

### 2.3.8. Azúcares totales

Los valores de azúcares totales variaron entre 2.93 y 4.42 %. Debido a la inconsistencia de los resultados (Figura 6), no fue posible asociar el contenido de azúcares totales con el tamaño del nopal, sin embargo en el tamaño 1 se puede apreciar que los azúcares totales tendieron a disminuir conforme el almacenamiento y fueron significativamente menores ( $P \leq 0.05$ ) en el día seis (2.93%), en relación a los tamaños 2 y 3 (3.95 y 4.415%, respectivamente). Lo anterior podría ser debido a un mayor estrés que generó una mayor tasa respiratoria, donde los azúcares pueden ser empleados como sustrato.



**Figura 6. Azúcares totales (%) en nopales de tres estados de desarrollo, refrigerados a  $8 \pm 2^\circ\text{C}$  por seis días.**

## 2.4 Conclusiones

La parte media de los nopales verdura tuvo mayor resistencia al corte con respecto a su base y punta. La resistencia al corte se incrementó conforme el tamaño de los nopales verdura. La pérdida de peso de los nopales verdura incrementó con el tiempo de almacenamiento. El tamaño más pequeño de nopal verdura mostró la mayor pérdida de peso. La luminosidad del nopal verdura incremento en los tres primeros días y posteriormente disminuyó. El ángulo de tono presentó un valor de alrededor de 179° y 180° en el tono verde, hubo tendencia a cambio de color de verde a amarillo en todos los tamaños de nopal verdura. La acidez titulable incrementó con el tiempo de almacenamiento en todos los tamaños de nopal verdura. El contenido de ácido ascórbico disminuyó con el tiempo de almacenamiento y no varió significativamente con el tamaño del nopal verdura. El contenido de clorofila a, b, y total fueron directamente proporcional al tamaño del nopal verdura e incrementó con el tiempo durante el día seis de almacenamiento. Los azúcares totales oscilaron entre 2.93 y 4.15% y no se correlacionaron con el tamaño de los nopales verdura evaluados.

## 2.5. Literatura citada

- Aguilar-Sánchez L, M. T. Martínez-Damián, A. F. Barrientos-Priego, N. Aguilar-Gallegos y C. Gallegos-Vázquez. 2007. Potencial de oscurecimiento enzimático de variedades de nopalitos. *Profess Assoc Cactus Dev.* 9:165 - 184.
- AOAC. 1990. *Official Methods of Analysis of AOAC. International. Fruits and Fruits Products.* Washington, USA. 829-830 p.
- AOAC. 1970. *Official Methods of Analysis of AOAC. International. Fruits and Fruits Products.* Washington, USA. 53-55 p.
- Artés F., P., F. Gómez, E. Artés-Hernández, Aguayo and V. Escalona. 2007. Improved strategies for keeping overall quality of fresh-cut produce. In: *IC on Qual Manag Fresh Cut Produce.* Eds: S Kanlayanar *et al.* *Acta Horticulturae.* 746:245-257.
- Claridades Agropecuarias. 2001. El nopal, leyenda, comercio y futuro en México. 98:3-21.
- CODEX. 1993. NORMA DEL CODEX PARA EL NOPAL.

- Basile F. 2001. Economic aspects of Italian cactus pear production and market. J. Profess Assoc Cactus Dev.4: 31-45.
- Betancourt-Domínguez M. A., T. Hernández-Pérez, P. García-Saucedo, A. Cruz-Hernández, O. Paredes-López. 2006. Physico-chemical changes in cladodes (Nopalitos) from cultivated and wild cacti (*Opuntia spp*). Plant Foods Human Nutrition. 61:115-119. doi: 10.1007/s11130-006-0008-6.
- Cantwell A., A. Rodríguez-Félix and F. Robles C. 1992. Postharvest physiology of prickly pear cactus. Sci. Hortic.-Amsterdam 50:1-9.
- Corrales-García J., C. B. Peña-Valdivia, Y. Razo-Martínez and M. Sánchez-Hernández. 2004. Acidity changes and pH-bufferring capacity of nopalitos (*Opuntia spp*). Postharvest Biology and Tecnology 32:169-174. doi:10.1016/j.postharvbio.2003.11.008.
- Del Valle V., E. Almenar, P. Hernández-Muñoz, J. M. Lagarón, R. Catala and R. Gavara. 2004. Volatile organic compound permeation through porous polymeric films for modified atmosphere packaging of food. Society of Chemical Industry 84: 937-942. DOI:10.1002/jsfa.1741.
- Fortiz-Hernández J, A. Rodríguez-Félix. 2010. Efecto del envasado en películas plásticas en nopal verdura mínimamente procesado. Revista. Iberoamericana de Tecnología Postcosecha 11(2):180-190.
- Gallegos V. C., C. R. D. Valdés, M. M. Barrón, P. A. F. Barrientos, A. J. Andrés, A. R. Nieto .2006. Caracterización morfológica de 40 cultivares de nopal de uso como hortaliza del banco de germoplasma de CRUCEN-UACH. Revista Chapingo Serie Horticultura 12(01):41-49.
- Gil-Izquierdo A, A. L. Gil, M.A. Conesa, F. Ferreres. 2001. The effect of storage temperatures on vitamin C and phenolic content of artichoke (*Cynaras colymus L.*) heads. Innov. Food Sci. Emerg. Technol. 2:199-202. DOI: 10.1016/S1466-8564(1)00018-2.
- Guevara J.A., E. M. Yahia and E. Brito de la Fuente. 2001. Modified atmosphere packaging of prickly pear cactus stems (*Opuntia spp*). Lebensm Wiss u Technology 34:445-451. doi:10.1006/fstl.2001.0787.
- Guevara A. J. C. 2009. Efectos biofuncionales de nopal y tuna. Revista Horticultura Internacional 72:18-19.

- Hernández-Urbiola M. I., E. Pérez-Torrero, M. E. Rodríguez-García. 2011. Chemical analysis of nutritional content of prickly pads (*Opuntia ficus indica*) at varied ages in an organic harvest. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 8:1287-1295.
- Jianqin J., Y. Wencai, C. Zhen, L. Fengchang, M. Zhida. 2002. Two new phenolic carboxylic acid esters from *Opuntia vulgaris*. *J. Chin Pharmaceut. Sci* 11:1-3.
- Koukounaras A., A. S. Siomos, E. Sfakiotakis. 2007. Postharvest CO<sub>2</sub> and ethylene production and quality of rocket (*Eruca sativa* Mill) leaves as affected by leaf age and storage temperature. *Postharvest Biology and Tecnology* 46:167-173. doi:10.1016/j.postharvbio.2007.04.007.
- López R., A. de Ita and M. Vaca. 2009. Drying of prickly pear cactus cladodes (*Opuntia ficus indica*) in forced convection tunnel. *Energy Conversion and Management* 50:2119-2126.
- Lu D, Z. Min, W. Shaojin, C. Jinlong, Z. Xiang, Z. Chengei. 2010. Nutritional characterization and changes in quality of *Salicornia bigelovii* Torr. during storage. *LWT-Food Sci. Technol.* 43: 519-524. DOI:10.1016/j.lwt.2009.09.021.
- Luo H, L. Jiang, L. Zhang, J. Jiang, Z. Yu. 2012. Quality changes of whole and fresh-cut *Zizania latifolia* during refrigerated (1°C) storage. *Food Bioprocess Technology* 5:1411-1415. DOI 10.1007/s11947-010-0459-5.
- Nath A., B. Bagchi, L. K. Misra, Bidyut C. Deka. 2011. Changes in post-harvest phytochemical qualities of broccoli florets during ambient and refrigerated storage. *Food Chemistry* 127:1510-1514. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.02.007.
- Norma Mexicana. 2006. NMX-FF-068. Hortaliza fresco-Nopal verdura (*Opuntia spp*) especificaciones.
- Ochoa J, S. Uhart S. 2004. Nitrogen availability and fruit yield generation in tuna (*Opuntia ficus-indica*): IV. Effects on fruit yield on dry matter partitioning to reproductive sinks. Pp.65-76 *In: Memorias. X Congreso Nacional y VIII Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal.* Chapingo, México.

- ODEPA-CIREN (2003). Catastro Frutícola VI Región. Principales resultados. Publicación Conjunta de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) y el Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN), Santiago de Chile. 10 p. On line <http://www.odepa.gob.cl/odepaweb/servicios-informacion/Catastrosfruticolas/catastro-VIRegion-2003.pdf;jsessionid=5EDF8DA26E22387F210E701EE3B29FB5>
- Oms-Oliu G, M. A. Rojas-Graü, G. L. Alandes, P. Varela, R. Soliva-Fortuny, H. M. I. Hernando, M. I. Pérez. 2010. Recent approaches using chemical treatments to preserve quality of fresh-cut fruits: A review. *Postharvest Biology Tec* 57:139-148. doi:10.1016/j.postharv.2010.04.001.
- Rinaldi R, M. L. Almodio, G. Colelli. 2010. Effect of temperature and exogenous ethylene on the physiological and quality traits of purslane (*Portulaca oleracea* L.) leaves during storage. *Postharvest Biology and Technology* 58:147-456. doi: 10.1016/j.postharvbio.2010.05.012.
- Rodríguez-Félix A, M. Cantwell. 1988. Developmental changes in composition and quality of prickly pear cactus cladodes (nopalitos). *Plant Foods Human Nutrition* 38:83-93.
- Rodríguez-García M. E., C. de Lira, E. Hernández-Becerra, M. A. Cornejo-Villegas, A. J. Palacios-Fonseca, I. Rojas-Molina, R. Reynoso, L. C. Quintero, A. del Real, A. Zepeda, C. Muñoz-Torres. 2007. Physicochemical characterization of nopal pads (*Opuntia ficus indica*) and dry vacuum nopal powders as a function of the maturation. *Plant Foods Human Nutrition*. 62(3): 107-112.
- Saézn C. H. B., G. J. Corrales, L. Galletti, C. V. García de, I. Higuera, A. C. Mondragón, A. Rodríguez-Félix, E. Sepúlveda, M. T. Varnero. 2006. Utilización agroindustrial del nopal. *Boletín de servicio Agrícola de la FAO*. Roma. 13-17 p.
- SAS System for Windows v 6.12 (1989-1996). SAS Institute Inc, Cary, NC, USA.
- SIAP (2009) <http://w6.siap.gob.mx/comercio/index.php> jun 2009
- Stintzing F. C., Reinhold C (2005). Review Cactus Stems (*Opuntia spp.*): A review on their chemistry, technology, and uses. *Molecular Nutrition and Food Research*. 49:175 – 194. DOI 10.1002/mnfr.200400071
- Teles F. F. F., R. L. Price, F. M. Whiting, B. L. Reid. 1994. Circadian variation of non-volatile organic acids in the prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L.). *Revista Ceres* 41: 614–622.
- Tovoinen M. A. P., Brummell D. A. 2008. Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharvest Biology Technology* 48:1-14. doi: 10.1016/j.postharvbio.2007.09.004.

Vickery H. B. 1954. The effect of temperature on behavior of malic acid and starch in leaves of *Bryophyllum calycinum* cultured in darkness. *Plant Physiology* 29: 385-392.

Yahia E.M., J. C. Arauza. 2010. Modified atmosphere packaging of nopal (prickly cactus stem *Opuntia spp*). *In: Proc IXth Intl Contr Atmos Res Conf. Ed RM Beaudry. Acta Horticulturae.* 857:441- 450

### **CAPITULO III. CLADODIOS DESESPINADOS DE NOPAL (*Opuntia ficus indica* L.) EN ATMÓSFERAS MODIFICADAS-MICROPERFORADAS**

#### **Resumen**

El nopal verdura es un producto hortícola ampliamente consumido por los mexicanos, pero una de las grandes limitantes en su comercialización es la alta pericibilidad, cuando se encuentra como mínimamente procesado (en fresco desespinado y/o troceado). El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del empaque de nopal verdura desespinado en envases clamshell con 0, 5, 10, 15 y 20 micro-perforaciones a  $19\pm 1^{\circ}\text{C}$  y  $4\pm 2^{\circ}\text{C}$  por 13 y 29 días, respectivamente. La hipótesis fue que un número de microperforaciones es adecuado para la preservación de nopal verdura sin espinas. Se determinaron el color (luminosidad, ángulo hue y chroma), firmeza, pérdida de peso, respiración, etanol, acetaldehído se cada cuatro días en los empaques sometidos a  $19\pm 1^{\circ}\text{C}$  y  $4\pm 2^{\circ}\text{C}$ . La refrigeración postergó el deterioro del nopal verdura hasta el día 23 y el tratamiento sin empaque perdió rápidamente calidad a las dos temperaturas de exposición. En los nopales empacados en atmósferas modificadas a diferente número micro-perforaciones, la mejor apariencia la presentaron aquellos cuyos envases tenían 15 perforaciones.

**Palabras clave:** *Opuntia ficus indica*, clamshell, atmósferas microperforadas.

### 3.1. Introducción

El lavado y todo tipo de cortes (pelado, rebanado y recortado) incrementan la tasa de respiración en frutas y hortalizas mínimamente procesadas (Saénz *et al.*, 2006; Kim 2007), así como la susceptibilidad a patógenos (Artés *et al.*, 2007), lo que puede implicar deshidratación, malos olores y pérdida de la calidad organoléptica. Sin embargo se han desarrollado tecnologías que permiten una mayor vida de anaquel en este tipo de productos. Yahia y Laminkara (2002) y Artés-Calera (2006) indican que las atmósferas modificadas disminuyen los daños por frío, retardan los cambios en coloración, disminuyen la síntesis de etileno, tasa respiratoria, pérdida de azúcares, pérdida de acidez, degradación de clorofila, antocianinos y carotenos, además de restringir el crecimiento microbiano, el oscurecimiento enzimático y la pérdida de peso resultado de la deshidratación. Por su parte, Artés-Calero (2006) señala que éstas son más rentables que las controladas, al emplearse en diferentes cantidades de producto. No obstante, las atmósferas modificadas pueden generar anaerobiosis por incrementos de CO<sub>2</sub> y disminuciones de O<sub>2</sub> al interior del empaque, lo cual puede evitarse con el uso de la atmósfera modificada micro perforada óptima (Del Valle *et al.*, 2004).

En nopal verdura mínimamente procesado, el uso de atmósferas modificadas micro-perforadas ha sido exitoso. Goldman *et al.*, (2005) reportan 14 días de anaquel a 5°C en nopalitos de *Nopalea cochenillifera* troceados, empacados en recipientes sellados con películas de polietileno (30 µ de grosor) y micro-perforadas (60-100 µ). Estos autores, además indicaron que el uso de películas plásticas sin micro-perforado y el almacenamiento a  $\geq 5^{\circ}\text{C}$  resultaron en oscurecimiento de los tejidos, como posible consecuencia de fermentación o daños por CO<sub>2</sub>, en tanto que el uso de empaques micro-perforados a 1°C ocasionó daños por frío y, a 10°C amarillamiento. Por su parte, Corrales *et al.* (2006) observaron una vida útil similar en ‘Milpa Alta’ mínimamente procesado usando una película plástica de polipropileno de 35µ. Sin embargo se han realizado pocos estudios relacionados en la conservación de nopal verdura ‘Atlixco’ entero pelado, otra de las principales formas de adquisición, por lo que la presente investigación tuvo por objetivos los siguientes:

### **3.1.1. Objetivo general**

Determinar el efecto de las atmósferas modificadas en la calidad del nopal verdura ‘Atlixco’ desespinado.

### **3.1.2. Objetivos particulares**

Evaluar el color, firmeza, pH, acidez titulable, etanol, acetaldehído, pérdida de peso y apariencia del nopal verdura ‘Atlixco’ libre de espinas y empacado en atmósferas modificadas con diferentes niveles de microperforado (cero, cinco, 10, 15 y 20) a  $4\pm 1^\circ\text{C}$  y  $19\pm 1^\circ\text{C}$ .

### **3.1.3. Hipótesis**

Al menos un nivel de microperforado es capaz de mantener y prolongar la apariencia y vida de anaquel del nopal verdura ‘Atlixco’ desespinado.

## **3.2. Materiales y métodos**

### **3.2.1. Material vegetal**

Se emplearon nopales verdura de *Opuntia ficus indica* ‘Atlixco’, variedad de acidez moderada y alto potencial de oscurecimiento (Aguilar-Sánchez *et al.*, 2007), adquiridos con productores de la asociación PRONACUA, en las comunidades Tlacuatzingo y San Pablo Ixquiltán, de los Municipios de Otumba y San Martín de las Pirámides del Estado de México; ubicadas geográficamente entre  $19^\circ 35' 37''$  y  $19^\circ 46' 20''$  de latitud Norte y  $98^\circ 49' 00''$  y  $98^\circ 38' 48''$  Longitud Oeste a 2349.41 y 2300 m. s. n. m., respectivamente.

Se cosecharon nopales verduras de entre 9-19 cm de longitud en noviembre de 2009 entre 5:00-7:00 pm, inmediatamente se limpiaron de espinas y transportaron en bolsas plásticas al Laboratorio de Atmósferas Modificadas y Controladas del Departamento de Ingeniería Agroindustrial, de la Universidad Autónoma Chapingo, donde se almacenaron por 8 h a  $4^\circ\text{C}$ , para ser lavados con agua clorada (222 ppm de cloro  $\text{L}^{-1}$ ), secados con papel absorbente y se colocaron en número de 10 piezas por repetición de tratamiento (12 tratamientos): sin empaque, con empaque (cero, cinco, 10, 15 y 20 perforaciones), los cuales se almacenaron a  $4\pm 2^\circ\text{C}$  y  $19\pm 1^\circ\text{C}$ .

### **3.2.2. Desarrollo experimental**

640 nopales verdura, enteros y libres de espinas, se lavaron, desinfectaron con agua clorada (222 ppm x dos minutos). El exceso de humedad fue eliminado con papel absorbente y los nopales verdura empacados en grupos de 10 por recipiente, al igual que los tratamientos en empaque, donde el producto se depositó en charolas. 240 nopales fueron sometidos a  $19\pm 1^{\circ}\text{C}$  en un total de seis tratamientos (sin empaque, cero, cinco, 10, 15 y 20 perforaciones), en tanto para la refrigeración a  $4\pm 1^{\circ}\text{C}$  se emplearon 400 nopalitos en los mismos tratamientos.

El día de instalación del experimento se consideró como día cero. En cada día de evaluación, por ambiente (temperaturas), se retiraron tres unidades experimentales por tratamiento, es decir 18 unidades experimentales por temperatura (3 sin empaque, 3 cero perforaciones, 3 de cinco perforaciones, 3 de 10 perforaciones, 3 de 15 perforaciones y 3 de 20 perforaciones).

Todos los tratamientos y repeticiones se evaluaron en función de la temperatura de almacenamiento. Cada cuatro días los tratamientos a  $4\pm 1^{\circ}\text{C}$  y cada tres días los de  $19\pm 1^{\circ}\text{C}$ , hasta completar 29 y 13 días respectivamente.

Se consideraron 24 empaques por tratamiento de 5, 10, 15 y 20 perforaciones, 12 recipientes para los de cero perforaciones y sin empaque en las dos condiciones térmicas. Una unidad experimental estuvo constituida por 10 nopales verdura, con empaque o sin empaque. A  $4\pm 2^{\circ}\text{C}$  y  $19\pm 1^{\circ}\text{C}$  se tuvieron seis tratamientos: aire normal (AR), domo sin perforaciones (RI), domo con cinco perforaciones (5P), domo con 10 perforaciones (10P), domo con 15 perforaciones (15P) y domo con 20 perforaciones (20P). Los tratamientos en refrigeración se evaluaron cada cuatro días y aquellos sometidos a  $19\pm 1^{\circ}\text{C}$  cada tercer día después del noveno día a partir de la primera evaluación. Las condiciones térmicas mencionadas y los tratamientos dieron un diseño completamente al azar. Las diferencias entre días se obtuvieron de un diseño factorial con dos factores de variación (tratamientos y días).

### **3.2.3 Variables evaluadas**

Color. Se obtuvieron los valores de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  en escala triestímulos con un colorímetro Minusscan® en la parte media de una cara de cinco nopales verdura por unidad experimental.

Con los valores mencionados, se calculó el ángulo de tono o ángulo hue ( $\tan^{-1} b^*/a^*$ ), la pureza de color o cromaticidad ( $\sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$ ) y el valor de  $L^*$  se tomó como luminosidad.

Firmeza. Se midió en la parte media de una cara de cinco nopales verdura por unidad experimental, con un texturómetro (Texturometer Analysier modelo TA-ST2, mca. Stable Microsystems, Ce®) y una Aguja 2PN. Los resultados fueron expresados en Newtons (N).

Acidez titulable y pH. Previo a las determinaciones, las muestras estuvieron congeladas a  $-20^{\circ}\text{C}$ . La descongelación se realizó exponiéndolas 24 h a temperatura ambiente. Se licuaron 10 g de muestra en 50 mL de agua destilada, por tratamiento y repetición. El volumen resultante se midió en una probeta y posteriormente se filtró con un cedazo. El pH se midió con un potenciómetro Thermo, Scientific Orion 3star pH portable y, se tomó una alícuota de 10 mL, que fue titulada con NaOH al 0.1 N (AOAC 1990) hasta obtener un pH de 8.2.

$$\% \text{ Ac. málico} = \frac{\text{mLNaOH} * \text{NNaOH} * \text{meq de ac. málico} * \text{volumentotal} * 100}{\text{peso de la muestra} * \text{alícuota}}$$

Acetaldehído y etanol. Se uso una adaptación del método del espacio de cabeza propuesto por Davis y Chase (1969). Se picaron y almacenaron 7.5 g de muestra a  $-20^{\circ}\text{C}$  en viales de 37 mL cerrados herméticamente hasta su evaluación en cromatografía de gases. Los viales se descongelaron un día antes a  $8^{\circ}\text{C}$  antes de calentarlos a baño María por 1 h a  $60^{\circ}\text{C}$  y se inyectó 100  $\mu\text{L}$  del espacio de cabeza. La concentración de etanol y acetaldehído se determinó en  $\mu\text{L}$  por kg de muestra.

#### **3.2.4. Tratamientos y diseño experimental**

Se empleó un diseño completamente al azar con 12 tratamientos y tres repeticiones por evaluación y un factorial de tres factores (temperatura, tratamiento y día). Cada unidad experimental constó de 10 nopales verdura. Adicionalmente se realizó un diseño experimental factorial (dos factores de variación: días y tratamientos) para determinar diferencias significativas entre días y tratamientos. El tratamiento sin empaque permaneció en charolas durante todo el almacenamiento y, los tratamientos con empaque, en recipientes plásticos rígidos

Reyma® (25x15x5 cm, volumen de 2.15 L aproximadamente), con cero, cinco, 10, 15, 20 perforaciones de 0.5 mL, almacenados a  $4\pm 2$  y  $19\pm 1$ °C.

Los datos obtenidos se analizaron en el Sistema de Análisis Estadístico (SAS, 1989-1996). Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y una comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para cada condición térmica.

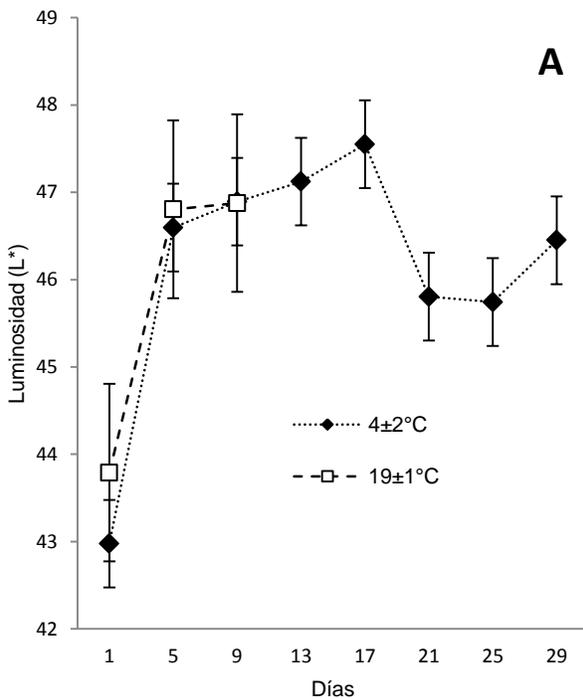
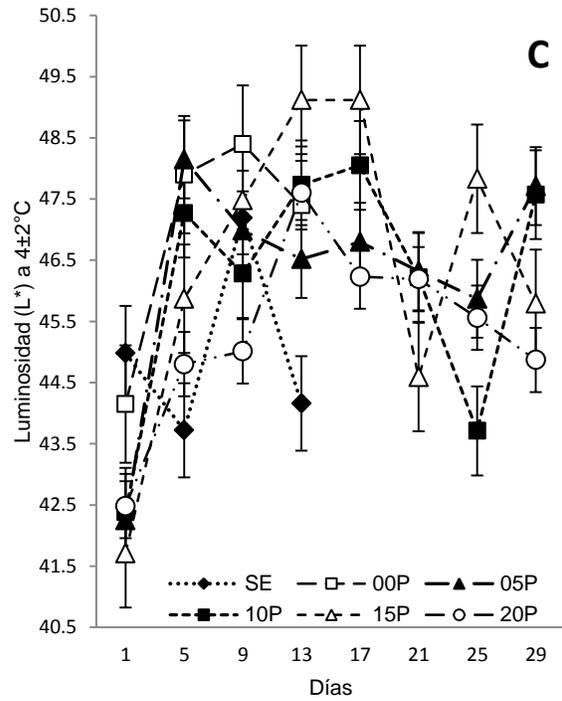
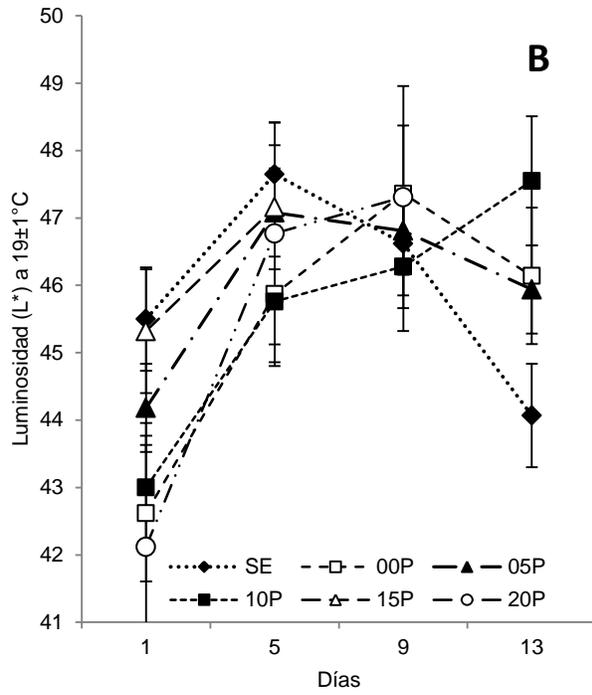
### **3.3. Resultados y discusión**

#### **3.3.1. Color**

##### **3.3.1.1. Luminosidad**

De acuerdo con la figura 6, la luminosidad aumentó levemente con el tiempo de almacenamiento y osciló entre 41 y 49 en las dos temperaturas evaluadas ( $4\pm 2$ °C y  $19\pm 1$ °C). A  $4\pm 2$ °C, los días uno, 21 y 25 mostraron significativamente ( $P\leq 0.05$ ) los menores valores (42.97, 45.81 y 45.74, respectivamente). No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre días a  $19\pm 1$ °C, ni por efecto de los tratamientos en ambas condiciones térmicas ( $4 \pm 2$ °C y  $19 \pm 1$ °C; Figura 7b y Figura 7c).

Los aumentos en la luminosidad podrían indicar degradación de clorofila y, en consecuencia pérdida de color verde (Guevara *et al.*, 2003; Yahia y Fortiz, 2010). Los valores en el día uno para las dos condiciones térmicas están dentro del rango encontrado por Aguilar-Sánchez *et al.* (2007), quienes reportan datos de entre 38.6 y 43.98 en 19 variedades de *O. ficus indica* monitoreadas con la finalidad de determinar la mejor variedad para el procesamiento mínimo. En relación a los demás días de evaluación, donde los valores fueron mayores, Yahia y Fortiz (2010) informan de una luminosidad de entre 50 y 57 en *O. ficus indica* 'Milpa Alta', por lo que los resultados obtenidos podrían ser resultado de la variedad, estación del año, suelo, manejo de cultivo.

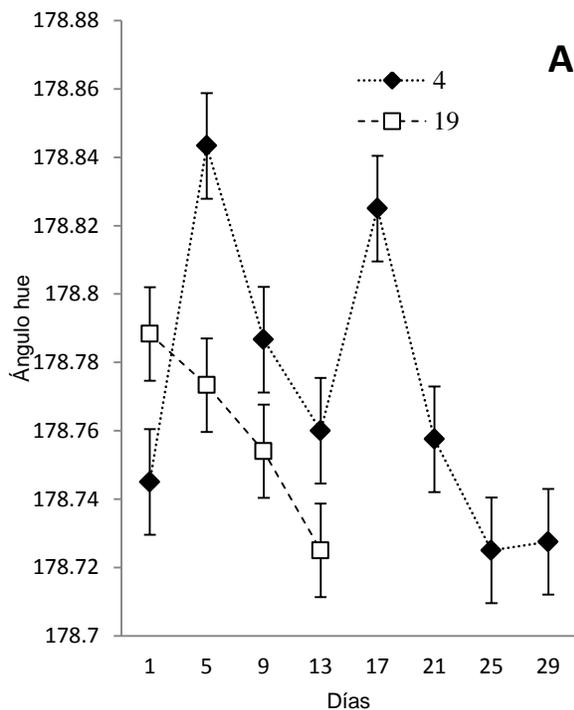
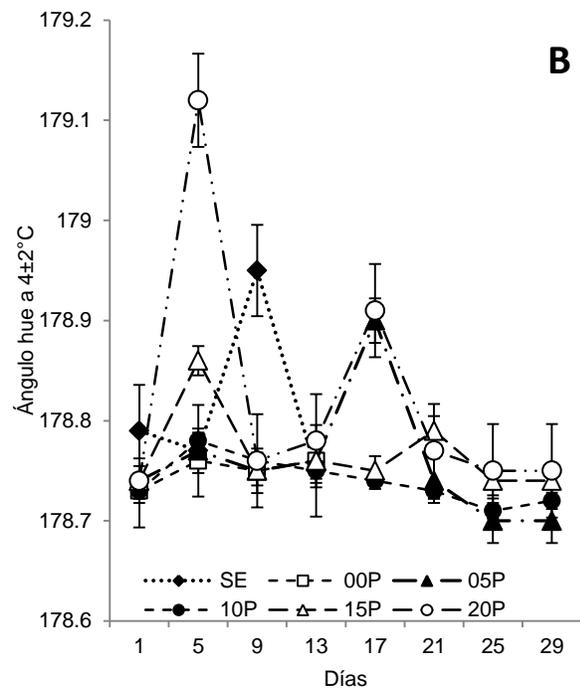
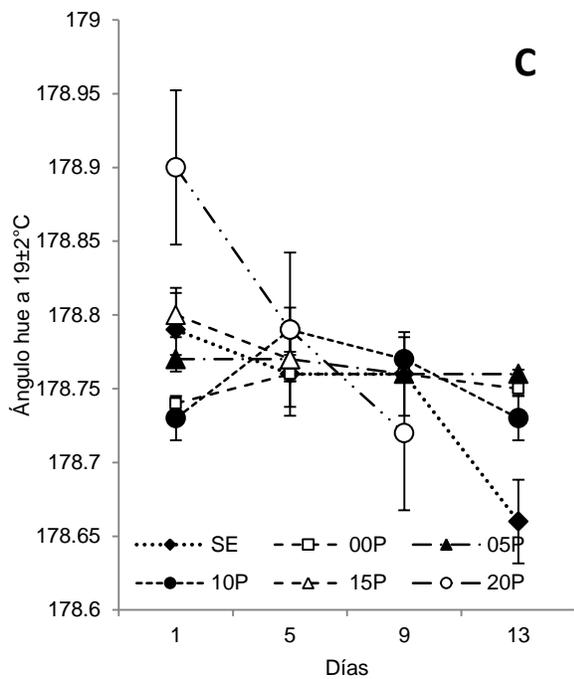


**Figura 7. Luminosidad o brillantez en nopal verdura sin espinas: a) almacenados a  $4 \pm 2^\circ\text{C}$  y  $19 \pm 1^\circ\text{C}$ , por 29 y 13 días, respectivamente; b) almacenados a  $19 \pm 1^\circ\text{C}$  sin empaque (SE), cero perforaciones (00P), cinco perforaciones (05P), 10 perforaciones (10P), 15 perforaciones (15P) y 20 perforaciones (20 P) por 13 días; c) almacenado a  $4 \pm 2^\circ\text{C}$  sin empaque (SE), cero perforaciones (00P), cinco perforaciones (05P), 10 perforaciones (10P), 15 perforaciones (15P) y 20 perforaciones (20P) por 29 días.**

### 3.3.1.2. Ángulo de tono o °hue

En general el ángulo de tono varió de 178.72 a 178.84°, ubicándose en el color verde del diagrama de color (ANEXO 1). Los valores disminuyeron gradualmente en el almacenamiento a 19±1°C, mientras que a 4±2°C, el día cinco (178.84) fue significativamente superior ( $P \leq 0.05$ ) a los del día uno (178.75), nueve (178.79), trece (178.76), 25 (178.73) y 29 (178.73). El ángulo de tono en el día 21 fue significativamente ( $P \leq 0.05$ ) superior (178.83) el día 25 (178.73) (Figura 8a). No se encontraron diferencias significativas entre días a 19±1°C (Figura 7b). El tratamiento sin empaque exhibió los menores valores estadísticos ( $P \leq 0.05$ ) en el día 13 (178.66) y los mayores significativamente ( $P \leq 0.05$ ) en el día uno de almacenamiento con valores de ángulo de tono de 178.79 (Figura 8c y Figura 8b). Los tratamientos con cero, 10 y 15 perforaciones refrigerados (4±2°C) tendieron a los menores cambios (Figura 8c). En la mayor temperatura (19±1°C) los recipientes con cero y cinco orificios mostraron las menores variaciones a lo largo del almacenamiento (Figura 8b).

En general los valores registrados del ángulo hue coinciden con los reportados por Yahia y Guevara-Arauz (2010), al registrar valores similares entre 178 y 179°. Las disminuciones durante el almacenamiento han sido reportadas por Quevedo-Preciado *et al.*, (2005) para la variedad de nopal verdura ‘Copena F1’ troceada y refrigerada a 5°C; por Rizzo y Muratore (2009) en apio (*Apium graveolens*) empacado en atmósferas modificadas micro-perforadas a 4°C; por Rinaldi *et al.* (2010) en verdolaga (*Portulaca oleracea*) empacadas en atmósferas modificadas refrigeradas a 0, 5 y 10°C y, en salicornia (*Salicornia bigelovii* Torr.) envasada en bolsas perforadas de polietileno de baja densidad a 2, 2, 8 y 25°C (Lu *et al.*, 2010). La disminución en el tono verde podría estar relacionado con pérdidas de clorofila y por ende con el aumento de la actividad de la Clorofilasa (Guevara *et al.*, 2003) pero, la temperatura acelera los procesos metabólicos (Luo *et al.*, 2010), lo que explicaría los menores valor del ángulo hue en los tratamientos a 19 ± 1°C.

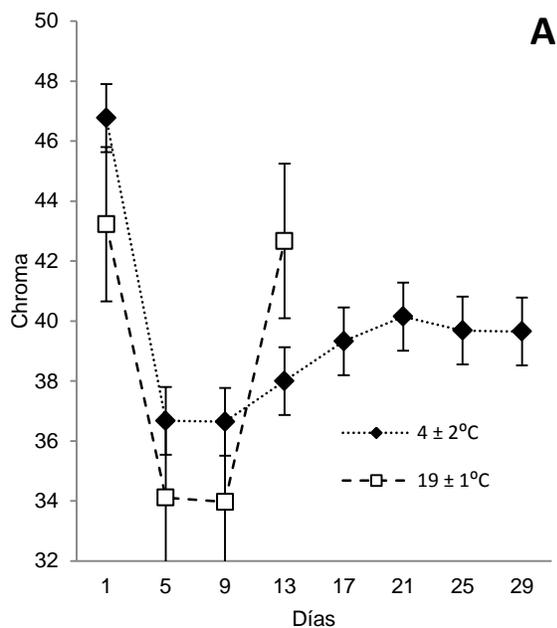
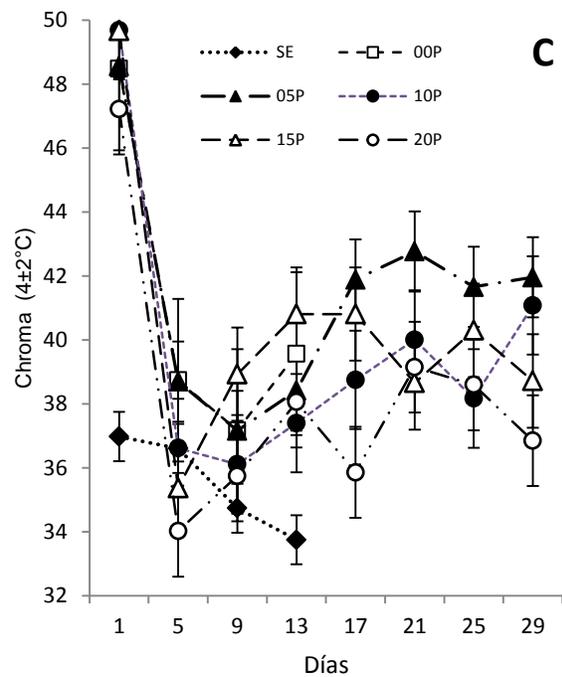
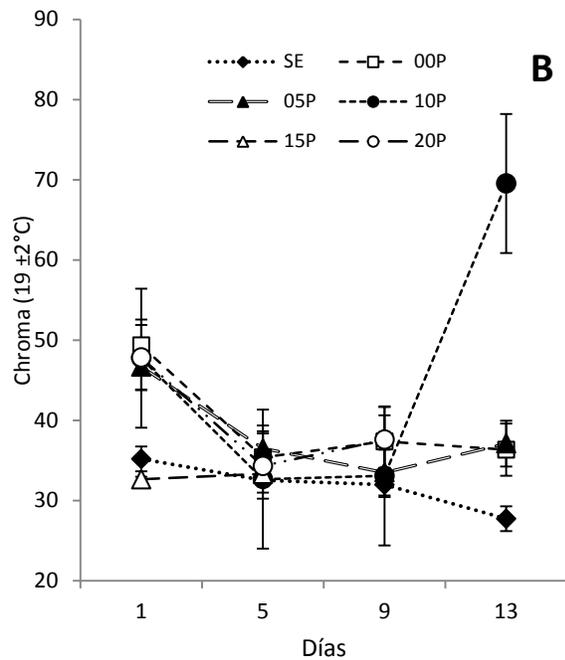


**Figura 8. Ángulo de tono o °hue en nopales sin espinas: a) almacenados a 4 ± 2°C y 19 ± 2°C por 29 y 13 días, respectivamente b) almacenados a 19 ± 2°C sin empaque (SE), cero perforaciones (00P), cinco perforaciones (05P), 10 perforaciones (10P), 15 perforaciones (15P) y 20 perforaciones (20P) por 13 días; c) almacenados a 4±2°C sin empaque (SE), cero perforaciones (00P), cinco perforaciones (05 P), 10 perforaciones (10P), 15 perforaciones (15P) y 20 perforaciones por 29 días**

### 3.3.1.3. Chroma

De acuerdo con la figura 8a, los valores de chroma fluctuaron entre 33.97 y 46.76. Después del día uno, éste parámetro de color disminuyó drásticamente en las dos temperaturas de almacenamiento evaluadas ( $4\pm 2$  y  $19\pm 1^\circ\text{C}$ ). Lo anterior resultó en un valor significativamente ( $P\leq 0.05$ ) inferior en el resto de las valoraciones en almacenamiento refrigerado, mientras que en la otra condición térmica, el día uno fue ( $P\leq 0.05$ ) superior a los días cinco (34.11) y nueve (33.97) (Figura 9b). A  $4\pm 2^\circ\text{C}$ , el tratamiento sin empaque tendió a los menores valores con 36.98, 34.74, 33.75 los días uno, nueve y 13, respectivamente (Figura 9c). A  $19\pm 1^\circ\text{C}$ , se observó una tendencia similar en el mismo tratamiento, donde los días uno, nueve y 13 fueron significativamente inferiores ( $P\leq 0.05$ ) al resto de los tratamientos (35.19, 32.54, 31.97; 27.72).

Inicialmente, los valores chroma resultaron en un color verde más intenso (ANEXO 2). Las disminuciones implicaron que el color se volvió opaco, principalmente en el tratamiento sin empaque, probablemente como consecuencia de la deshidratación de los tejidos, lo que hace evidente los beneficios del uso de las atmósferas modificadas en la preservación del color verde brillante en el nopal verdura. Sin embargo, los valores de chroma registrados fueron mayores a los reportados en el día uno de nopal verdura 'Milpa Alta' (20.51) por Yahia y Guevara-Arauz (2010). Lo anterior podría ser debido a las condiciones climáticas y manejo del cultivo y por Aguilar-Sánchez *et al.* (2007), quienes indican para la variedad de estudio un valor chroma de 23.47. Lo anterior podría ser debido a las condiciones climáticas, manejo de cultivo o a los elevados intervalos de confianza dentro de cada especie de nopal verdura, de acuerdo con Aguilar-Sánchez *et al.* (2007).



**Figura 9.** Chroma en nopales verdura desespinaados: a) almacenados a  $4 \pm 2^\circ\text{C}$  y  $19 \pm 1^\circ\text{C}$ ; b) almacenados  $19 \pm 1^\circ\text{C}$  sin empaque (SE), cero perforaciones (00P), cinco perforaciones (05 P), 10 perforaciones (10 P), 15 perforaciones (15P) y 20 perforaciones (20P) por siete días; c) almacenado  $4 \pm 2^\circ\text{C}$  sin empaque (SE), cero perforaciones (00P), cinco perforaciones (05 P), 10 perforaciones (10 P), 15 perforaciones (15P) y 20 perforaciones (20P) por 29 días.

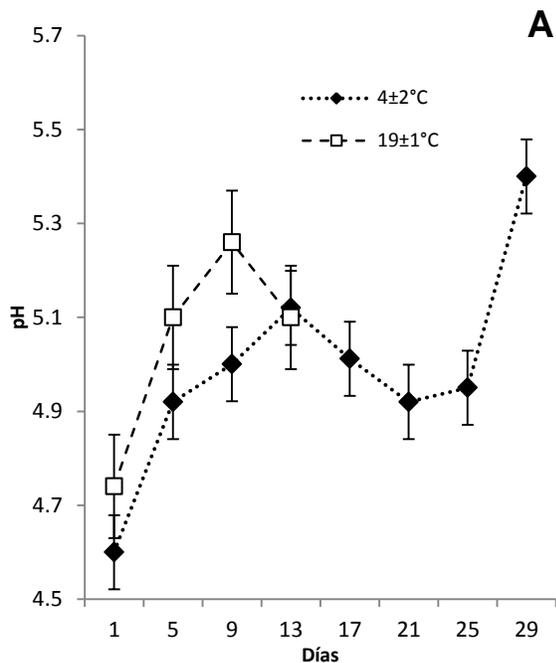
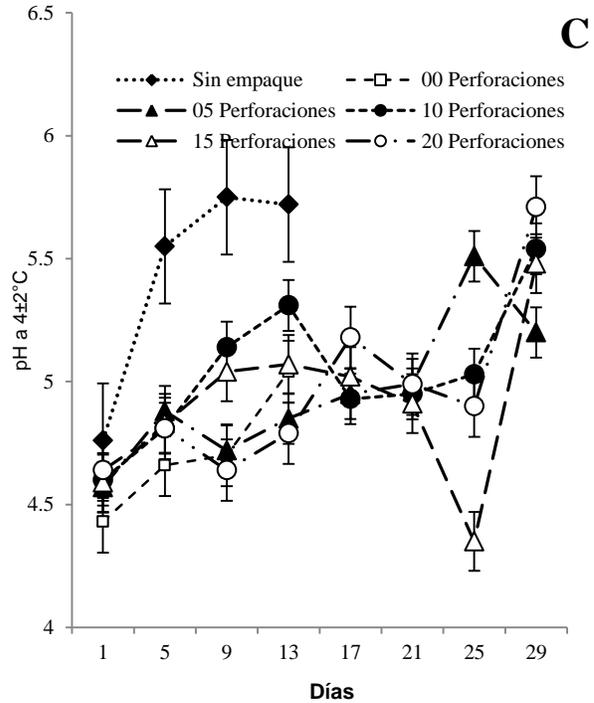
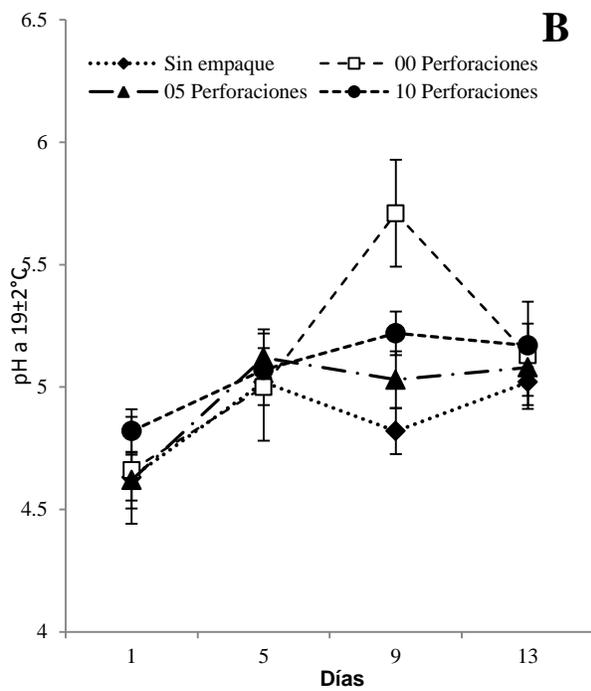
### 3.3.2. pH

En el almacenamiento a  $19 \pm 2^\circ\text{C}$  (Figura 10a), el pH se incrementó significativamente ( $P \leq 0.05$ ) con respecto al valor inicial hasta el día trece, pero los valores de los días 21 y 25 (5.01, 4.96,

4.95) fueron estadísticamente iguales al uno (4.6). A  $19\pm 1^{\circ}\text{C}$ , el día uno presentó un pH significativamente inferior ( $P \leq 0.05$ ) a los demás con un valor de 4.74.

En el almacenamiento refrigerado ( $4\pm 2^{\circ}\text{C}$ ), el tratamiento sin empaque exhibió estadísticamente ( $P \leq 0.05$ ) el mayor pH, el día cinco (5.02) respecto al resto de los tratamientos (Figura 10c). A  $19\pm 1^{\circ}\text{C}$  no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos (Figura 10b).

De acuerdo con los datos registrados en pH, el nopal verdura mostró poca acidez, según Betancout-Domínguez *et al.* (2006). Estas observaciones concuerdan parcialmente con Fortiz-Hernández y Rodríguez-Félix (2010), quienes informan de un incremento en el pH a lo largo del almacenamiento refrigerado ( $5^{\circ}\text{C}$ ) en atmósferas modificadas de nopal 'Copena' mínimamente procesados durante 20 días y, con Rizzo y Muratore (2010), quienes señalan resultados similares en apio (*Apium graveolens*) almacenado en atmósferas modificadas refrigeradas ( $4^{\circ}\text{C}$ ). El pH ( $P \leq 0.05$ ) más alto en el tratamiento sin empaque, podría ser consecuencia de una mayor tasa respiratoria, en la que los ácidos también son sustratos para la respiración (Rodríguez-Félix y Cantwell, 1988). Los datos registrados a  $19 \pm 1^{\circ}$ , en el tratamiento sin empaque implicaron un pH inferior comparativamente con el mismo tratamiento a  $4 \pm 1^{\circ}\text{C}$  debido posiblemente a mayor rango de deshidratación ocasionado por la temperatura que concentró los ácidos y por tanto no se reflejó en un aumento del pH.



**Figura 10. pH en nopales desespínados: a) almacenados a 4±2°C y 19±1°C por 29 y 13 días, respectivamente; b) almacenados a 19±1°C sin empaque (SE), cero perforaciones (00P), cinco perforaciones (05 P), 10 perforaciones (10 P), 15 perforaciones (15P) y 20 perforaciones (20P) por 13 días; c) almacenados 4±2°C sin empaque (SE), cero perforaciones (00P), cinco perforaciones (05 P), 10 perforaciones (10 P), 15 perforaciones (15P) y 20 perforaciones (20P) por 29 días.**

### 3.3.3. Acidez titulable

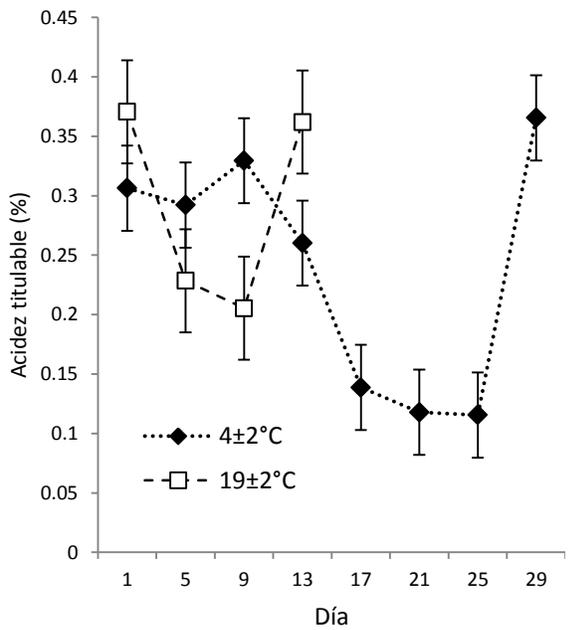
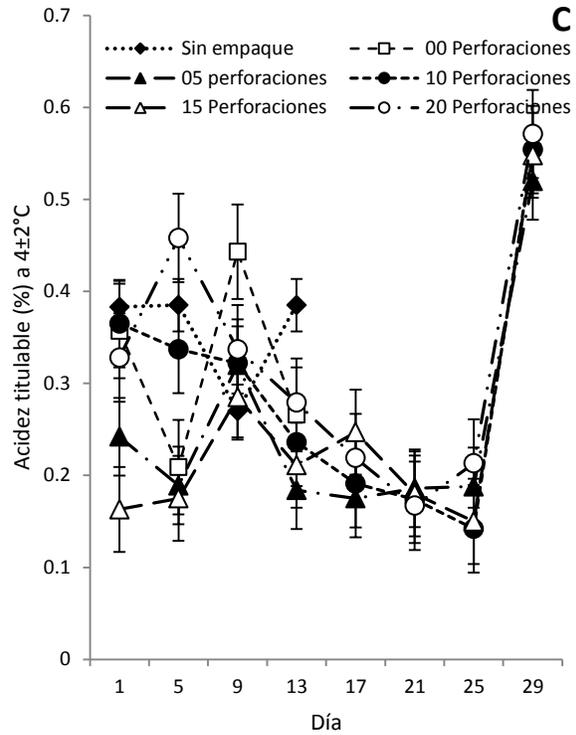
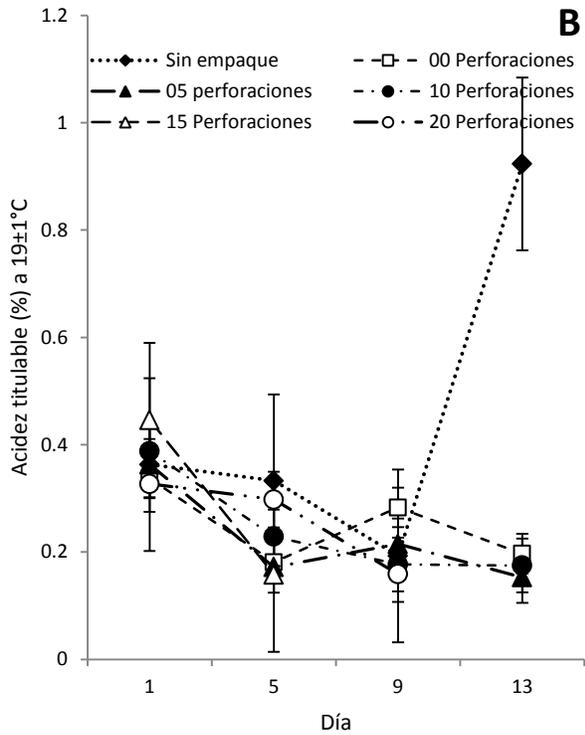
La acidez titulable a 19±1°C disminuyó significativamente ( $P \leq 0.05$ ) los días cinco y nueve de almacenamiento alcanzando valores de 2.28 y 2.05 % de ácido málico, respectivamente (Figura

10a); mientras que en la otra temperatura, ésto sucedió los tres penúltimos días del almacenamiento (días 17=0.207 %, 21=0.175 % y 25=0.173 %). En refrigeración, los valores de acidez titulable oscilaron entre 0.173 y 0.371% hasta el día 25; en el día 29 ascendieron a 0.547 % (Figura 11c). A  $19\pm 2^{\circ}\text{C}$ , el contenido de ácido málico varió de 0.205 a 0.371%.

En el almacenamiento a  $5 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , los tratamientos de cinco, cero y 15 perforaciones mostraron significativamente ( $P\leq 0.05$ ) menor acidez titulable en el día cinco (0.189, 0.175 y 0.209%, respectivamente), mientras que en el día nueve, el tratamiento sin empaque fue significativamente inferior ( $P\leq 0.05$ ) con 0.270% de ácido málico. En la otra condición térmica, a  $19\pm 1^{\circ}\text{C}$ , el tratamiento sin empaque mostró un valor de 0.923% que fue significativamente mayor ( $P\leq 0.05$ ) al resto de los tratamientos en el día 13.

En general, el patrón de comportamiento en las dos temperaturas de evaluación (Figura 11a) coincide con el reportado por Fortiz-Hernández y Rodríguez-Félix (2010) en nopal verdura troceado ‘Copena F1’ en 15 días de almacenamiento refrigerado ( $5^{\circ}\text{C}$ ) y, con Cantwell *et al.* (1992) en nopales de *O. ficus indica* y *O. inermis* enteros. También se han observado resultados similares en apio (*Apium graveolens*) (Rizzo y Muratore, 2010) y jitomate (*Lycopersicon esculentum*) (Batu y Thompson, 1998).

El aumento en la acidez titulable en el día 29 del almacenamiento refrigerado y en el día 13, por la exposición a  $19 \pm 1^{\circ}\text{C}$  (Figura 11a), podría ser consecuencia de la acidificación por bacterias, pues la mayoría de los tratamientos evaluados mostraron pudriciones blandas hacia el final del tiempo de experimentación. La acidez titulable promedio en el día uno por temperatura de 0.306 % a  $4 \pm 2^{\circ}\text{C}$  y 0.371 % en  $5 \pm 2^{\circ}\text{C}$  está dentro del rango de los valores iniciales reportados por Corrales *et al* (2004) de 0.29 y 0.41 % para la misma variedad cosechada a las 6:00 am y 13:00 pm el día de cosecha y con Rodríguez-Félix y Cantwell (1988) quienes informan de un rango de entre 0.28 a 0.95 % en *O. ficus indica* y *O. inermis*. Los valores por debajo de los rangos, registrados durante el experimento, podrían ser resultado del grado de procesamiento del producto, tiempo de almacenamiento y quizá, del empaque.



**Figura 11. Acidez titulable (%) en nopales desespinaados: a) almacenados a 4±2°C y 19±1°C, por siete y 29 días, respectivamente. b) almacenados a 19±2°C sin empaque (SE), cero perforaciones (00P), cinco perforaciones (05 P), 10 perforaciones (10P), 15 perforaciones (15P) y 20 perforaciones (20P) por siete días. c) almacenados a 4±2°C sin empaque (SE), cero perforaciones (00P), cinco perforaciones (05 P), 10 perforaciones (10 P), 15 perforaciones (15P) y 20 perforaciones (20P).**

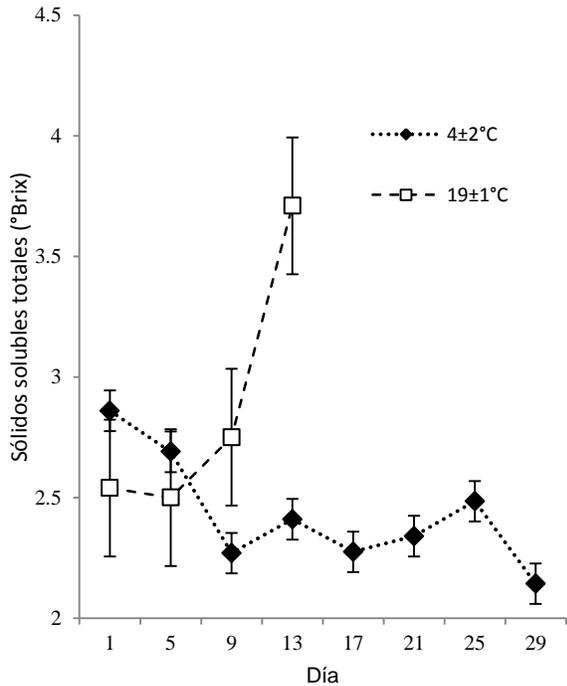
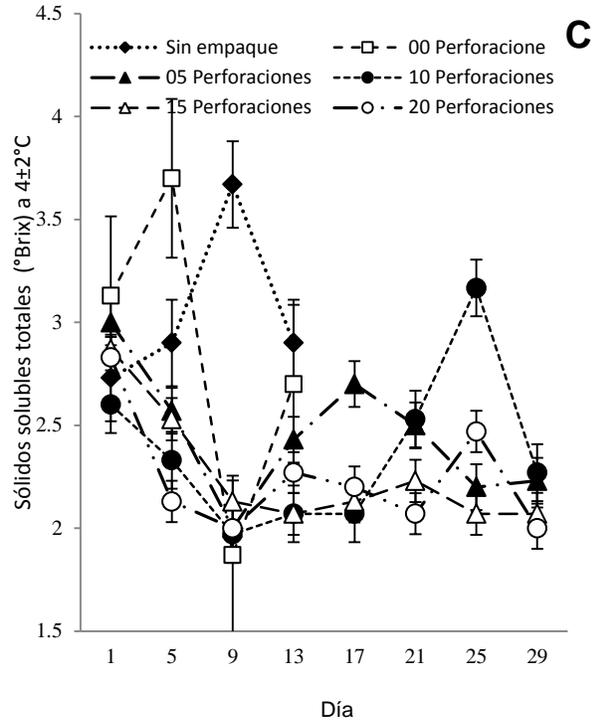
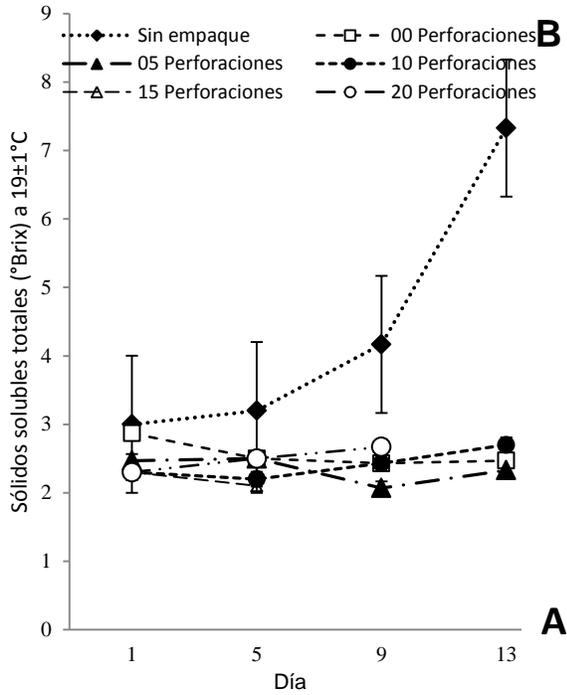
Se puede observar que todas las atmósferas modificadas y el tratamiento sin empaque, en general no mostraron muchos cambios significativos, lo que resulta similar a los datos encontrados en apio (*Apium graveolens*) en cuanto a acidez titulable con almacenamiento refrigerado a 4°C en atmósferas modificadas de poliolefin antifog, polietileno micro-perforado y el testigo sin empaque

(Rizzo y Muratore, 2010). En el día 13 a  $19\pm 2^{\circ}\text{C}$ , donde el tratamiento sin empaque indicó una elevación, producto de una alta deshidratación que concentró el ácido málico en los tejidos

### **3.3.4. Sólidos solubles totales (°Brix)**

No se encontraron diferencias significativas entre días a las dos temperaturas de evaluación ( $4\pm 2^{\circ}\text{C}$  y  $19\pm 1^{\circ}\text{C}$ ). Sin embargo, de acuerdo con la figura 12a, los °Brix disminuyeron después del día cinco en el almacenamiento refrigerado, mientras en la otra condición térmica se observa lo contrario. Los sólidos solubles totales se encontraron entre 2.14 y 2.86 °Brix en los nopales almacenados a  $4 \pm 2^{\circ}\text{C}$  y oscilaron de 2.54 a 3.71 a  $19 \pm 2^{\circ}\text{C}$ . En el promedio de muestras refrigeradas por día de evaluación, la única diferencia significativa ocurrió el día nueve, donde el tratamiento sin empaque fue superior a los demás tratamientos con 3.70°Brix (Figura 12c). En la otra temperatura el mismo tratamiento mostró los mayores valores ( $P\leq 0.05$ ) en los días cinco (3.2 °Brix), nueve (4.17°Brix) y 13 (7.33°Brix) (Figura 12b).

Los sólidos solubles se encontraron en promedio entre 2.14 y 3.71 °Brix coincidiendo parcialmente con 2.64 reportados por Aguilar-Sánchez *et al.* (2007) para ‘Atlixco’ en el día inicial, pues algunos de los datos estuvieron ligeramente por debajo, quizá porque los azúcares son sustrato para la respiración al igual que los ácidos durante el almacenamiento. Sin embargo, en el caso del tratamiento sin empaque, con aumento en el contenido de sólidos solubles totales, en las condiciones térmicas evaluadas, los resultados podrían ser consecuencia de una mayor deshidratación, a falta de atmósfera modificada, pues los nopales empacados (0P, 05P, 10P, 15P y 20P) y almacenados en la mayor temperatura, no presentaron dicho patrón. En refrigeración, lo anterior fue menos evidente, quizá porque al ser una temperatura inferior disminuyó la pérdida de agua por transpiración.



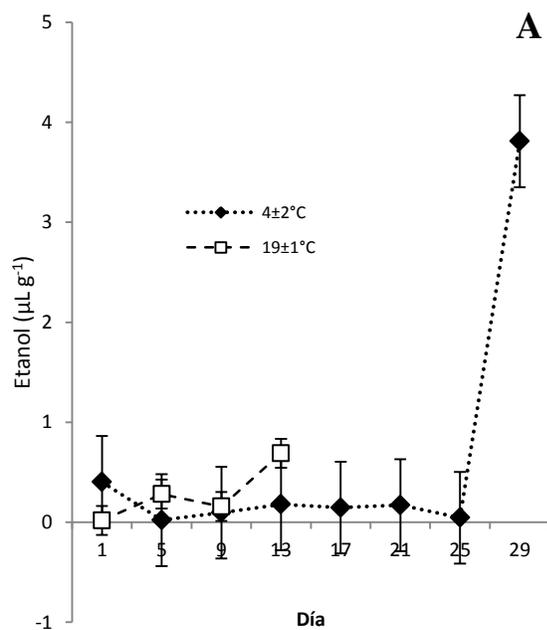
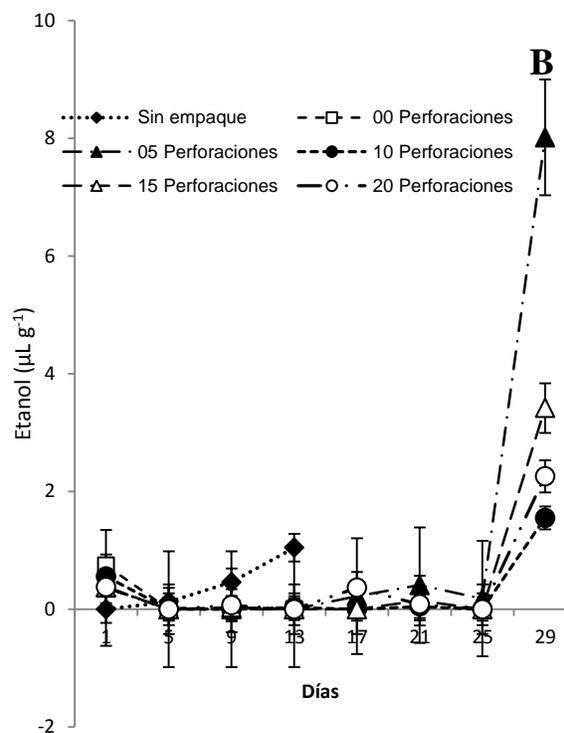
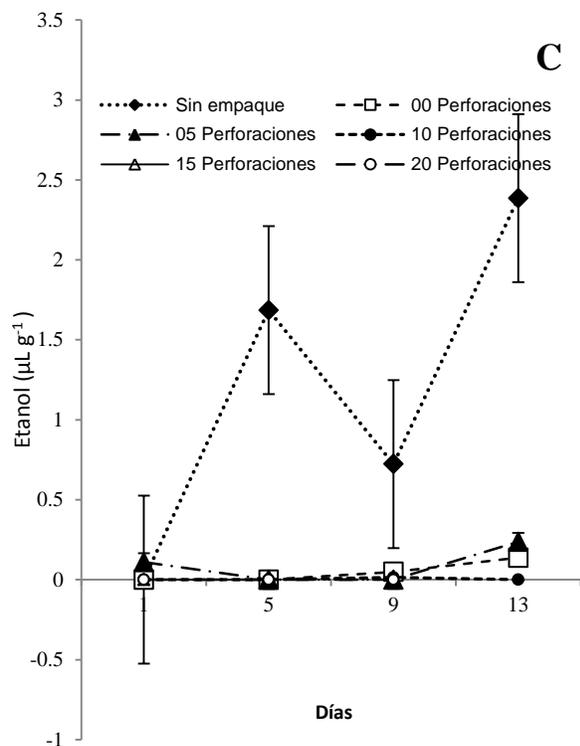
**Figura 12. Sólidos solubles totales (°Brix) en nopales verdura desespinaados: a) almacenados a  $4\pm 2^\circ\text{C}$  y  $19\pm 1^\circ\text{C}$  por siete y 29 días; b) almacenados a  $19\pm 1^\circ\text{C}$  sin empaque (SE), cero perforaciones (00P), cinco perforaciones (05 P), 10 perforaciones (10 P), 15 perforaciones (15P) y 20 perforaciones (20P) por siete días;c) almacenado  $4\pm 2^\circ\text{C}$  sin empaque (SE), cero perforaciones (00P), cinco perforaciones (05 P), 10 perforaciones (10 P), 15 perforaciones (15P) y 20 perforaciones (20P) por 29 días.**

### 3.3.5. Etanol

No se encontraron diferencias significativas en las temperaturas evaluadas, pero en general a temperatura de  $19 \pm 1^\circ\text{C}$  se presentó mayor concentración de etanol que a  $4 \pm 2^\circ\text{C}$ , donde en el día 29 aumentó a  $3.81 \mu\text{L kg}^{-1}$  (Figura 13a). La concentración de etanol tendió a ser constante en todos los tratamientos con atmósfera modificada, en las dos temperaturas evaluadas (Figura 13b y 13c), a diferencia del tratamiento sin empaque en los días 9 y 13, en los que fue ( $P \leq 0.05$ ) de mayor concentración de etanol ambas condiciones térmicas ( $4 \pm 2^\circ\text{C}$  y  $19 \pm 1^\circ\text{C}$ ).

A  $19 \pm 1^\circ\text{C}$ , la mayor concentración de etanol en el tratamiento sin empaque podría ser efecto de la temperatura, pues según Luo *et al.*, (2010), ocurre un incremento de los procesos metabólicos. Sin embargo, los aumentos en las dos condiciones térmicas sugieren que podrían ser consecuencia de una capa formada a partir de la liberación de jugos (mucílago) durante el lavado, la cual se seco al exponer el nopal a las condiciones térmicas experimentales, pues según Tomás-Barberan y Robins (1997), cuando se forma dicha película, el intercambio gaseoso es restringido y puede haber acumulación de gases al interior de los tejidos. Las atmósferas modificadas preservan una humedad relativa alta al interior de los empaques y pueden permitir la reabsorción de los fluidos de nopal verdura (Tomás-Barberan y Robins, 1997), lo que explicaría la menor concentración de etanol en los tratamientos con atmósferas modificadas.

Los datos obtenidos y el patrón de comportamiento en el almacenamiento en la concentración de etanol concuerdan con Fortiz-Hernández y Rodríguez-Félix (2010) en nopales mínimamente procesado empacados en Cryovac PD-960 y RD-106®, donde el etanol aumentó con el tiempo de almacenamiento.

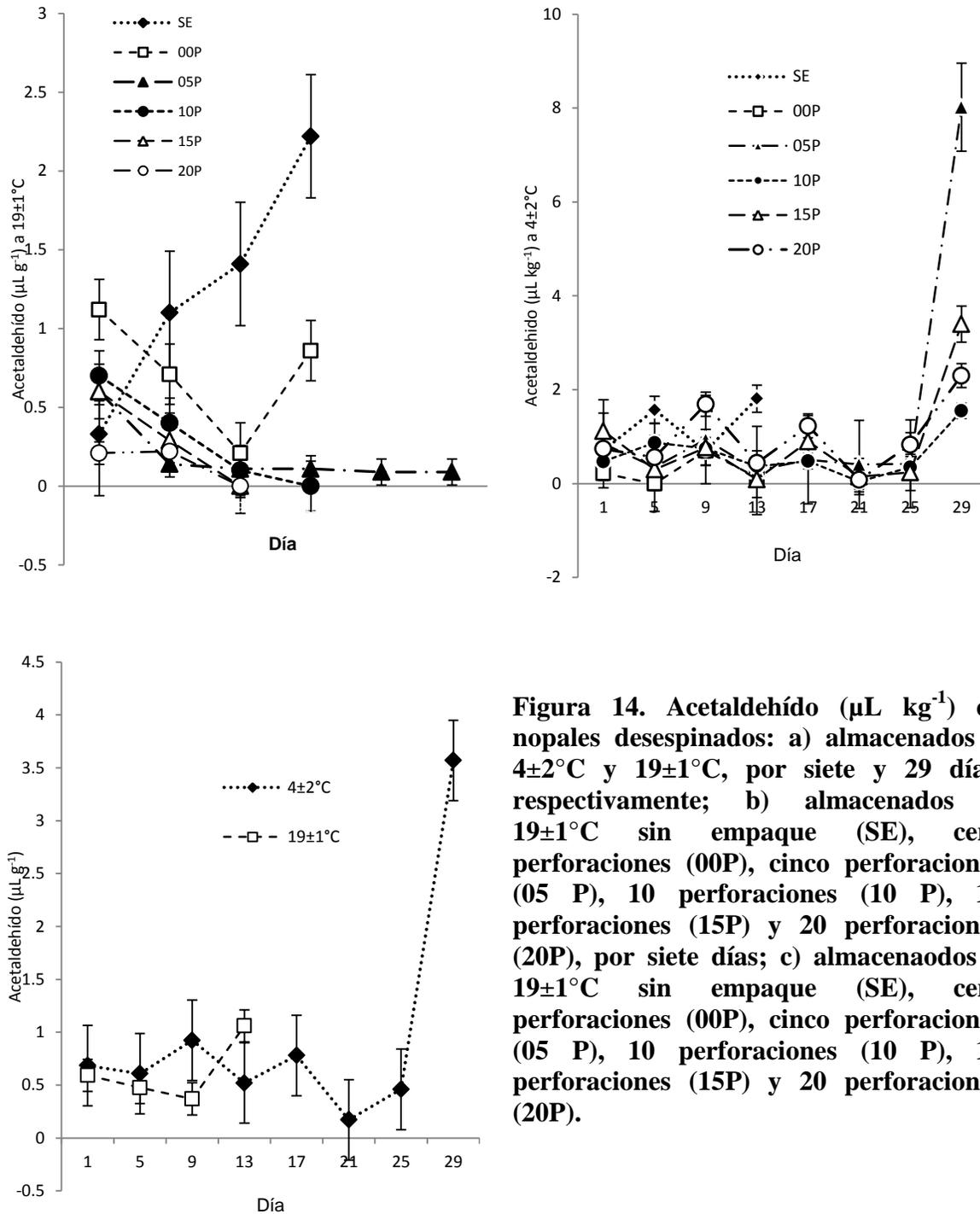


**Figura 13. Etanol ( $\mu\text{L g}^{-1}$ ) en nopales verdura desespinaados: a) almacenados a  $4\pm 2^\circ\text{C}$  y  $19\pm 1^\circ\text{C}$ , por siete y 29 días, respectivamente; b) almacenado  $19\pm 1^\circ\text{C}$  sin empaque (SE), cero perforaciones (00P), cinco perforaciones (05 P), 10 perforaciones (10 P), 15 perforaciones (15P). c) y 20 perforaciones (20P) por siete días; b) almacenados a  $4\pm 2^\circ\text{C}$  sin empaque (SE), cero perforaciones (00P), cinco perforaciones (05P), 10 perforaciones (10P), 15 perforaciones (15P) y 20 perforaciones (20P), por 29 días.**

### 3.3.6 Acetaldehído

En la temperatura a  $4 \pm 2^\circ\text{C}$ , la producción de acetaldehído se incrementó en el día 29 (Figura 14c), al igual que el tratamiento sin empaque, el cual presentó altas concentraciones a  $19\pm 1^\circ\text{C}$  los

días cinco, nueve y 13 (1.1, 1.41 y 2.22  $\mu\text{L g}^{-1}$ ) (Figura 14b). El tratamiento de 15 perforaciones tendió a menores concentraciones de acetaldehído en refrigeración.



Las mayores concentraciones en acetaldehído en el tratamiento sin empaque a  $19 \pm 1^\circ\text{C}$  podría ser resultado de una mayor deshidratación de la capa formada por mucilago y agua durante el

lavado, la cual no permitió un adecuado intercambio gaseoso debido a una menor reabsorción de los fluidos excretados por el nopal (Tomás-Barberan y Robins, 1997).

La producción de etanol y acetaldehído es estimulada por la destrucción de las células de los tejidos en alimentos mínimamente procesados (Artés *et al.*, 2007). Los valores registrados fueron similares a aquellos reportados por Fortiz-Hernández y Rodríguez-Félix (2010) de un rango entre 1.25-2.3  $\mu\text{L L}^{-1}$ , excepto en el día 29 en el almacenamiento refrigerado, donde éstos fueron superados por los tratamientos evaluados hasta ese día, posiblemente a causa de una baja concentración de  $\text{O}_2$  que indujo el metabolismo anaerobio, en el cual se sintetizan etanol, acetaldehído y lactato (Wenzhong *et al.*, 2007; y Rojas-Grau *et al.*, 2009). Se registró una menor síntesis de etanol que de acetaldehído, debido a que primero ocurre la síntesis de éste.

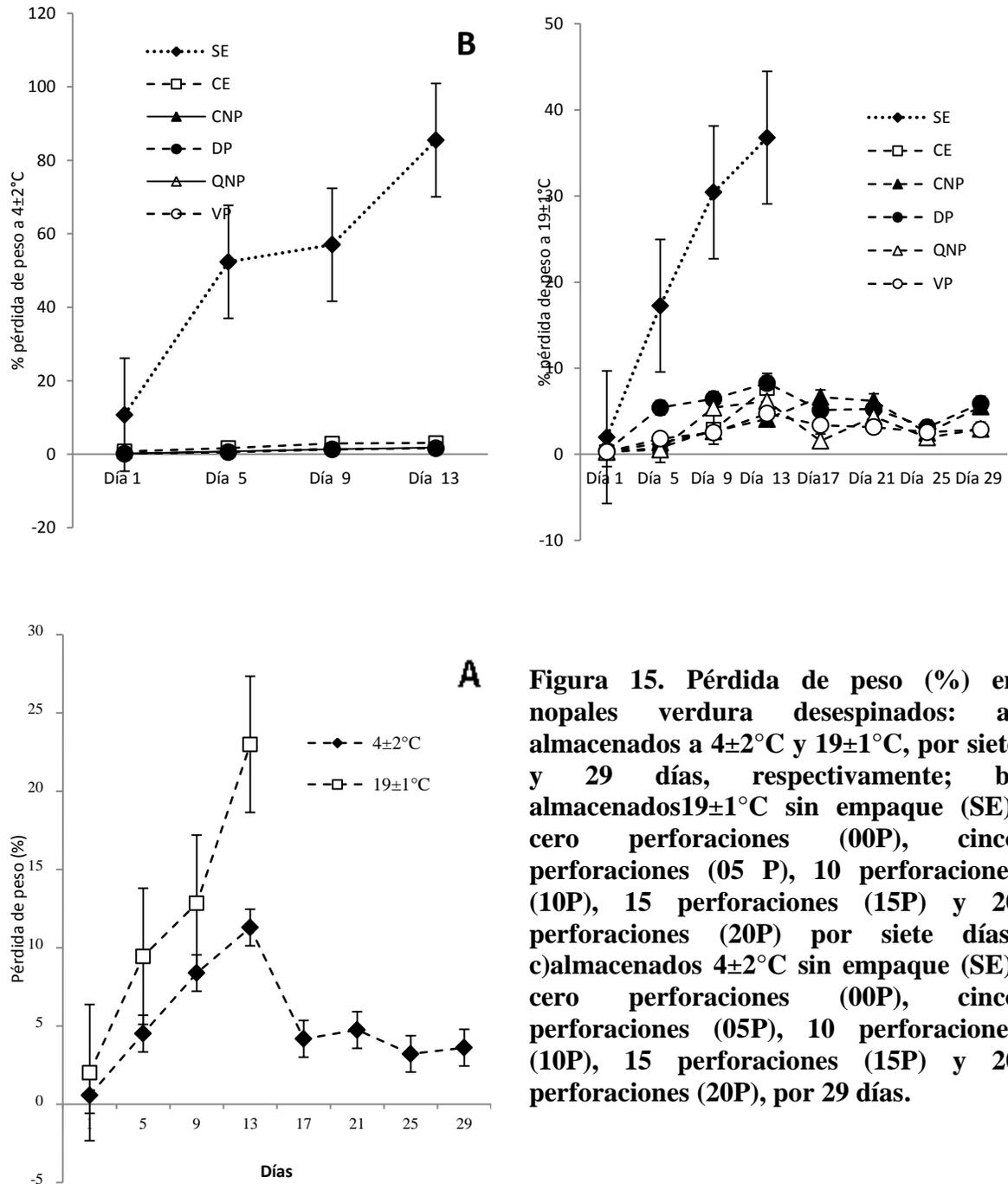
El tratamiento sin empaque tendió a mostrar incrementos en los niveles de acetaldehído, quizá porque la exposición directa a las condiciones de temperatura ocasionó deshidratación, lo que obstaculizó la reabsorción de los fluidos de nopal secretados por el corte y el lavado (Tomás-Barberan y Robins, 1997), generándose una capa que obstruyó el intercambio de gases, los que se acumularon y generaron una respiración anaerobia.

El patrón de la generación de acetaldehído en el tratamiento de 15 perforaciones en refrigeración podría implicar a un adecuado intercambio gaseoso entre la atmósfera interna del empaque y el entorno, ya que el tratamiento de 20 perforaciones debido a un mayor número de perforaciones pudo presentar un poco de mayor deshidratación que se reflejó en el contenido de acetaldehído, como se discutió en el tratamiento sin empaque. Reanult *et al.*, (1994) indican que adecuados los niveles de  $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_2$  pueden incrementar la vida de anaquel de los productos, este podría ser el caso del tratamiento de refrigeración con 15 perforaciones.

### **3.3.7 Pérdida de peso (%)**

La pérdida de peso aumentó significativamente ( $P \leq 0.05$ ) en las dos temperaturas de exposición (Figura 15a), pero en mayor proporción a  $19 \pm 1^\circ\text{C}$  (Figura 15b y Figura 15c). El tratamiento sin empaque mostró, en ambas condiciones térmicas, una mayor deshidratación que el resto (Figura 15b y Figura 15c). En general las menores pérdidas de peso se registraron en los tratamientos de 15 y 20 perforaciones a lo largo del almacenamiento a  $4 \pm 2^\circ\text{C}$  (Figura 15c), pero sin diferencias

significativas. En el almacenamiento a  $19 \pm 1^\circ\text{C}$ , el tratamiento sin empaque mostró mayores pérdidas de peso comparativamente con el resto de los tratamientos expuestos a la misma condición térmica. También fue mayor respecto al tratamiento sin empaque a  $4 \pm 2^\circ\text{C}$ .



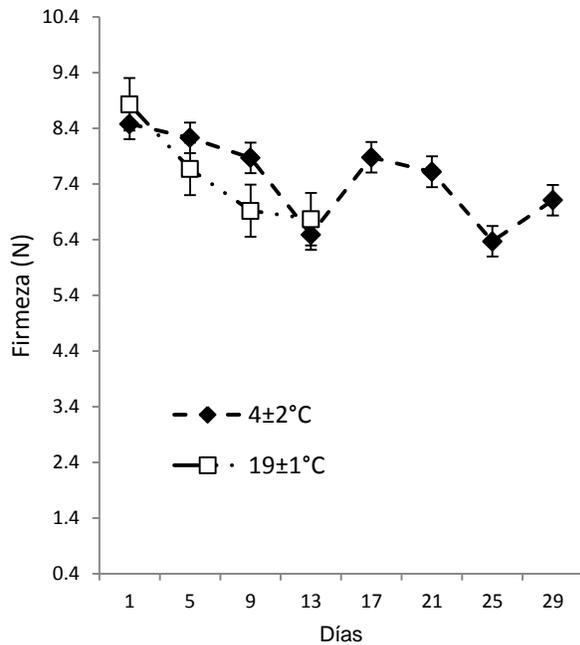
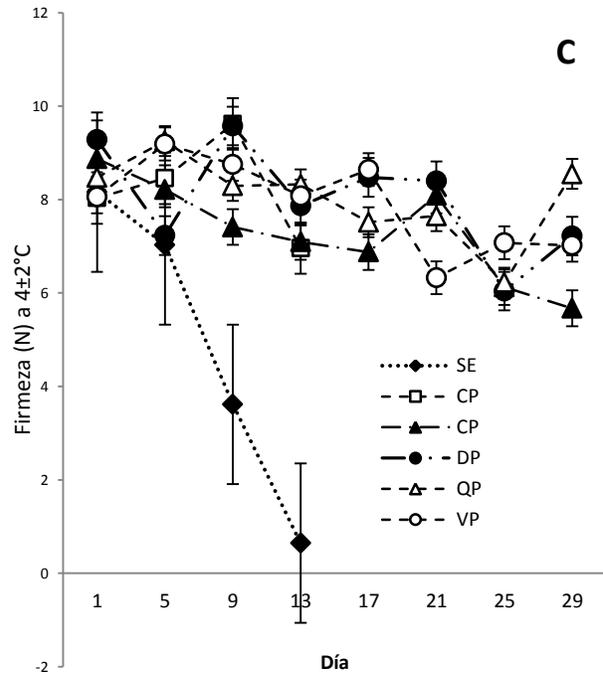
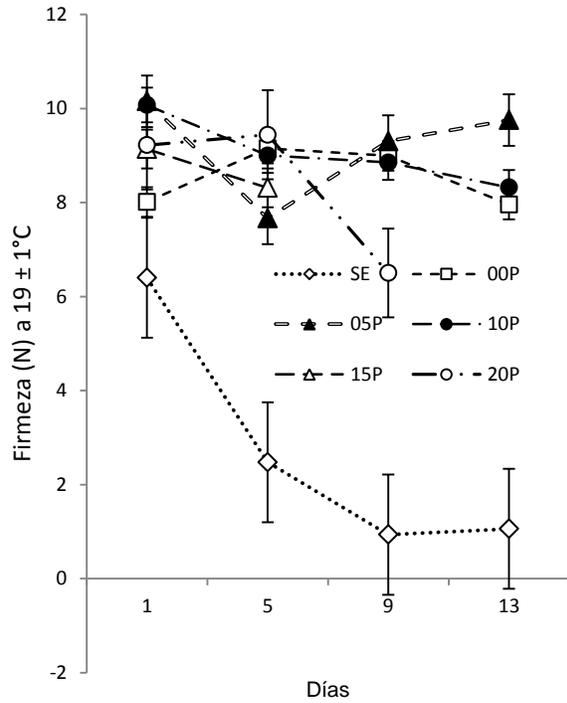
**Figura 15. Pérdida de peso (%) en nopales verdura desespinaados: a) almacenados a  $4 \pm 2^\circ\text{C}$  y  $19 \pm 1^\circ\text{C}$ , por siete y 29 días, respectivamente; b) almacenados  $19 \pm 1^\circ\text{C}$  sin empaque (SE), cero perforaciones (00P), cinco perforaciones (05P), 10 perforaciones (10P), 15 perforaciones (15P) y 20 perforaciones (20P) por siete días; c) almacenados  $4 \pm 2^\circ\text{C}$  sin empaque (SE), cero perforaciones (00P), cinco perforaciones (05P), 10 perforaciones (10P), 15 perforaciones (15P) y 20 perforaciones (20P), por 29 días.**

El aumento de la pérdida de peso con el almacenamiento ha sido informada en naranja (*Citrus sinensis*) pelada (Singh *et al.*, 2006), en pera (*Pyrus comunis*) (Zhenlei *et al.*, 2011), en nopal (*O. ficus indica*) (Yahia y Guevara-Arauza, 2010) concordando con los datos registrados hasta el día 13; después, los valores mostraron diferentes tendencias en los tratamientos. Sin embargo, las mayores pérdidas de peso ocurridas en el tratamiento sin empaque, en las dos condiciones de temperatura, podrían ser debido a una alta deshidratación, lo que implica que las atmósferas modificadas preservan mejor el peso de los nopalitas, lo cual coincide con Guevara *et al.* (2001).

Las mayores pérdidas de peso a  $19 \pm 2^\circ\text{C}$ , en el tratamiento sin empaque, con respecto al mismo en la otra condición térmica concuerdan con Según Rizzo y Muratore (2009), quienes indican que la temperatura de almacén controlado restringe la pérdida de peso.

### **3.3.8. Firmeza**

La firmeza disminuyó hasta ser significativa ( $P \leq 0.05$ ) en el día 13 a  $19 \pm 1^\circ\text{C}$  y a  $4 \pm 2^\circ\text{C}$  con 6.77 y 6.45 N, respectivamente (Figura 16a), al igual que en el tratamiento sin empaque a ambas temperaturas (Figura 16b y Figura 16c), donde resultó significativamente ( $P \leq 0.05$ ) inferior a los demás tratamientos los días cinco (7.03 N), nueve (3.62 N) y 13 (0.64 N) en refrigeración y a  $19 \pm 1^\circ\text{C}$  en las determinaciones de los días nueve (0.93 N) y 13 (1.05 N). No se encontraron diferencias significativas entre el resto de los tratamientos. Los resultados en el día uno entre temperaturas (8.50 y 8.80 N a  $4 \pm 1^\circ\text{C}$  y  $19 \pm 1^\circ\text{C}$ , respectivamente) coinciden con el promedio de 8.5 N mencionado por Aguilar-Sánchez *et al.* (2007) en la misma variedad con espinas. Las disminuciones de la firmeza en el tratamiento sin empaque, en las dos condiciones térmicas de experimentación, concuerdan con Guevara *et al.* (2001), quienes registraron las mayores reducciones a lo largo del almacenamiento en nopal verdura ‘Atlixco’ con espina sin empaque a  $5^\circ\text{C}$  durante 30 días, respecto a aquellos empacados en atmósferas modificadas. Lo anterior también coincide con Artés-Calero (2006) al informar que entre los beneficios del uso de atmósferas modificadas está un menor ablandamiento de los tejidos, lo cual es evidente en mayor magnitud en el tratamiento sin empaque del almacenamiento refrigerado, quizá porque a  $19 \pm 2^\circ\text{C}$ , la mayor deshidratación ocasionó endurecimiento de los tejidos.



**Figura 16. a) Firmeza (N) en nopales verdura desespinaados: a) almacenados a  $4 \pm 2^\circ\text{C}$  y  $19 \pm 1^\circ\text{C}$ , por 13 y 29 días; b) almacenado  $19 \pm 1^\circ\text{C}$  sin empaque (SE), cero perforaciones (00P), cinco perforaciones (05 P), 10 perforaciones (10P), 15 perforaciones (15P) y 20 perforaciones (20P), por 13 días; c) almacenados  $4 \pm 2^\circ\text{C}$  sin empaque (SE), cero perforaciones (00P), cinco perforaciones (05 P), 10 perforaciones (10 P), 15 perforaciones (15P) y 20 perforaciones (20P), por 29 días.**

### 3.3.9. Apariencia

A partir del día cinco, los nopales almacenados a  $19 \pm 1^\circ\text{C}$  sin empaque mostraron alta deshidratación y un grado de oscurecimiento del 21 a más de 50%, el resto de los cladodios se ubicó entre 11 y 20%, de acuerdo con la escala hedónica empleada (ANEXO 2). En las observaciones posteriores, todos los tratamientos con alguna atmósfera modificada mostraron alto grado de oscurecimiento de entre 21 a más de 50%, principalmente los nopales almacenados en los empaques con 10, 15 y 20 perforaciones (ANEXO 3).

En la otra temperatura de evaluación, las heridas de los cladodios comenzaron a oscurecerse desde el día cinco y se ubicaron en entre el 1 y 20 % de la escala hedónica cuando fueron empacados (ANEXO 2), mientras que los nopales sin empaque mostraron un mayor grado de oscurecimiento (21-30 %). La mayor oxidación de los tejidos cortados fue evidente a los 17 días en los empaques con cinco perforaciones, la atmósfera con el menor nivel de microperforaciones con 21 a 50% de oscurecimiento. Los nopales sin recipiente, y cero perforaciones solo se evaluaron hasta el día 13 del almacenamiento refrigerado. En los demás empaques, conforme avanzó el tiempo de almacenamiento a  $4 \pm 2^\circ\text{C}$ , el crecimiento de hongos y bacterias se hizo más obvio, por lo que para el día 29, los nopales se encontraron de 50 % a más grado de oscurecimiento aproximadamente. Sin embargo cabe señalar que a esta condición térmica ( $4 \pm 1^\circ\text{C}$ ) las pudriciones por hongos y bacterias aparecieron en el día 13 de almacenamiento.

La mayor deshidratación y oscurecimiento en los nopales sin empaque almacenados a  $19 \pm 1^\circ\text{C}$  concuerda con lo indicado por Del Valle *et al.*, (2004) y Artés Calero (2007), quienes indican que las atmósferas modificadas disminuyen entre otras cosas la pérdida de peso y la oxidación de los tejidos. En la otra condición térmica, de acuerdo con lo observado, la apariencia de puntos cafés podría estar vinculada a altas cantidades de  $\text{CO}_2$  al interior del empaque, lo cual tiene que ver con el número de microperforaciones en los envases de empaque y con el tiempo de almacenamiento, pues ocurre una acumulación de  $\text{CO}_2$ , lo que podría explicar los resultados obtenidos para los nopales almacenados en recipientes con cinco perforaciones y la apariencia de las muestras a lo largo del almacenamiento.

### 3.4. Conclusiones

Los nopales empacados en atmósferas modificadas almacenados a  $4 \pm 2^\circ\text{C}$  presentaron menores valores de firmeza y croma y el mayor pH, pérdida de peso con respecto a aquellos sin empaque.

Los sólidos solubles totales, etanol, acetaldehído, pérdida de peso fueron superiores a  $19 \pm 1^\circ\text{C}$  en el tratamientos sin empaque en comparación con los otros y la firmeza menor.

La apariencia fue mejor preservada a  $4 \pm 2^\circ\text{C}$  que a  $19 \pm 1^\circ\text{C}$ . Los nopales sin empaque mostraron un mayor grado de oscurecimiento en las dos temperaturas evaluadas.

### 3.5. Literatura citada

Aguilar-Sánchez, L., M. T. Martínez-Damián., A. F. Barrientos-Priego; N. Aguilar-Gallegos and C. Gallegos-Vásquez. 2007. Potencial de oscurecimiento enzimático de variedades de nopalitos. J. PACD.165-184.

Artés, F., P. Gómez, F. Artés-Hernández, E. Aguayo and V. Escalona.2007. Improved strategies overall quality of fresh-cut produce. Acta Horticulturae 476: 245-257.

ASERCA. El nopal, leyenda, comercio y futuro en México. No.98.

Basile, F.2001. Economic aspects of Italian cactus pear production and market. J. Profess Assoc Cactus Develop 4: 31-45.

Batancourt-Domínguez, M. A., T. Hernández-Pérez and P. García Saucedo. 2006. Physico-chemical changes in cladodes (nopalitos) from cultivated and wild cacti (*Opuntia spp*). Plant Foods for Human Nutrition 61: 115-119.

Batu, A. and K. Tomphson. 1998. Modified Atmosphere Packaging on Post Harvest Qualities of Pink. Effects of Tomatoes. Tr. J. of Agriculture and Forestry 22:365-372.

Cantwell, M., A. Rodríguez-Felix and F. Robles-Contreras.1992. Post-harvest physiology of prickly pear cactus stems. Scientia Horticulturae 50:1-9.

Corrales G., J., G. Anaya Valencia, A. M. F. Espinosa and P. García O. 2006. Minimal processing of cactus pear and tender cactus cladodes. Acta Horticulturae 728.

- Corrales-García, J., C. B. Peña-Valdivia, Y. Razo-Martínez, M. Sánchez-Hernández. 2004. Acidity changes and pH-buffering capacity of nopalitos (*Opuntia spp*). *Postharvest Biology and Technology*.32:169-174.
- Del Valle V., E. Almenar, P. Hernández-Muñoz , J. M. Lagarón, R. Catala and R. Gavara. 2004. Volatile organic compound permeation through porous polymeric films for modified atmosphere packaging of food. *Society of Chemical Industry* 84: 937-942.
- Fortiz-Hernández J. y A. Rodríguez-Félix. 2010. Efecto del envasado en películas plásticas en nopal verdura mínimamente procesado. *R. Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 11(2):180-190.
- Goldman, G., Y. Vinokur, B. Horev, S. Lurie, V. Rodov and G. Liguori.2005. Fresh-Cut Products from Cactus Species. *Acta Horticulturae* 682: 1961-1963.
- Guevara J. C., E. M. Yahia and E. Brito de la Fuente and S. P. Biserka. 2003. Effects of elevated concentration of CO<sub>2</sub> in modified atmosphere packaging on the quality of prickly pear cactus stems (*Opuntia spp*). *Postharvest Biology and Technology*. 167-176.
- Guevara J. C., E. M. Yahia and E. Brito de la Fuente.2001.Modified atmosphere packaging of prickly pear cactus stems (*Opuntia spp*). *Lebensm.-Wiss. U. Technology* 34: 445-451.
- Kim, J. G. 2007. Fresh-cut Market Potential and Changes in far-east Asia. *Acta Horticulturae* 746: 33 a 38.
- Lu, D., M. Zhang, S. Wang, J. Cai, X. Zhou and C. Zhu. 2010. Nutritional characterization and changes in quality of *Salicornia bigelovii* Torr during storage. *LWT-Food Science and Technology* 43:519-524.
- Mendoza-Wilson A. M. and R. Báez-Sañudo. 2000. Medición de la tasa respiratoria por sistema cerrado en melón cantaloupe. *Hort.Mex* 8(2):158-163.
- Norma del Codex para Nopal. 2005. CODEX STAN 185-1993, EMD. 1-2005.
- Ochoa J. and S. Uhart. 2004. Nitrogen availability and fruit yield generation in tuna (*Opuntia ficus-indica*): IV. Effects on fruit yield on dry matter partitioning to reproductive sinks. Pp.65-76 *In: Memorias. X Congreso Nacional y VIII Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal*. Chapingo, México.

- ODEPA-CIREN. 2003. Catastro Frutícola VI Región. Principales resultados. Publicación Conjunta de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) y el Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN), Santiago.
- Quevedo-Preciado, K. L., M. A. Villegas-Ochoa, H. González-Ríos y A. Rodríguez-Félix. 2005. Calidad de nopal verdura mínimamente procesado, efecto de temperatura e inhibidores de oscurecimiento. *Revista Fitotecnia* 28(3): 261-270.
- Rinaldi R., M., L. Almodio and G. Colelli. 2010. Effect of temperature and exogenous ethylene on the physiological and quality traits of purslane (*Portulaca oleracea* L.) leaves during storage. *Postharvest Biology and Technology* 58:147-456. doi: 10.1016/j.postharvbio.2010.05.012.
- Robles O, L. E., F. M. Goycoolea, M. I. Silveira and L. C. Montoya B. 2007. Uso del quitosano durante el escaldado de nopal verdura (*Opuntia ficus indica*) y efecto sobre su calidad. *Revista de Ingeniería Química* 6(2):193-201.
- Rodríguez-Félix A. and M. Cantwell. 1988. Developmental changes in composition and quality of prickly pear cactus cladodes (nopalitos). *Plant Foods Human Nutrition* 38:83-93.
- Rodríguez-Félix A. 2002. Postharvest physiology and technology of cactus pear fruits and cactus leaves. *Acta Horticulturae* 581:191-199.
- Saénz, C.H.B., J. Corrales G., L. Galletti, V. García de C., I. Higuera, C. Mondragón, A., Rodríguez-Félix E. Sepúlveda, M. T. Varnero. 2006. Utilización agroindustrial del nopal. Boletín de servicio Agrícola de la FAO. Roma.
- SIAP. 2009. <http://w6.siap.gob.mx/comercio/index.php> agosto de 2010
- Singh K. K. and K. S. S. Reddy. 2006. Post-Harvest physico-chemical properties of orange peel and fruit. *J. of Food Engineering* 73(2):112-120.
- Tomás-Barberan F. and R. J. Robins. 1997. *Phytochemistry of fruits and vegetables*. Books Express. United Kingdom. Pp. 328 .
- Yahia E. M. and J. C. Arauza. 2010. Modified Atmosphere Packaging of Nopal (Prickly Cactus Stem *Opuntia spp*). In: Proc IXth Intl Contr Atmos Res Conf. Ed RM Beaudry. *Acta Horticulturae* 857:441- 450.

**CAPITULO IV. CLADODIOS DESESPINADOS DE NOPAL VERDURA (*Opuntia ficus indica* L.) TRATADOS CON CLORO, ÁCIDO ASCÓRBICO, ÁCIDO ASCÓRBICO + ÁCIDO FUMÁRICO Y ÁCIDO ASCÓRBICO + ÁCIDO MÁLICO**

**Resumen**

Las atmósferas modificadas microperforadas son útiles en el almacenamiento de nopal verdura pero, la adición de aditivos potencializa la preservación, al disminuir el oscurecimiento enzimático. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de ácido ascórbico (0.1%), ácido ascórbico + ácido málico, ácido ascórbico + ácido fumárico y ácido ascórbico + ácido málico, con respecto a un testigo (200 ppm de cloro) en nopal verdura sin espinas. La hipótesis fue: al menos uno de los agentes antioscurecimiento en nopal verdura envasado en atmósferas modificadas microperforadas (15 perforaciones) disminuye algunos cambios fisiológicos ocasionados por el procesamiento mínimo en el almacenamiento. Se evaluó el color, firmeza, pH, acidez titulable, sólidos solubles totales, CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> al interior del empaque, tasa respiratoria y contenido de etanol y acetaldehído a 5±2°C y 24±2°C durante 25 y 8 días, respectivamente. No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, sin embargo la apariencia fue mejor en el tratamiento testigo (cloro) y ácido ascórbico solo.

**Palabras clave:** *Opuntia ficus indica*, ácido ascórbico, ácido málico, ácido fumárico.

## **4.1. Introducción**

El uso de atmósferas modificadas refrigeradas prolonga la vida de anaquel de los productos debido a que disminuye la deshidratación, los daños por frío, la oxidación de los tejidos y la respiración del producto (González *et al.*, 2008; Villanueva, 2005). Sin embargo, ésta eficiencia puede incrementarse con la aplicación de aditivos, entre ellos los antioxidantes (Thiringer *et al.*, 2010). Los de mayor interés son los de origen natural (Lanciotti *et al.* 2004), entre ellos los ácidos naturales provenientes de alimentos, como el acético, cítrico, láctico y málico (Samelis y Sofos, 2003).

En productos mínimamente procesados, el ácido ascórbico es ampliamente usado en frutas y hortalizas mínimamente procesadas en términos de seguridad y costo, debido a su efectividad en el control del oscurecimiento enzimático y reacciones exudativas (Quevedo-Preciado *et al.*, 2005; Rojas-Graü *et al.*, 2007), pero, la efectividad de los aditivos anti-oscorecimiento es variable dependiendo del producto, por lo que es necesario buscar un mayor número de compuestos alternativos que permitan aumentar vida de anaquel en los productos mínimamente procesados, en este caso en nopal (*O. ficus indica*). Debido a lo anterior, presente investigación tuvo por objetivos los siguientes:

### **4.1.1. Objetivo general**

Determinar el efecto del ácido ascórbico, ácido ascórbico+fumárico, ácido ascórbico + málico y cloro como testigo, en la calidad y preservación de nopal verdura (*O. ficus indica*) ‘Atlixco’ entero libres de espinas.

### **4.1.2. Objetivos específicos**

Evaluar los atributos de color, pH, acidez titulable, sólidos solubles totales, O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> al interior del empaque, tasa respiratoria, producción de etanol, producción de acetaldehído y apariencia en nopal verdura ‘Atlixco’ sin espinas tratado con cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido fumárico y ácido ascórbico + ácido málico.

### **4.1.3. Hipótesis**

Al menos el ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido fumárico, ácido ascórbico + málico o el cloro mantiene la apariencia y prolonga la vida de anaquel del nopal verdura desespinado.

## **4.2. Materiales y métodos**

### **4.2.1. Material vegetal**

Los brotes (nopal verdura), también llamados cladodios, se adquirieron con productores de la sociedad PRONACUA, en las comunidades aledañas de Tlacuatzingo y San Pablo Ixquiltán, de los Municipios de Otumba y San Martín de las Pirámides del Estado de México. Geográficamente éstos se ubican entre 19° 35' 37" y 19° 46' 20" de latitud Norte y, 98° 49' 00" y 98° 38' 48" Longitud Oeste a 2349.41 y 2300 m. s. n. m., respectivamente.

Se utilizó la variedad predominante en la zona nopalera del Estado de México (*Opuntia ficus indica* 'Atlixco'), que se caracteriza por la poca producción de mucílago, alto potencial de oscurecimiento enzimático y pH (4) moderadamente ácido (Aguilar-Sánchez *et al.*, 2007).

La cosecha se realizó por la tarde (12:00-16:00 pm), eligiendo a aquellos nopales verdura de entre 17-20 cm de longitud. De inmediato las espinas se eliminaron con un cuchillo y el producto se refrigeró por 12 horas a 8°C al interior de una bolsa de plástico, para ser transportadas al laboratorio de Atmósferas Modificadas y Controladas del Departamento de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Autónoma Chapingo, donde se seleccionaron por tamaño y tratamiento. La desinfección se realizó con 222 ppm de cloro (pH 7.84) en agua corriente durante dos minutos; se orearon sobre papel pellón estéril y, se les sumergió por la misma cantidad de tiempo en los respectivos tratamientos: ácido ascórbico (1%), ácido ascórbico + ácido fumárico (0.5% de c/u) y ácido ascórbico + ácido málico (0.5% de c/u), el resto se dejó tal cual por tratarse del testigo (cloro). Se eliminó el exceso de humedad y los cladodios se empacaron Ziplock® con 15 perforaciones de 0.5 mm de diámetro distribuidas en toda la bolsa.

### **4.2.2. Tratamientos y diseño experimental**

Se empleó diseño experimental completamente al azar con cuatro tratamientos (cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico málico, ácido ascórbico + fumárico) y un factorial de tres factores

(tratamientos, temperatura y días). Para cada condición térmica de  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  y  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  se tuvieron tres repeticiones. La unidad experimental consistió de una bolsa Ziplock® con tres cladodios. Los tratamientos se determinaron, de acuerdo a un ensayo realizado con nopales de traspatio de la región de Texcoco. Se eligieron aquellos aditivos que disminuyeron el deterioro.

#### **4.2.3. Desarrollo experimental**

En base a los resultados obtenidos de un ensayo previo en recipientes con diferentes perforaciones, se estableció usar como atmósferas modificadas-microperforadas, bolsas Ziplock® de (18x20 cm), las cuales se perforaron con una aguja hipodérmica homogéneamente en toda la superficie hasta completar 15 perforaciones. Se dispusieron tres lotes de 63 bolsas (de tres cladodios) cada uno por tratamiento, es decir 189 empaques. Todos los nopales se sumergieron por dos minutos en 222 ppm de cloro en agua corriente; se les eliminó el exceso de humedad con toallas absorbentes. Posteriormente una cuarta parte de los nopales se sumergió en una solución de ácido ascórbico al 1%, otro cuarto en ácido ascórbico (0.5%)+málico (0.5%) y/o ácido ascórbico (0.5%) + fumárico (0.5%) y los restantes en 222ppm de cloro. Se orearon por 1 h y se empacaron herméticamente en las bolsas Ziplock®, no sin antes introducir un tubo Vacutainer® (nuevo, sin aditivos y de 4 mL de capacidad) destapado, para monitorear las concentraciones de  $\text{O}_2$  y  $\text{CO}_2$  en cada día de evaluación. 39 y 24 bolsas por tratamiento, con nopales empacados, se almacenaron a  $5 \pm 1$  y/o  $24 \pm 2^\circ\text{C}$ , respectivamente.

Las evaluaciones se realizaron diariamente por siete u ocho días en los nopales expuestos a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  y, cada tercer día en los almacenados en refrigeración ( $5 \pm 1^\circ\text{C}$ ) durante 25 días. La instalación del experimento se consideró como día cero. Se retiraron tres unidades experimentales por tratamiento, temperatura y día de evaluación y, los tubos Vacutainer® al interior del empaque se cerraron.

#### **4.2.4. Variables evaluadas**

Color. Se obtuvieron los valores  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  en escala triestímulos con un colorímetro Minuscan una lectura de la sección media de cada nopal verdura por unidad experimental (cuatro nopales). Con los datos se calculó el ángulo de tono o matiz ( $\tan^{-1} b^* / a^*$ ) que constituye en sí,

el tono del producto, y chroma ( $\sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$ ), el cual representa la intensidad del color. La luminosidad se refiere a la brillantez y es el valor directo de  $L^*$ . También se determinó el cambio de luminosidad, como variable para medir el oscurecimiento de los tejidos de nopal verdura con base en lo planteado por (Gorny *et al.*, 2002).

Firmeza. Se midió en la misma sección que en la variable anterior por unidad experimental, en zonas sin herida, con un texturómetro (Texturometer Analysier modelo TA-ST2, mca. Stable Microsystems, Ce) y una Aguja 2PN. Los resultados se expresaron en N.

Acidez titulable y pH. Previo a las determinaciones, las muestras estuvieron congeladas a  $-20^{\circ}\text{C}$ . La descongelación se realizó exponiéndolas 24 h a temperatura ambiente. Se licuaron 10 g de muestra en 50 mL de agua destilada, por tratamiento y repetición. El volumen resultante se midió en una probeta y posteriormente se filtró con un cedazo. El pH se midió pH con un potenciómetro Thermo, scientific orion 3star pH portable y, se tomó una alícuota de 10 mL, que fue titulada con NaOH al 0.1 N (AOAC 1992) hasta obtener un pH de 8.2. La acidez titulable se registró en porcentaje de ácido málico.

$$\% \text{ Ac. málico} = \frac{\text{mLNaOH} * \text{NNaOH} * \text{meq de ac. málico} * \text{volumentotal} * 100}{\text{pesodelamuestra} * \text{alícuota}}$$

Sólido solubles totales. Se determinó con las mismas muestras usadas para la medición de pH. Se mezclaron pequeñas porciones de los nopales de cada unidad experimental por tratamiento y se exprimieron con ayuda de cedazo para obtener una gota que se depositó en un refractómetro manual Hand refractometer ATAGO HSR500. Las lecturas de los sólidos solubles totales se expresaron en  $^{\circ}\text{Brix}$ .

Oxígeno ( $\text{O}_2$ ) y Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ) al interior del empaque. Se evaluó mediante cromatografía de gases en los tubos que se encontraban al interior de la bolsa y que fueron sellados antes de abrir los empaques, en un tubo por unidad experimental. Se inyectaron 100  $\mu\text{L}$  de cada muestra gaseosa, además de estándares para determinar el tiempo de retención de  $\text{O}_2$  y  $\text{CO}_2$ . Se usó un cromatógrafo de gases VARIAN® Star 3400, una columna empacada DB-624 J&W Scientific® y, un detector de ionización de flama con un integrador Varian® 4400. Los flujos de gases empleados fueron, para aire 300 mL/min,  $\text{H}_2$  30 mL/min,  $\text{N}_2$  30 mL/min; con

19Psi de presión de cabeza. Las temperaturas de inyección fueron de 180°C en el inyector, 80°C para la columna, 170 para el detector, 170 auxiliar. Las inyecciones se realizaron con jeringas Hamilton®. La lectura del área bajo la curva se realizó en el canal B. La cuantificación se estimó en porcentaje. El tiempo de corrida fue de cinco minutos.

Tasa respiratoria. Cada unidad experimental se encerró herméticamente en recipientes de 2.75 L de capacidad por un hora. Cumplido el tiempo, se extrajeron 4 mL del espacio de cabeza por el acceso de cada recipiente mediante una jeringa (Mendoza-Wilson y Báez-Sañudo, 2000), el gas extraído se almacenó en un tubo Vacutainer® de la misma capacidad y se refrigeró a  $4\pm 1^\circ\text{C}$  hasta su evaluación mediante el método colorimétrico propuesto por (Valle, 1995). La respiración se estimó en mL de  $\text{CO}_2$  por kg de producto.

Contenido de acetaldehído y etanol. Se usó una adaptación del método del espacio de cabeza propuesto por Davis y Chace (1969). Se picaron finamente 7.5 g de muestra por unidad experimental, la que se almacenó en viales de 37 mL, cerrados herméticamente y guardados a  $-20^\circ\text{C}$ . Previo al análisis en cromatografía de gases, las muestras se descongelaron 24 horas antes a  $8^\circ\text{C}$ , después se incubaron a  $60^\circ\text{C}$  por media hora. Se inyectó 100  $\mu\text{L}$  un volumen de gas. También se realizaron curvas tipo para cada uno de estos metabolitos anaerobios, lo cual permitió, además, conocer el tiempo de retención. El equipo de cromatografía, sus accesorios y fueron los mismos empleados en la medición de etanol y acetaldehído. Las condiciones de uso en temperatura del equipo fueron: inyector 170, columna 170, detector 170, auxiliar 170. La lectura del cromatograma se hizo en el canal A. Se usó una jeringa Hamilton®. El tiempo para cada corrida fue de 10 minutos.

Apariencia. Se comparó la apariencia de los nopales en cada día de evaluación en relación con una escala hedónica, donde se establecieron rangos de 0, 1 a 10, 11 a 20, 21 a 50 y  $>50\%$  de acuerdo a Osorio-Córdoba *et al.* (2011). Se consideró el oscurecimiento de las heridas.

#### **4.2.5. Análisis estadístico**

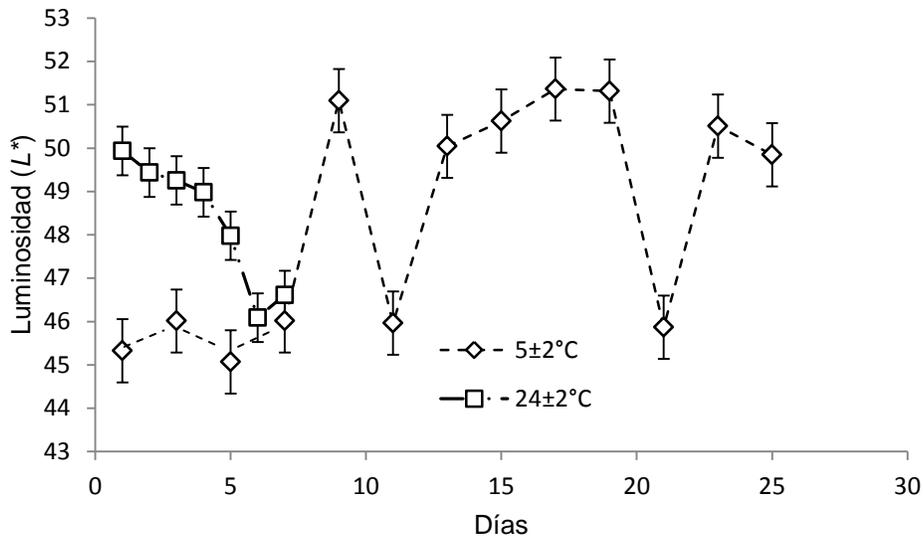
Se empleó el procedimiento ANOVA y la comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ), para cada variable evaluada. Los análisis se realizaron con el paquete SAS por Windows versión 6.12.

### 4.3. Resultados y discusión

#### 4.3.1. Color

##### 4.3.1.1. Luminosidad

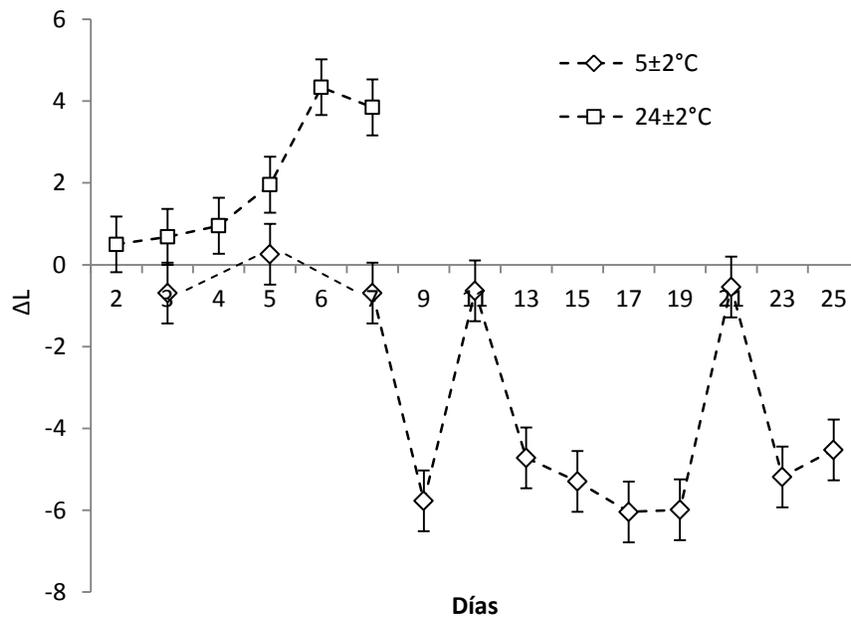
En nopales almacenados a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  (Figura 17), los valores de luminosidad disminuyeron gradualmente hasta ser significativos ( $P \leq 0.05$ ) en los dos últimos días de experimentación con valores de 46.01 y 46.61, respectivamente; contrario al material vegetal expuesto a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  (Figura 17), donde las determinaciones uno (45.32), tres (46.01), cinco (45.06), siete (46.02), 11 (45.96), y 21 (45.87) fueron significativamente menores ( $P \leq 0.05$ ). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre la comparación de las dos condiciones térmicas evaluadas. La luminosidad media en los nopales almacenados a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  ascendió a 48.39 y a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  a 48.18.



**Figura 17. Luminosidad ( $L^*$ ) en nopal verdura sin espinas almacenado a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  por siete días y a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  por 25 días.**

El comportamiento de la luminosidad en el almacenamiento en las dos temperaturas experimentales evaluadas coincide con Quevedo-Preciado *et al.*, (2005), quienes informan de aumentos en éste atributo de color, en nopales mínimamente procesados ‘Copena’ almacenados a  $5^\circ\text{C}$  y disminuciones en aquellos expuestos a  $10^\circ\text{C}$ . Los valores de luminosidad de las muestras refrigeradas en los días 13, 15, 17, 19 y 25 (Figura 19b) indican incrementos significativos ( $P \leq$

0.05) con respecto a las evaluaciones de los días uno, tres, cinco y siete. Lo anterior podría ser consecuencia de la pérdida de clorofila, como resultado de la actividad de la enzima Clorofilasa (Guevara *et al.* 2003). Quevedo-Preciado *et al.* (2005) informan de aumentos en la luminosidad de nopal verdura troceado ‘Copena’ (*Opuntia ficus indica* L.) al señalar valores negativos en el cambio de luminosidad ( $\Delta L = L_1 - L_2$ ; donde  $L_1$  es la luminosidad inicial y  $L_2$  la luminosidad final) a 5°C pero, registra valores menos negativos a 10°C en la misma variable, por lo que a mayores temperaturas como la de  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  usada en el presente estudio, éstos datos manifestarían valores positivos (Figura 17). Debido a lo anterior, los cambios en luminosidad reflejaron diferencias estadísticas entre las medias de las dos condiciones térmicas evaluadas, donde las muestras expuestas a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  fueron significativamente menores en el cambio de color, con respecto a las de  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  (-3.2 y 2.4, respectivamente).



**Figura 18. Luminosidad ( $L^*$ ) en nopal verdura sin espinas almacenado a  $24 \pm 1^\circ\text{C}$  y a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$ .**

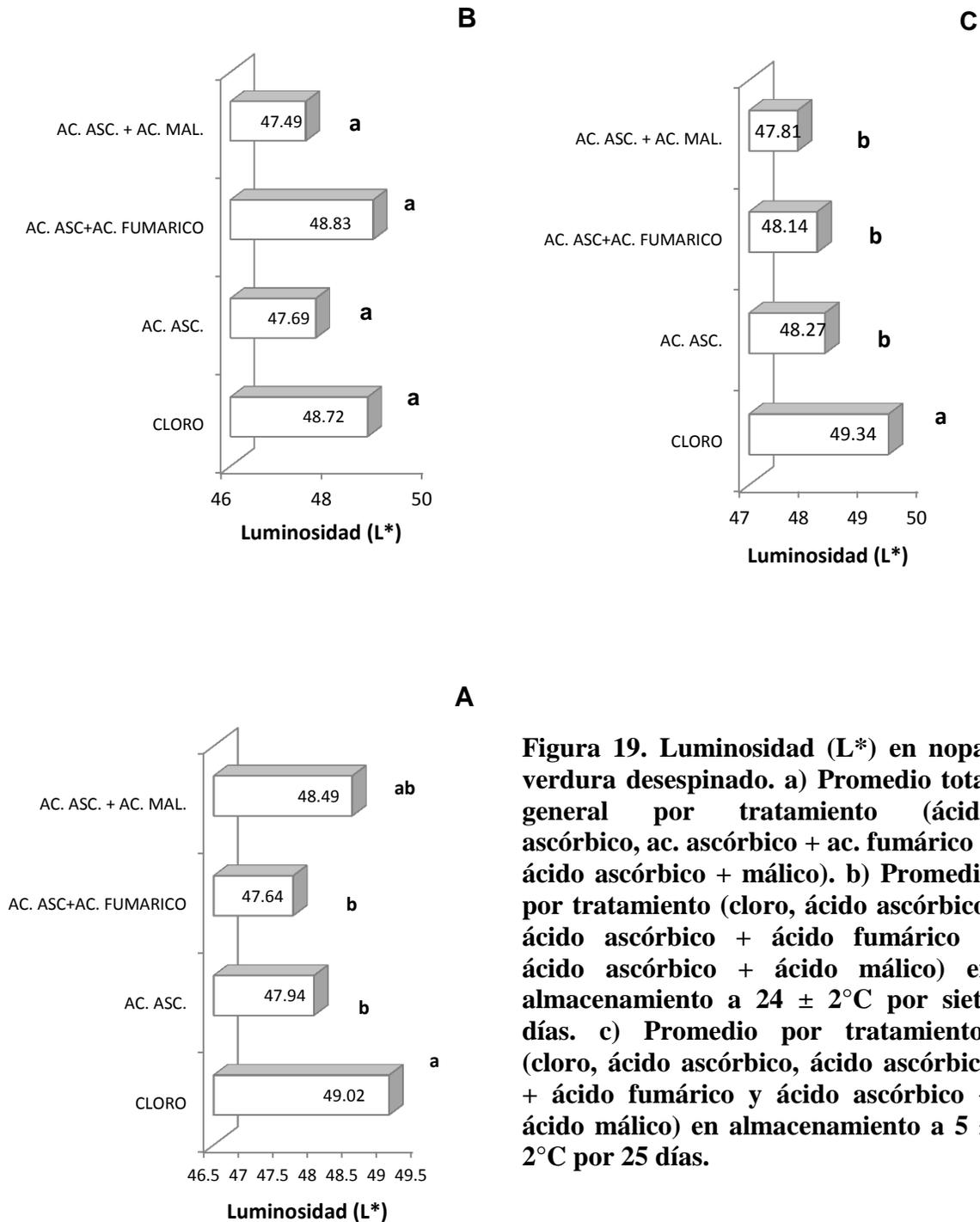
Por otro lado, Gago *et al.* (2011) indican que la disminución de la luminosidad junto con el aumento de los valores de  $a^*$  implican oscurecimiento de los tejidos; el cual, según Yahia y Guevara-Arauz (2010) y Guevara *et al.* (2003), es consecuencia de reacciones oxidativas, resultado de la exposición a altas concentraciones de  $\text{CO}_2$  al interior del empaque. No se encontró correlación significativa entre los valores de éstas con la luminosidad, sino una correlación significativa entre ésta última con la respiración ( $r = -0.145^*$ ), y el %  $\text{O}_2$  en la

atmósfera interna del empaque ( $r=0.167^*$ ), lo que significa que la luminosidad disminuye conforme se incrementa la tasa respiratoria del producto y aumenta cuando se acrecenta el porcentaje de  $O_2$  al interior del empaque.

La menor luminosidad, en los primeros siete días del almacenamiento refrigerado ( $5 \pm 2^\circ C$ ), es similar a la observada por Yahia y Guevara-Araiza (2010) en nopal verdura (*O. ficus indica*) ‘Milpa Alta’ entero almacenado a  $5^\circ C$  y empacado en atmósferas pasivas, con presiones iniciales de 20 KPa de  $CO_2$ .

Por otra parte, en el promedio de todas las evaluaciones por tratamiento (Figura 19a), la luminosidad fue significativamente mayor ( $P \leq 0.05$ ) en el nopal verdura expuesto a cloro (49.02) y ácido ascórbico + ácido málico (48.49), mientras los menores valores se observaron en el material vegetal tratado con ácido ascórbico y ácido ascórbico + fumárico (47.94 y 47.64, respectivamente).

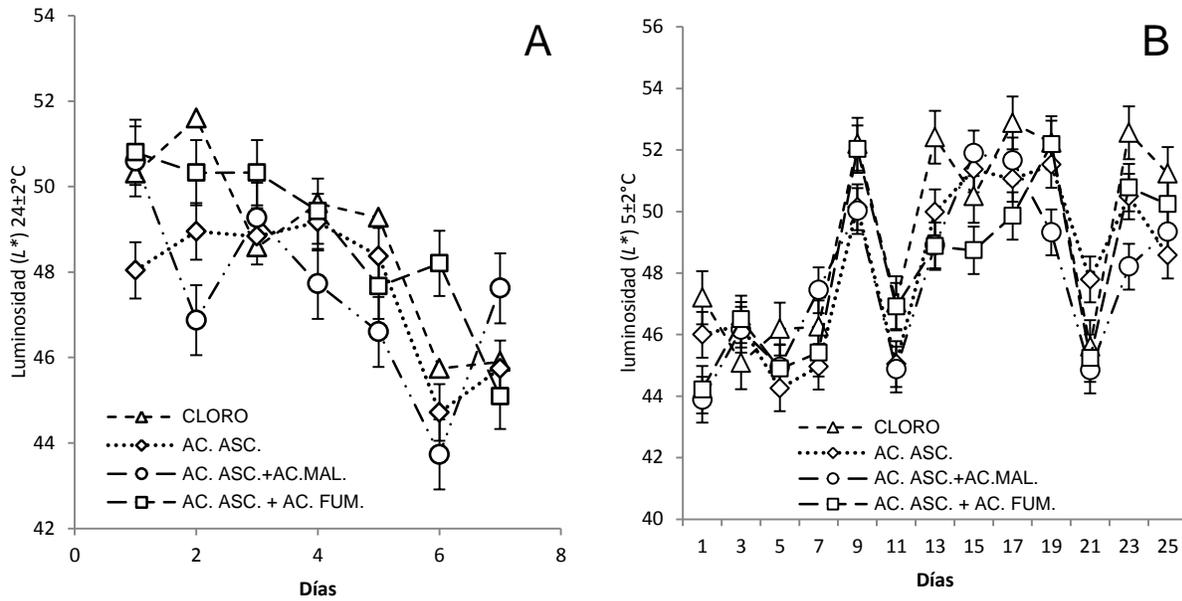
A  $5 \pm 2^\circ C$ , la mayor luminosidad estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ) la indujo la aplicación de cloro con un registro de 49.34 (Figura 19c). El mismo tratamiento, en la otra condición térmica ( $24 \pm 2^\circ C$ ) tendió a la mayor media (48.72) junto con el de ácido ascórbico + málico (48.83) (Figura 19b). Sin embargo los tratamientos no siguieron la misma tendencia a lo largo del almacenamiento ( $P \leq 0.05$ ).



**Figura 19. Luminosidad (L\*) en nopal verdura desespinado. a) Promedio total general por tratamiento (ácido ascórbico, ac. ascórbico + ac. fumárico y ácido ascórbico + málico). b) Promedio por tratamiento (cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido fumárico y ácido ascórbico + ácido málico) en almacenamiento a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  por siete días. c) Promedio por tratamientos (cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido fumárico y ácido ascórbico + ácido málico) en almacenamiento a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  por 25 días.**

En el almacenamiento refrigerado (Figura 20b), el material vegetal con ácido ascórbico + ácido fumárico fue significativamente ( $P \leq 0.05$ ) menor los días 13 (48.87) y 17 (49.85), al igual que el tratamiento de ácido ascórbico + ácido málico en las determinaciones 13 (48.90) y 23 (48.21). Es decir en el día 13 ambos fueron iguales, pero de menor valor estadísticamente ( $P \leq 0.05$ ) en

comparación de los nopales tratados con ácido ascórbico y cloro; éste último con tendencia a un mayor luminosidad. En el almacenamiento a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  (Figura 20a) el tratamiento de ácido ascórbico + ácido málico resultó significativamente ( $P \leq 0.05$ ) menor (43.73) en el día seis y tendió a los menores valores en las evaluaciones dos, cuatro, cinco y siete en la misma temperatura, mientras que los tratamientos de ácido ascórbico, agua y ácido ascórbico + fumárico fueron estadísticamente iguales (Figura 20b).



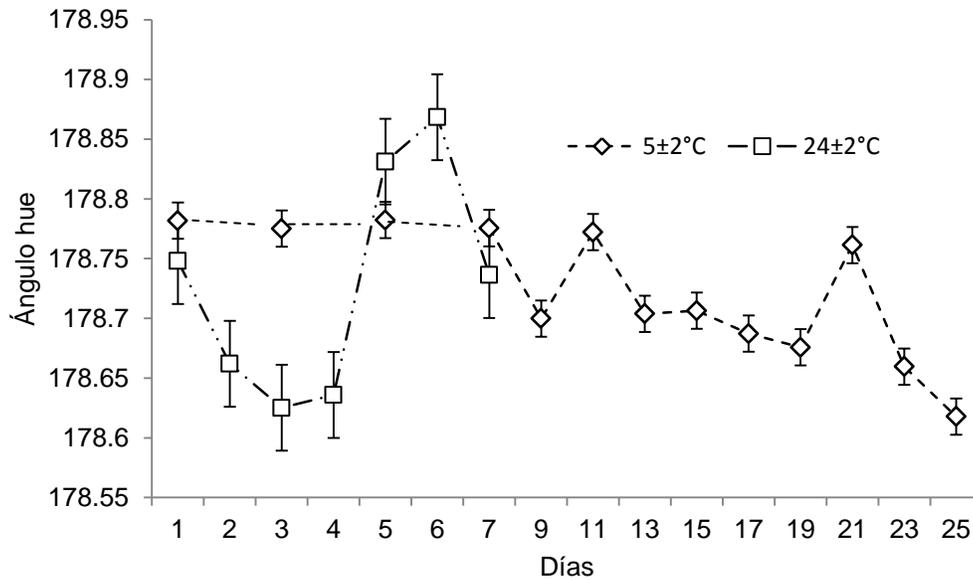
**Figura 20. a) Luminosidad ( $L^*$ ) en nopal verdura sin espinas almacenado a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  por siete días. b) Luminosidad ( $L^*$ ) en nopal verdura sin espinas almacenado a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  por 25 días. Las barras verticales indican el error típico.**

De acuerdo con los resultados obtenidos, la aplicación de cloro fue significativamente ( $P \leq 0.05$ ) de mayor luminosidad en la media general y a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  y  $5 \pm 2^\circ\text{C}$ . Lo anterior podría ser atribuidos al efecto blanqueador reportado por Martín-Diana *et al.*, (2005) en lechuga (*Lactuca sativa*) fresca cortada expuesta a una solución acuosa de 12% de cloro libre. Sin embargo tanto los aumentos como las disminuciones en la luminosidad son causas relacionados a pérdidas de clorofila (Guevara *et al.*, 2003; Toivonen y Brummell, 2008), por lo que en todos los tratamientos esto fue experimentado en las dos condiciones térmicas.

#### 4.3.1.2. Ángulo hue

De acuerdo con el diagrama de cromaticidad (ANEXO1).El ángulo de tono ( $^{\circ}$ hue) mostró un valor cercano a  $180^{\circ}$  correspondiente al color verde (Figura 21). No se encontraron diferencias significativas entre las temperaturas evaluadas, pero a  $24 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , el color verde tendió a ser mayor los días 5 y 6 de almacenamiento; mientras que a  $5 \pm 2^{\circ}\text{C}$  éste se mantuvo con poca variación los primeros siete días, con respecto al inicial ( $178.78^{\circ}$ ), después el ángulo hue disminuyó gradualmente hasta que en los dos últimos días de evaluación (23 y 25) alcanzó los valores similares a los del almacenamiento a  $24 \pm 2^{\circ}\text{C}$  en los días dos y tres con  $178.66$  y  $178.62^{\circ}$ , respectivamente (Figura 21).

La mayor preservación del tono verde en el almacenamiento a  $5 \pm 2^{\circ}\text{C}$  es explicada por García y Barret (2002), quienes indican que el frío aminora el metabolismo de los tejidos, incluyendo la actividad de la PPO. Lo anterior implica que también que a ésta temperatura la pérdida de clorofila ocurre de manera más lenta que en el almacenamiento a  $24 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , lo cual es confirmado en la figura 20, donde el ángulo hue fue constante, sin cambios bruscos los primeros siete días de almacenamiento, para posteriormente disminuir gradualmente en valores que representan un tono menos verde y más amarillo. Sin embargo, en ambas condiciones térmicas, la disminución del ángulo implicó degradación de clorofila, lo que es constatado por la correlación encontrada entre el ángulo de tono y el avance del almacenamiento ( $r=-0.149^*$ ), pero aumento en el valor del tono verde, en los dos penúltimos días de evaluación con respecto al dato inicial, en los nopales almacenados a  $24 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , significaría un oscurecimiento de los tejidos, producto de la degradación incompleta de la clorofila (Toivoinen y Brummell, 2008).



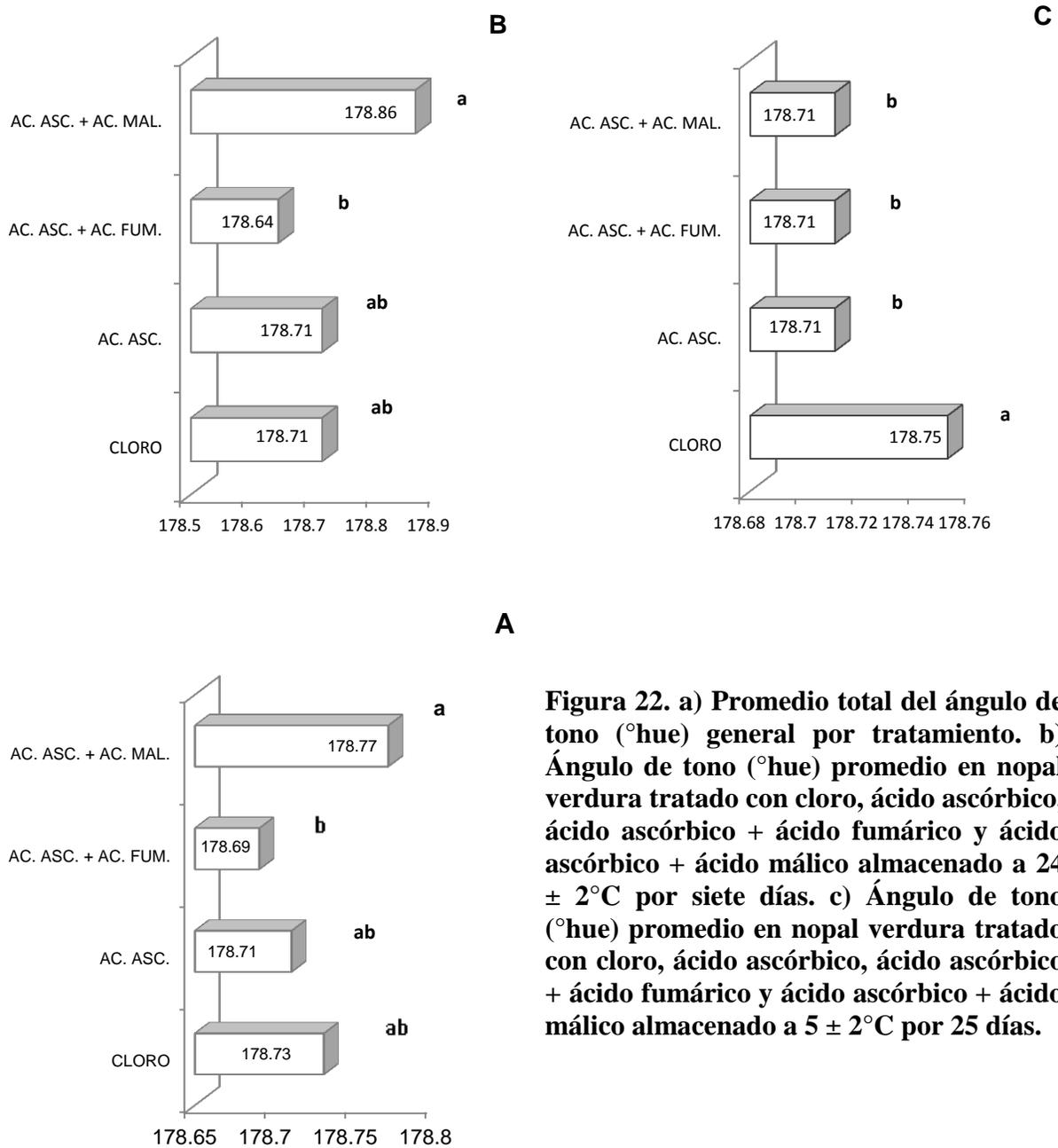
**Figura 21. Ángulo hue en nopal verdura sin espinas almacenado a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  y a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$ .**

En cuanto al promedio de los tratamientos, el material vegetal expuesto a ácido ascórbico + ácido málico resultó significativamente mayor ( $P \leq 0.05$ ) al resto con  $178.77^\circ$  (Figura 22a), al igual que en el almacenamiento a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  con  $178.86^\circ$  (Figura 22b). A  $5 \pm 2^\circ\text{C}$ , el material vegetal tratado con cloro fue significativamente de un tono más verde (mayor valor  $^\circ\text{hue}$ ) a los demás tratamientos con un dato de  $178.75^\circ$  (Figura 22c). Lo anterior junto con las interacciones encontradas indica que el ángulo de tono en los tratamientos no siguió la misma tendencia en las temperaturas y días de almacenamiento.

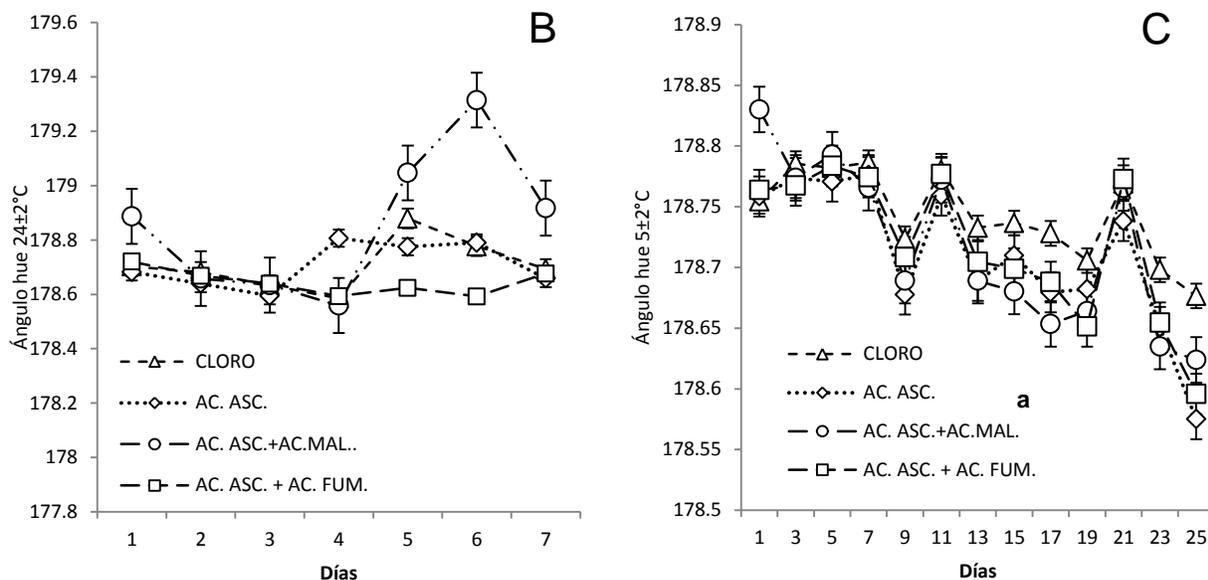
Con base en el párrafo anterior, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en los días de almacenamiento a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$ , pero en general la combinación ácido ascórbico + fumárico expresó pocos cambios en el ángulo hue (Figura 23a). En el almacenamiento a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$ , la aplicación de ácido ascórbico + ácido málico en las muestras registró los menores valores estadísticos ( $P \leq 0.05$ ) los días 15 ( $178.68$ ) y 23 ( $178.63^\circ$ ), del mismo modo el tratamiento de ácido ascórbico + ácido fumárico en la evaluación 19 ( $178.65^\circ$ ), mientras que el tratamiento de cloro en general tendió al mayor tono verde (Figura 23b).

Las tendencias en cuando a la mayor tonalidad verde, en el tratamiento de ácido ascórbico + ácido málico, en el almacenamiento a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  y del cloro en refrigeración podrían implicar

oscurecimiento de tejidos, mientras que los menores valores indican amarillamiento de tejidos. Sin embargo ambas situaciones implican degradación de clorofila (Tovoinen y Brummell, 2008).



**Figura 22. a) Promedio total del ángulo de tono ( $^{\circ}$ hue) general por tratamiento. b) Ángulo de tono ( $^{\circ}$ hue) promedio en nopal verdura tratado con cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido fumárico y ácido ascórbico + ácido málico almacenado a  $24 \pm 2^{\circ}\text{C}$  por siete días. c) Ángulo de tono ( $^{\circ}$ hue) promedio en nopal verdura tratado con cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido fumárico y ácido ascórbico + ácido málico almacenado a  $5 \pm 2^{\circ}\text{C}$  por 25 días.**



**Figura 23. a) Ángulo hue o de tono en nopal verdura sin espinas almacenado a  $24 \pm 2$  °C. b) Ángulo hue en nopal verdura sin espina almacenado a  $5 \pm 2$  °C. Las barras verticales indican el error típico.**

Por otra parte, en relación al ácido málico en los nopales almacenados a  $24 \pm 2$  °C y  $5 \pm 2$  °C, los resultados difieren de lo observado por Raybaudy-Massilia *et al.* (2007 y 2009), quienes han reportado que la mezcla de éste + N-acetyl-L cysteina, glutatión y lactato de Ca disminuyó el oscurecimiento enzimático en manzana (*Malus domestica*) mínimamente procesada, pero coincide con el amarillamiento significativo ( $P \leq 0.05$ ) de tejidos o los días 13, 15, 17, y 23, donde no hubo oscurecimiento. Lo anterior podría implicar inhibición o limitación del efecto estabilizante del ácido málico a  $24 \pm 2$  °C (Martínez *et al.* 2005). Lo que coincide también con el patrón en el ángulo hue diferente de los tratamientos cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido fumárico y ácido ascórbico + ácido málico entre las dos temperaturas de evaluación.

Por otro lado, los resultados de ángulo hue en la presente investigación para los nopales expuestos al ácido ascórbico sólo o combinado a  $5 \pm 2$  °C concuerdan con Quevedo-Preciado *et al.* (2005), quienes indican efectividad a 5°C del ácido ascórbico solo en nopales troceados ‘Copena’, lo que se podría asociar a diferencias entre variedades, al nivel de procesamiento. Sin embargo, el aumento o disminución del ángulo hue involucran degradación de clorofila (Tovoinen y Brummell, 2008), por lo que en todos los tratamientos ocurrió éste fenómeno.

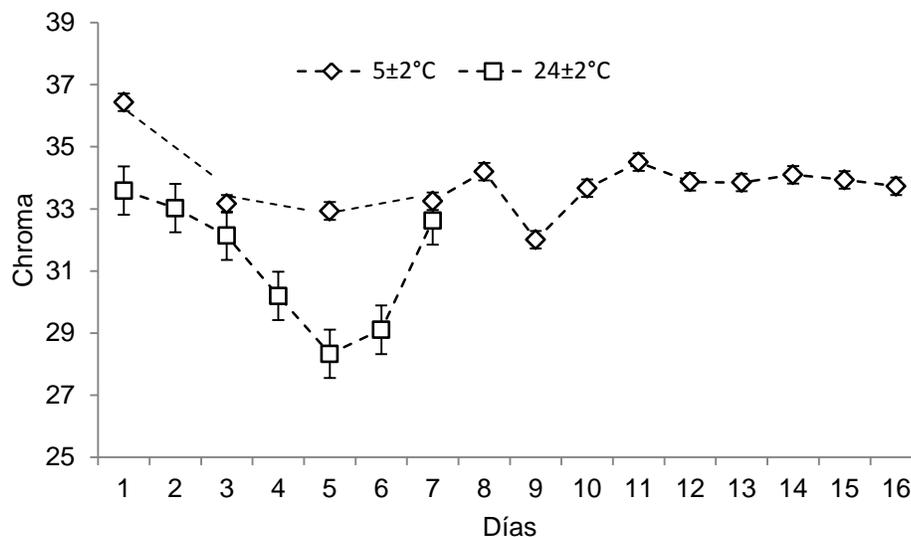
En cuanto a las muestras tratadas con cloro y almacenadas a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$ , los resultados indican que pese a los mayores valores en ángulo de tono, asociadas a un oscurecimiento de tejidos, éstas podrían no implicar degradación de clorofila, puesto que éste tratamiento en general registró la mayor luminosidad con respecto a los otros, lo que es diferente de la correlación inversamente proporcional ( $r = -0.294^*$ ) encontrada entre el tono y la luminosidad.

Por otra parte, se observó que los niveles de  $\text{O}_2$  al interior del empaque afectan el ángulo hue ( $r = -0.141^*$ ), de manera inversamente proporcional, es decir que el tono verde se torna amarillento o disminuye conforme aumenta el  $\text{O}_2$  y el tono verde se oscurece o aumenta a medida que se incrementan los niveles de  $\text{O}_2$ .

#### **4.3.1.3. Chroma**

La intensidad de color o chroma fue significativamente ( $P \leq 0.05$ ) superior en las muestras de nopal almacenadas a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  (33.82) que a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  (31.29), pero en ambas temperaturas se observa una disminución drástica del día uno a la siguiente evaluación. En el material refrigerado los valores variaron de 32.00 a 34.51, pero a partir del día tres hasta el término del experimento se observa un patrón casi constante; comparativamente a los cladodios almacenados a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$ , donde la intensidad de color cambio notablemente a lo largo del tiempo de almacenamiento con oscilaciones de 28.32 a 33.02 (Figura 24).

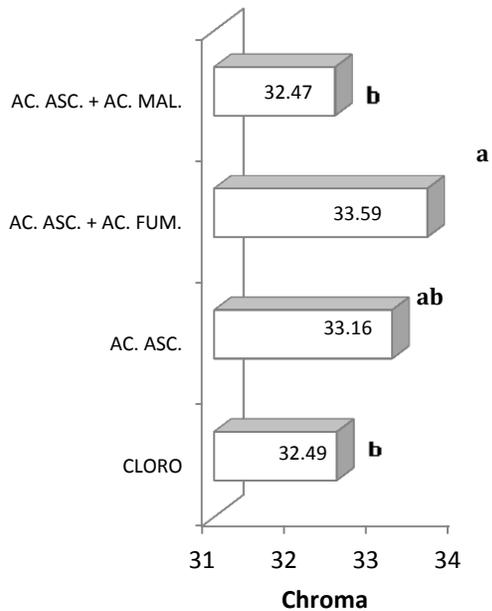
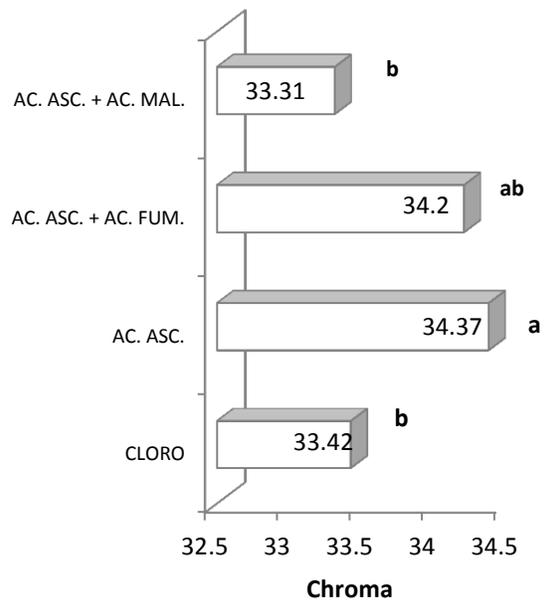
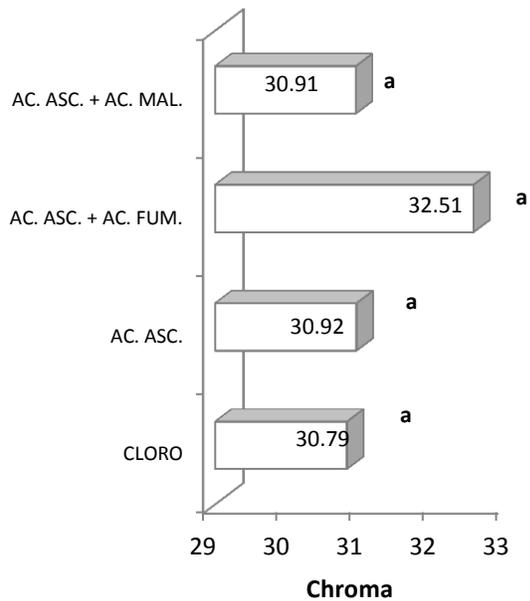
La disminución de los valores chroma a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$ , respecto al valor inicial (Figura 24) son coherentes con los resultados obtenidos en salicornia (*Salicornia bigelovii*) por Lu *et al.* (2010), donde las temperaturas entre 8 y  $24^\circ\text{C}$  favorecieron la rápida senescencia debido a un alto metabolismo fisiológico y con la correlación observada entre chroma y los niveles de  $\text{CO}_2$  al interior del empaque ( $r = -0.407$ ), que indican un color verde más opaco conforme éste gas se acumula y viceversa, un tono brillante a medida que disminuye. Del mismo modo, la respiración parece influir en chroma ( $r = -0.304^{**}$ ) y la temperatura de almacenamiento ( $r = 0.473^{**}$ ).



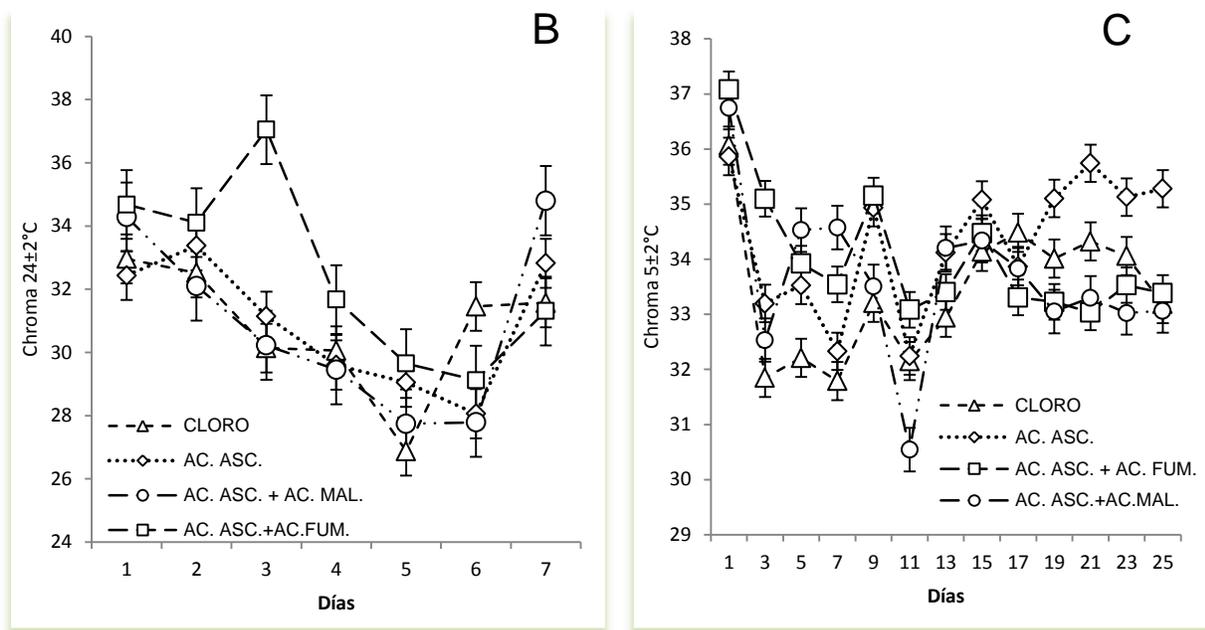
**Figura 24. Chroma en nopal verdura sin espina almacenado a  $24 \pm 2$  C y a  $5 \pm 2$  C.**

La figura 25a muestra que la intensidad de color, en los tratamientos de ácido ascórbico + ácido fumárico y ácido ascórbico, fue significativamente ( $P \leq 0.05$ ) superior al resto (33.59 y 33.16, respectivamente). En las muestras expuestas a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$ , los valores promedio de chroma no mostraron diferencias estadísticas, pero el material vegetal expuesto a ácido ascórbico + ácido fumárico tendió a las mayores valores (Figura 25b). En tanto en el almacenamiento refrigerado (Figura 25c), se observa una intensidad de color mayor para los tratamientos de ácido ascórbico y ácido ascórbico + fumárico (34.37 y 34.2, respectivamente), es decir éstos ocasionaron en general a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  una menor opacidad en el color.

En el almacenamiento a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$ , el material vegetal tratado con cloro mostró en los días tres (31.85) y cinco (32.21) un tono verde más opaco o menos intenso ( $P \leq 0.05$ ), que se reflejó a manera de tendencia en las determinaciones siete (31.79), nueve (33.21), 13 (32.94) y 15 (34.14) de la misma temperatura (Figura 26b). El tratamiento de ácido ascórbico + ácido fumárico tendió a los mayores de chroma los días tres, nueve, y 11 (35.10, 35.15 y 33.08, respectivamente), al igual que los nopales expuestos a ácido ascórbico en las evaluaciones 15, 19, 21, 23 y 25 (35.08, 35.10, 35.7435.13 y 35.28, respectivamente). A  $24 \pm 2^\circ\text{C}$ , no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos pero, los cladodios expuestos a ácido ascórbico + ácido fumárico tendieron a los mayores valores los primeros cinco días de almacenamiento (Figura 26a).



**Figura 25. a) Promedio total de chroma por tratamiento. b) Promedio de chroma en nopal verde tratado con cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido fumárico y ácido ascórbico + ácido málico y almacenado a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  por siete días. c) Chroma promedio en nopal verde tratado con cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido fumárico y ácido ascórbico + ácido málico y almacenado a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  por 25 días.**

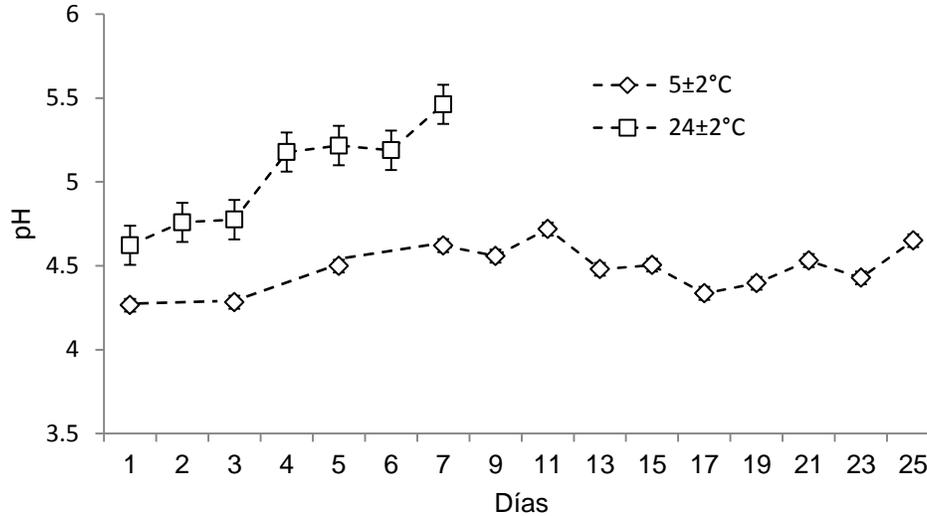


**Figura 26. a) Chroma en nopal verdura sin espinas almacenado a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$ . b) Chroma en nopal verdura almacenado a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$ . Las barras verticales indican el error típico.**

Los valores menores de chroma en el material vegetal con cloro almacenado a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$ , así como los resultados mayores obtenidos en el tratamiento de ácido ascórbico + fumárico y ácido ascórbico podrían estar vinculadas al ángulo de tono ( $r=-0.135^*$ ), lo cual es corroborado con los valores obtenidos la sección 4.3.1.2., donde el tratamiento de cloro exhibió los mayores valores y el resto de los tratamientos en general los menores datos. Otras variables que se encontraron involucradas fueron la concentración de  $\text{O}_2$  ( $r=0.2960^{**}$ ) y de  $\text{CO}_2$  ( $r=-0.407^{**}$ ).

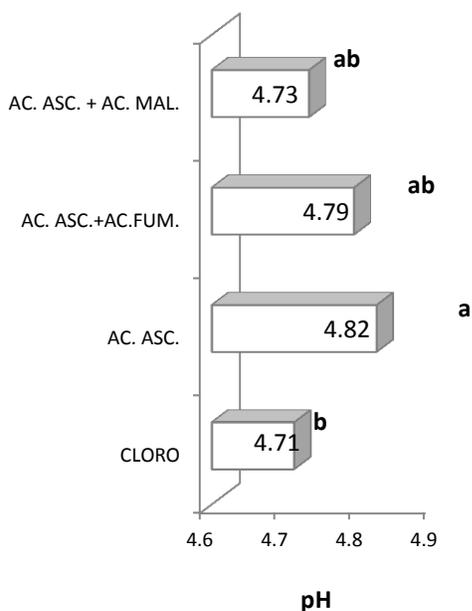
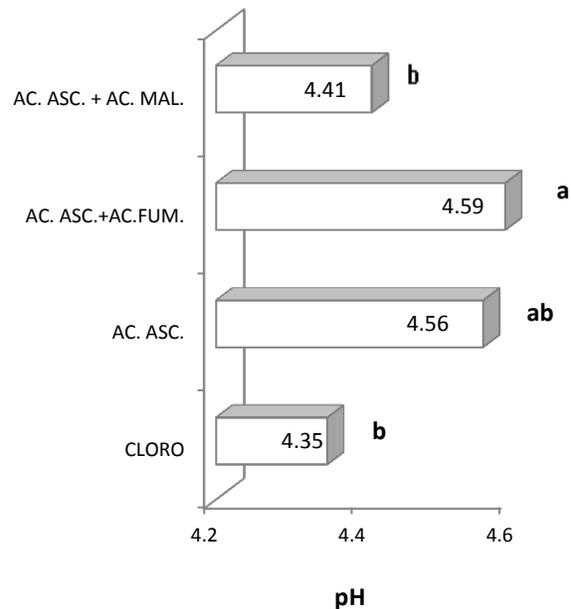
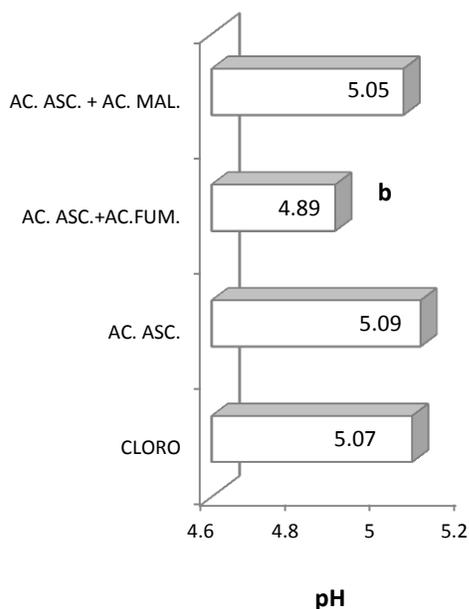
#### 4.3.2. pH

El pH entre temperaturas manifestó diferencias significativas. Los nopales almacenados a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  registraron un menor valor en relación a aquellos almacenados a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  (4.48 y 5.03, respectivamente). La gráfica muestra los datos de pH de las muestras sometidas a temperatura de refrigeración y de aquellas expuestas a la otra condición térmica (Figura 27). El pH se mantuvo sin variaciones significativas durante todo el experimento a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$ , mientras que  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  éste aumentó gradualmente y fue significativamente mayor ( $P \leq 0.05$ ) con respecto a los valores iniciales, después del día tres (Figura 27).



**Figura 27. pH en nopal verdura sin espina almacenado a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  y a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$ .**

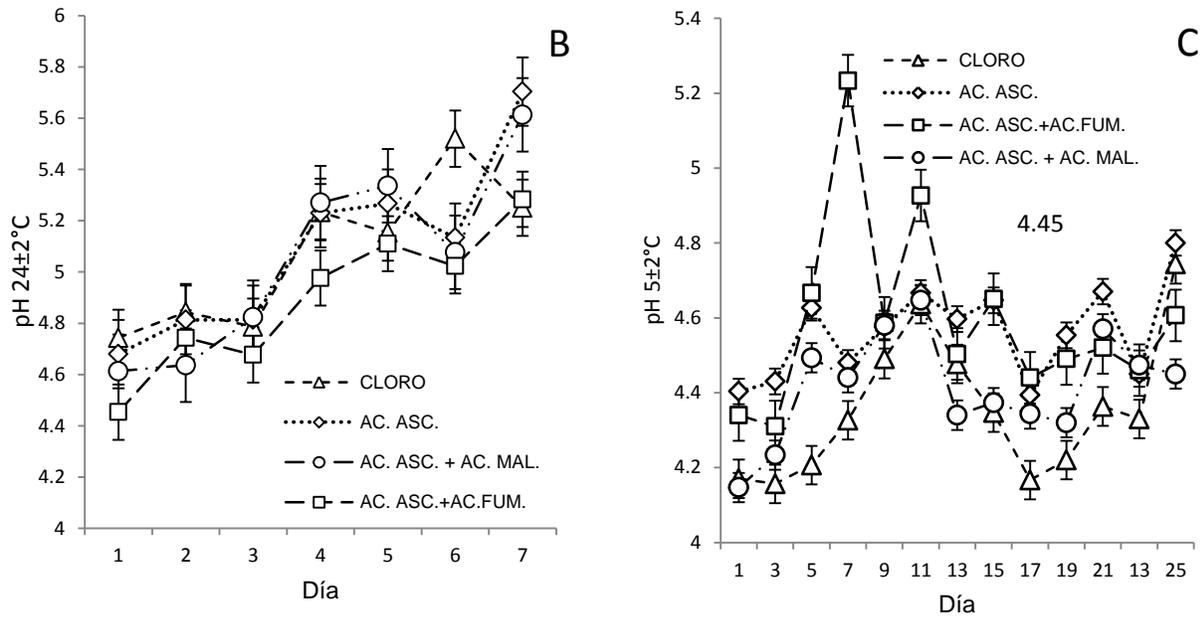
Los resultados obtenidos en promedio para los nopales refrigerados, en el presente estudio (4.48) son cercanos al valor de 4.28, reportado por Aguilar-Sánchez *et al.* (2007), en el mismo cultivo y variedad de estudio y, dentro del rango informado por Betancourt-Domínguez *et al.* (2006), quienes señalan oscilaciones de pH entre 4.05 y 4.55 en cladodios de *Opuntia sp.* Sin embargo, el material vegetal expuesto a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  fue de un pH superior, que podría estar relacionado a la aceleración de la catálisis y acción de enzimas oxidativas en los ácidos presentes en nopal verdura consecuencia de un alto metabolismo, como sucede con el ácido ascórbico en el hongo *Agrocybe chaxingu* (Li *et al.* 2008). La correlación encontrada en el presente estudio entre la temperatura y pH ( $r=0.652^{**}$ ) constata los resultados obtenidos entre las dos temperaturas de experimentación. La respiración y la pérdida de peso también estuvieron involucradas en el pH ( $r=0.541^{**}$ ;  $r=0.254^*$ ), es decir el pH fue mayor a medida que se incrementó la respiración y la pérdida de peso.



**Figura 28. a) pH general por tratamiento en nopal verdura desespinado. b) pH promedio en nopal verdura desespinado tratado con cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido málico, ácido ascórbico + ácido fumárico almacenado a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  por siete días. c) pH promedio en nopal verdura tratado con cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido málico, ácido ascórbico + ácido fumárico almacenado a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  por 25 días.**

El pH de los nopales con cloro fue significativamente inferior ( $P \leq 0.05$ ) con un valor de 4.71. Sin embargo la interacción entre la temperatura y la variable en cuestión ( $P \leq 0.05$ ) indican que el pH no siguió la misma tendencia en las dos condiciones térmicas evaluadas. A  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  el tratamiento de ácido ascórbico + ácido fumárico resultó estadísticamente menor al resto de los tratamientos con un pH de 4.89 (Figura 28b), mientras que en refrigeración, los análisis

indicaron que las muestras expuestas tanto a cloro como a ácido ascórbico + ácido málico fueron significativamente inferiores ( $P \leq 0.05$ ) con valores de 4.35 y 4.41, respectivamente (Figura 28a). El ácido ascórbico + ácido fumárico mostró a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  el menor pH ( $P \leq 0.05$ ) el día uno de evaluación (4.89) y, a manera de tendencia en la mayoría de las determinaciones (Figura 29a). A  $5 \pm 2^\circ\text{C}$ , el tratamiento con cloro registró el menor pH ( $P \leq 0.05$ ) los días tres, cinco, 19 y 21 (4.16, 4.20, 4.22 y 4.36, respectivamente) y en general tendió a los menores valores (Figura 29b).



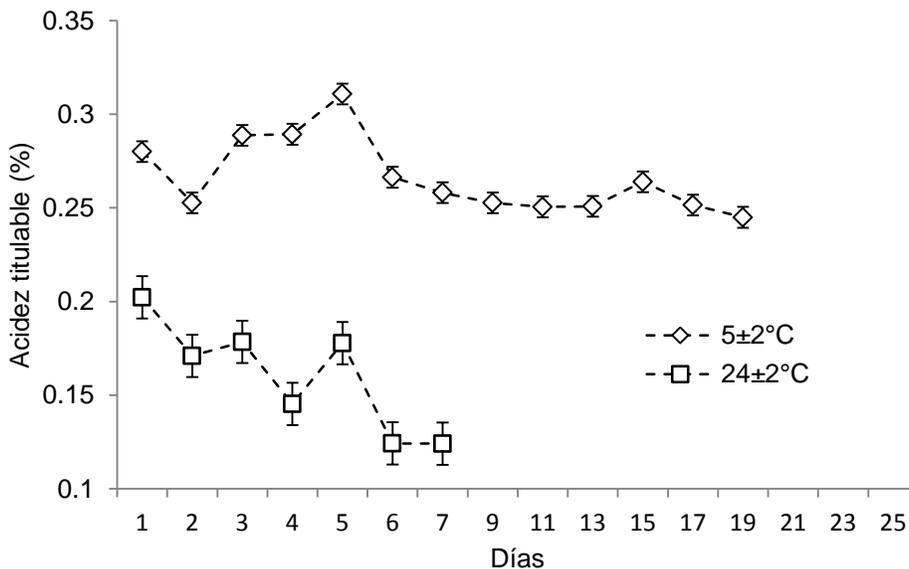
**Figura 29. a) pH en nopal verde sin espinas almacenado a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$ . b) pH en nopal verde sin espinas almacenado a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$ . Las barras verticales indican el error típico.**

Los resultados donde la exposición de ácido ascórbico + ácido fumárico tendió a los menores pH a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$ , podrían indicar una mejor preservación del ácido ascórbico en las muestras (Guerrero-Beltran *et al.* 2005), del mismo modo que en los tratamientos de cloro y ácido ascórbico + ácido málico en refrigeración ( $P \leq 0.05$ ). Los resultados en los tratamientos antes mencionados también podrían ser asociados a los mayores niveles de  $\text{O}_2$  en el interior del empaque ( $r=-0.441^{**}$ ), a la menor respiración y cantidad de  $\text{CO}_2$  ( $r=0.542^{**}$ ;  $r=0.636^{**}$ ).

### 4.3.3. Acidez titulable

Como era de esperarse, el mayor contenido de acidez en las muestras fue significativa ( $P \leq 0.05$ ) para el almacenamiento a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  con un promedio de 0.27%, en relación al 0.16% de la otra

condición térmica ( $24 \pm 2^\circ\text{C}$ ). De acuerdo con los resultados, en el almacenamiento refrigerado, los valores de acidez titulable no mostraron diferencias significativas entre días, mientras que en la otra temperatura los dos últimas determinaciones exhibieron significativamente ( $P \leq 0.05$ ) el menor porcentaje de ácido málico con 0.124 % (Figura 30).



**Figura 30. Acidez titulable en nopal verdura sin espinas almacenado a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  y a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$ .**

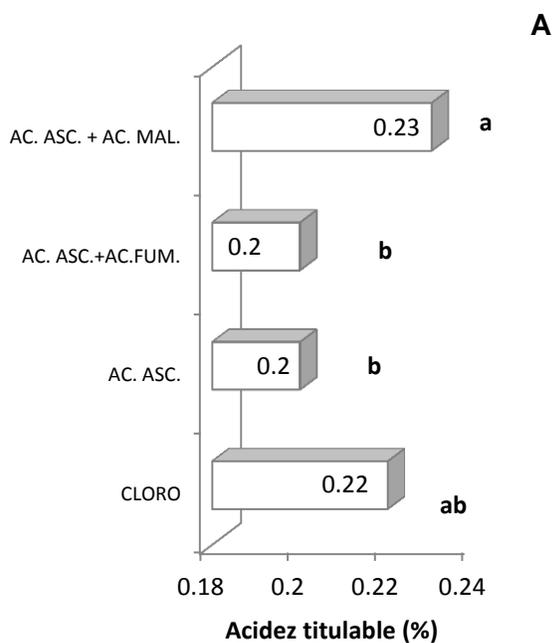
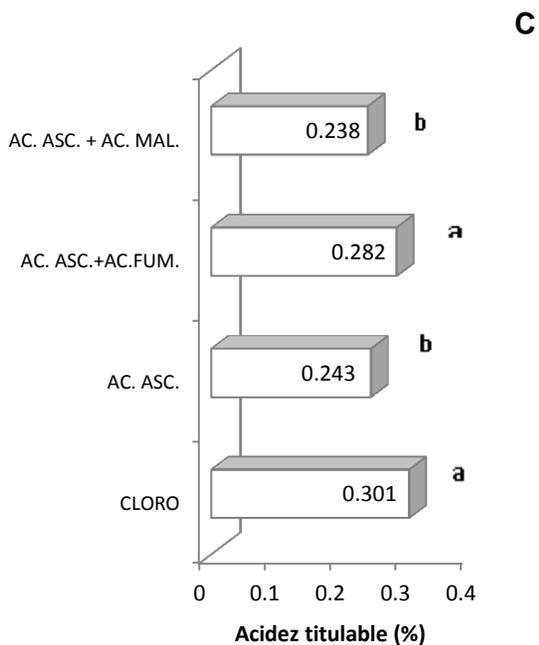
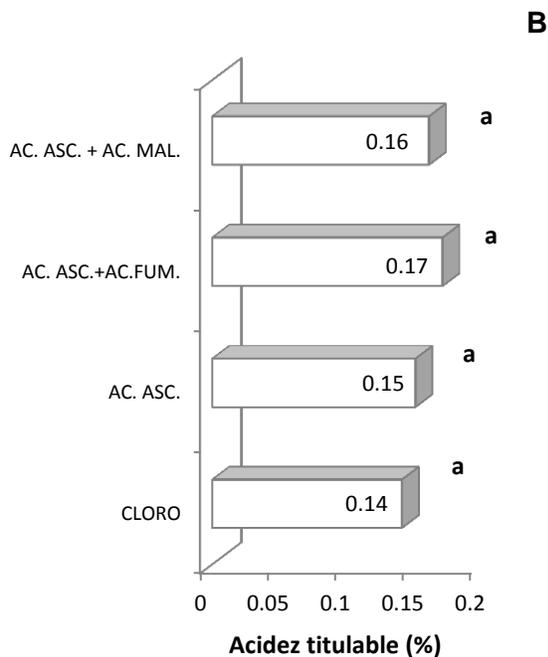
Según Betancourt *et al.* (2006), la acidez titulable estima el conjunto de ácidos orgánicos contenidos. En nopal, los principales son el oxálico, málico, cítrico, malónico, succínico, tartárico, fórbico, psicótico, eufónico, entre otros (Jiangin *et al.*, 2002). El mayor porcentaje de acidez titulable y su cambio poco variable a lo largo del almacenamiento a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$ , en comparación de la otra temperatura, es explicado a partir de la correlación inversamente proporcional encontrada entre la variable en cuestión y la temperatura de almacén ( $r = -0.646^{**}$ ), la cual indica que a medida que disminuye una aumenta la otra y viceversa.

Los menores porcentajes de acidez titulable en los nopales almacenados a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$ , con variaciones de 0.106 a 0.187, podrían ser atribuidos a la catálisis de los ácidos presentes en nopal verdura (Li *et al.*, 2008), debido a que los aumentos en temperatura incrementan el proceso de respiración (Agar *et al.*, 1999; Villanueva *et al.*, 2004), del cual, los ácidos orgánicos son principal sustrato en los tejidos de las plantas MAC (Cantwell *et al.*, 1992). Lo anterior coincide con los resultados obtenidos en las dos condiciones térmicas y con la correlación observada entre

la tasa de respiración y la variable en cuestión ( $r=-0.531^{**}$ ). La acidez titulable también ha sido asociada al pH de manera inversamente proporcional por Guevara-Arauza y Yahia, (2005) en nopal verdura, lo cual fue confirmado con los datos obtenidos ( $r= -0.610^{**}$ ) y también discutidos en la sección 4.3.2.

Las oscilaciones en el porcentaje de ácido málico de entre 0.24 y 0.31 en el almacenamiento refrigerado son cercanas a la informado por Corrales-García *et al.* (2004), en la misma variedad de nopal evaluada en el presente estudio, cosechada a las 13:00 h, luego de señalar una acidez titulable de 0.29 %.

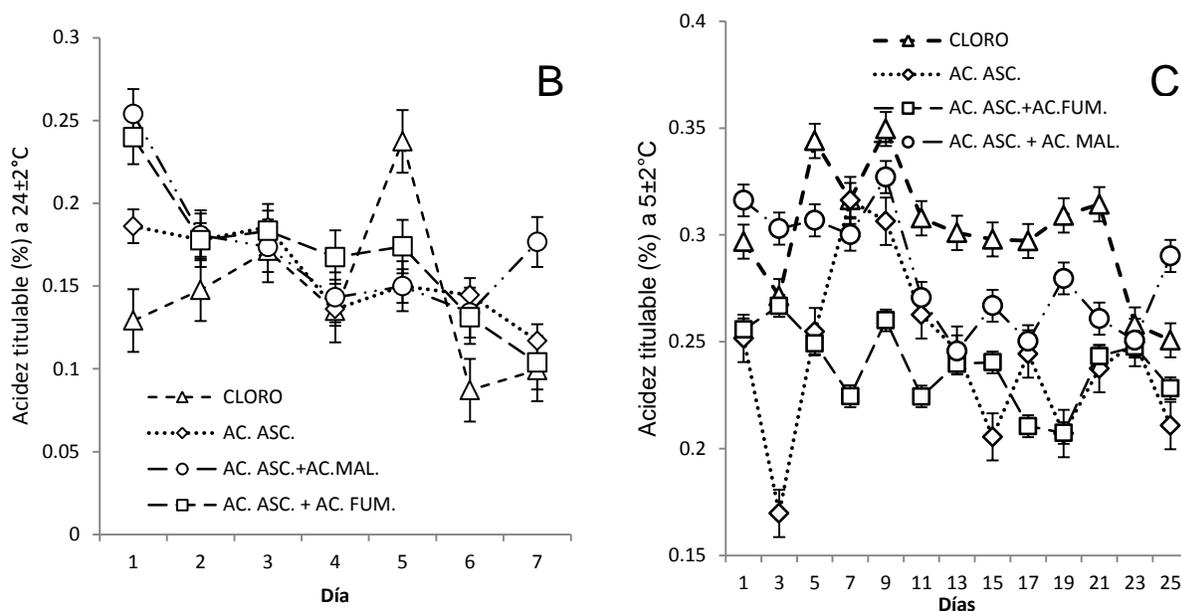
El promedio general de los tratamientos de ácido ascórbico y ácido ascórbico + ácido fumárico exhibió significativamente los menores valores de acidez con 0.2 %. Los nopales expuestos a cloro y ácido ascórbico + ácido málico fueron estadísticamente iguales entre si y superiores a los antes mencionados con porcentajes de 0.22 y 0.23% (Figura 31a). Sin embargo, los tratamientos no siguieron la misma tendencia en las dos temperaturas evaluadas ( $P \leq 0.05$ ), lo que puede ser observado en las figuras 31b y 31c, donde a  $5 \pm 2^{\circ}\text{C}$  el material vegetal tratado con ácido ascórbico + ácido málico y ácido ascórbico presentó estadísticamente la menor acidez titulable (0.238 y 0.243 %, respectivamente), en tanto que en la otra condición térmica, no se observó diferencia significativa alguna entre los tratamientos.



**Figura 31. a) Acidez titulable total general por tratamiento. b) Acidez titulable en nopal verdura tratado con cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido málico, ácido ascórbico + ácido fumárico almacenado a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  por siete días. c) Acidez titulable en nopal verdura tratado con cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido málico, ácido ascórbico + ácido fumárico almacenado a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  por siete días.**

Las muestras expuestas cloro tendieron a los menores valores de acidez titulable a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$ , excepto en el día cinco. En la otra temperatura, el tratamiento de ácido ascórbico + ácido fumárico mostró los menores porcentajes de ácido los días siete (0.224 %), nueve (0.260 %), 13

(0.240 %) y 23 (0.251 %) y, de manera significativa en las determinaciones 11 (0.224), 17 (0.211) y 19 (0.21%), mientras que las muestras expuestas a cloro tendieron a un acidez titulable constante y mayor que el resto de los tratamientos durante el almacenamiento (Figuras 32a y 32b).



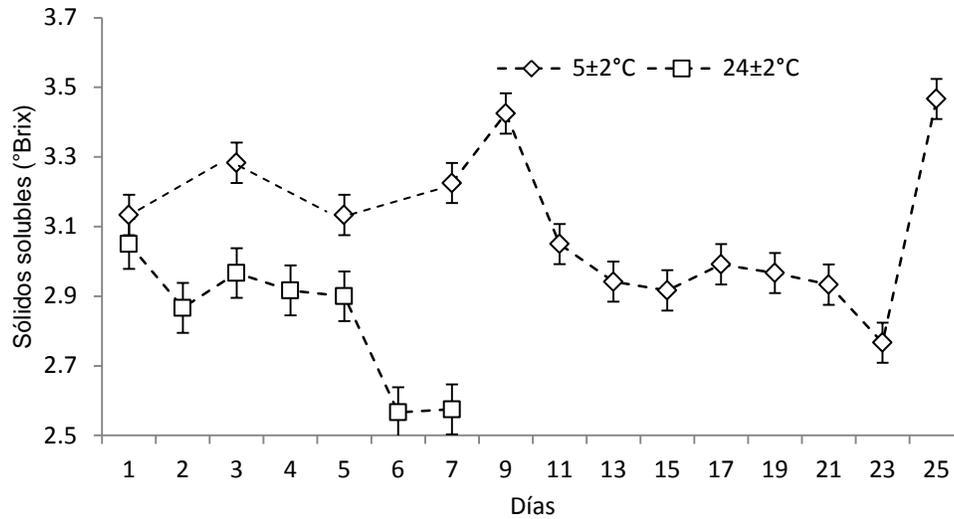
**Figura 31. A. Acidez titulable en nopal verdura sin espinas almacenado a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$ . B. Acidez titulable en nopal verdura sin espinas almacenado a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$ . Las barras verticales indican el error típico.**

De acuerdo con el párrafo anterior, los resultados en el material vegetal expuestos a cloro y ácido ascórbico + málico podrían conservar mejor los ácidos presentes en nopal verdura a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  de almacenamiento (Li et al., 2008) y al igual que con el pH, la acidez titulable está vinculada a la respiración ( $r = -0.531^{**}$ ). En la otra condición térmica, los valores inferiores del tratamiento con cloro, implicarían degradación de éste compuesto (Rojas y Guevara, 2000)

#### 4.3.4. Sólidos solubles totales

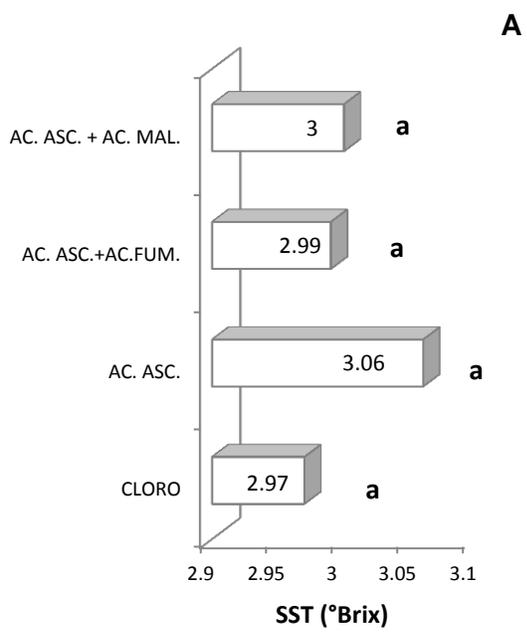
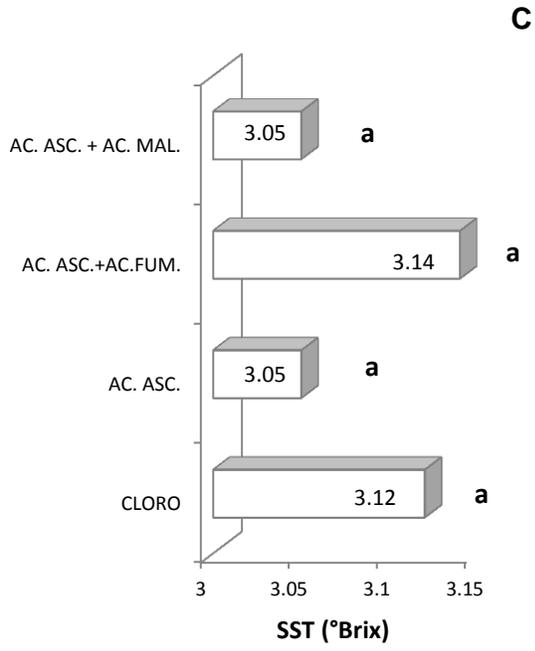
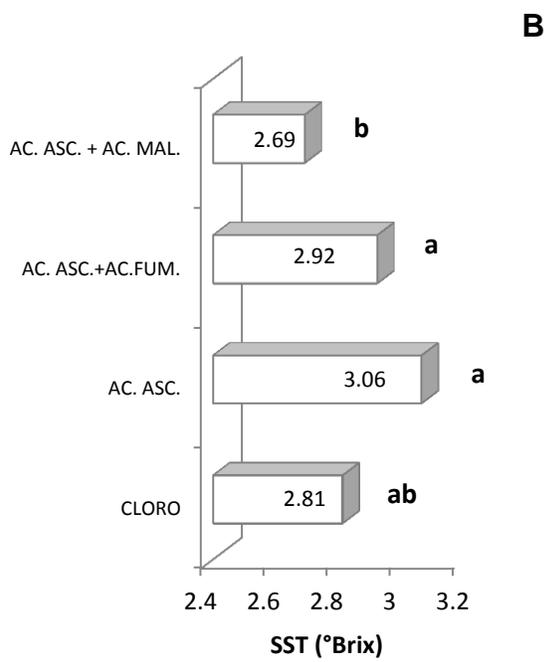
Los sólidos solubles se conservaron ( $P \leq 0.05$ ) mejor a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  que a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  (Figura 32). En refrigeración, el promedio total fue de  $3.09^\circ\text{Brix}$ , mientras en la otra temperatura de  $2.82$ . Los valores oscilaron de  $2.76$  a  $3.46$  en el material vegetal almacenado a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  y, de  $3.05$  a  $2.56$  bajo la otra condición térmica, sin embargo en ambos casos, los sólidos solubles

disminuyeron con el almacenamiento ( $P \leq 0.05$ ), después del día 11 y cinco a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  y  $24 \pm 2^\circ\text{C}$ , respectivamente.

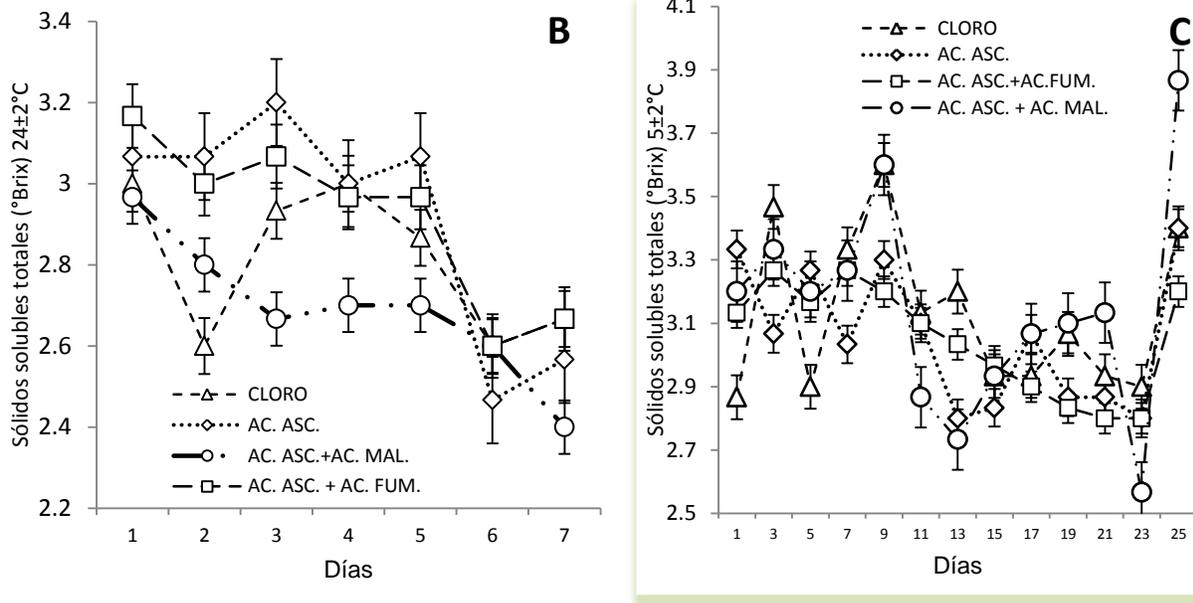


**Figura 32. Sólidos solubles totales (°Brix) en nopal verdura sin espinas almacenado a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  y a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$**

Lo anterior es coherente con la correlación inversamente proporcional entre los sólidos solubles totales y la temperatura ( $r = -0.369^{**}$ ), concordante con Rivera-López *et al.* (2004), quienes han reportado un efecto significativo de la temperatura en la disminución de los sólidos solubles en papaya (*Caryca papaya*), donde el almacenamiento a  $20^\circ\text{C}$  ocasionó mayor respiración y pérdida de °Brix que a  $10$  y  $5^\circ\text{C}$ . Resultados similares a los observados en el presente estudio han sido reportados también por García *et al.* (2007) en arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) empacada en atmósferas modificadas refrigeradas a  $-10^\circ\text{C}$ .



**Figura 33. Sólidos solubles totales (SST) generales por tratamiento. a) Sólidos solubles totales (°Brix) promedio en nopal verdura tratado con cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido málico, ácido ascórbico + ácido fumárico almacenado a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  por siete días. Sólidos solubles totales (°Brix) en nopal verdura tratado con cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido málico, ácido ascórbico + ácido fumárico almacenado a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  por 25 días.**



**Figura 34. a) Sólidos solubles totales (°Brix) en nopal verdura sin espinas almacenado a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$ . b) Sólidos solubles totales (°Brix) en nopal verdura sin espinas a  $4 \pm 2^\circ\text{C}$ . Las barras verticales indican el error típico.**

Los tratamientos no mostraron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre sí (Figura 33a), pero de acuerdo con la interacción significativa ( $P \leq 0.05$ ), éstos no siguieron la misma tendencia en las dos temperaturas evaluadas, lo cual está acorde con las figuras 33b y 33c, donde se aprecia que los nopales expuestos a ácido ascórbico + ácido málico fueron significativamente inferiores en el almacenamiento de  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  con  $2.69^\circ\text{Brix}$ , mientras que a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  no se observaron diferencias significativas. En los distintos días de almacenamiento, a la mayor temperatura, el tratamiento de ácido ascórbico + ácido málico tendió a los menores valores los días uno, tres, cuatro, cinco y siete con  $2.97$ ,  $2.67$ ,  $2.7$ ,  $2.7$  y  $2.4^\circ\text{Brix}$  (Figura 34a), en tanto que en la otra condición térmica, los nopales tratados con ácido ascórbico + ácido málico tendieron a los menores sólidos solubles totales los días 11, 13, 23 con  $2.86$ ,  $2.73$  y  $2.56^\circ\text{Brix}$ , respectivamente (Figura 34b).

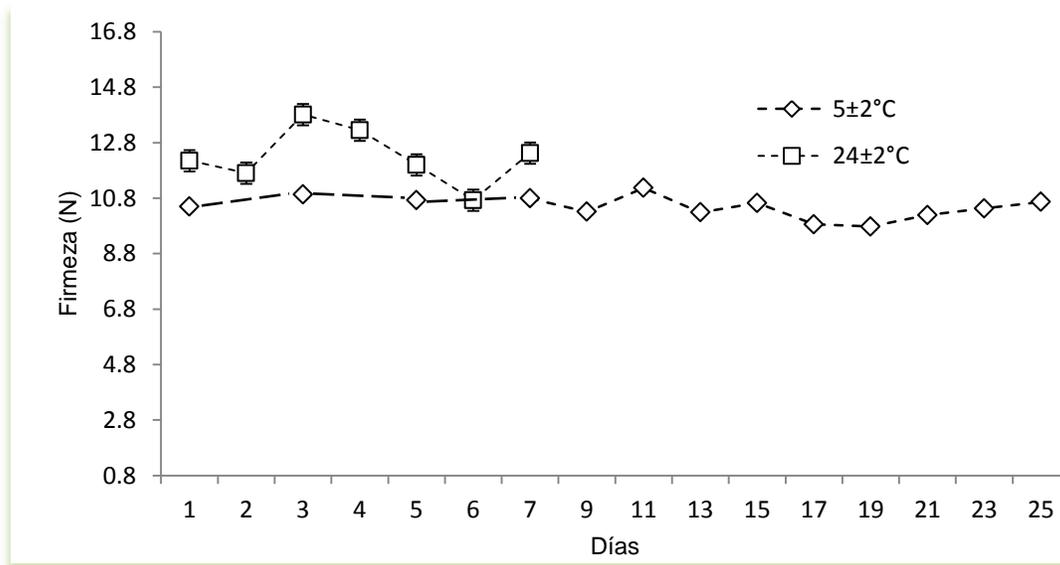
Los sólidos solubles fueron próximos a los  $2.64^\circ\text{Brix}$  mencionados por Aguilar-Sánchez *et al.* (2007) en cladodios de ‘Atlixco’ de 20 cm, así mismo se encuentran dentro del rango de 2.64 a 3.20 en 19 variedades de *O. ficus indica*, encontrado por los mismos autores. Sin embargo los resultados son inferiores a lo encontrado por Rodríguez-Félix y Cantwell (1988) y Betancourt-

Domínguez *et al.*, (2006), quienes reportan valores aproximados de 6.9 y 5°Brix para *Opuntia sp.*

La tendencia en los menores sólidos solubles de los nopales tratados con ácido ascórbico + málico a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  podría significar un mayor estrés al producto, pues los azúcares y ácidos son sustratos en la respiración (Fan, 1992).

#### 4.3.5. Firmeza

La firmeza (N) en el almacenamiento a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  resultó significativamente mayor ( $P \leq 0.05$ ) en comparación a la de los nopales refrigerados a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  (12.29 y 10.47 N, respectivamente), pero en ésta última se mantuvo a lo largo del almacenamiento con las menores variaciones (9.8 a 11.17 N) que a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  (10.73 a 13.8N), donde los cambios fueron más drásticos. Sin embargo cabe señalar que en ambas condiciones térmicas, se observan reducciones en la firmeza (Figura 35), en las muestras almacenadas a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  después del día tres.



**Figura 35. Firmeza (N) en nopal verdura sin espinas almacenado a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  y  $5 \pm 2$ .**

Los resultados de la disminución de firmeza coinciden con Guevara *et al.* (2003), quienes comunican pérdida de ésta en cladodios de *O. ficus indica* ‘Milpa Alta’ enteros con espinas empacados en atmósferas pasivas y semipermeables refrigeradas a  $5^\circ\text{C}$ , al igual que con Quevedo-Preciado *et al.*, (2005) al indica reducciones de firmeza en nopales troceados ‘Copena

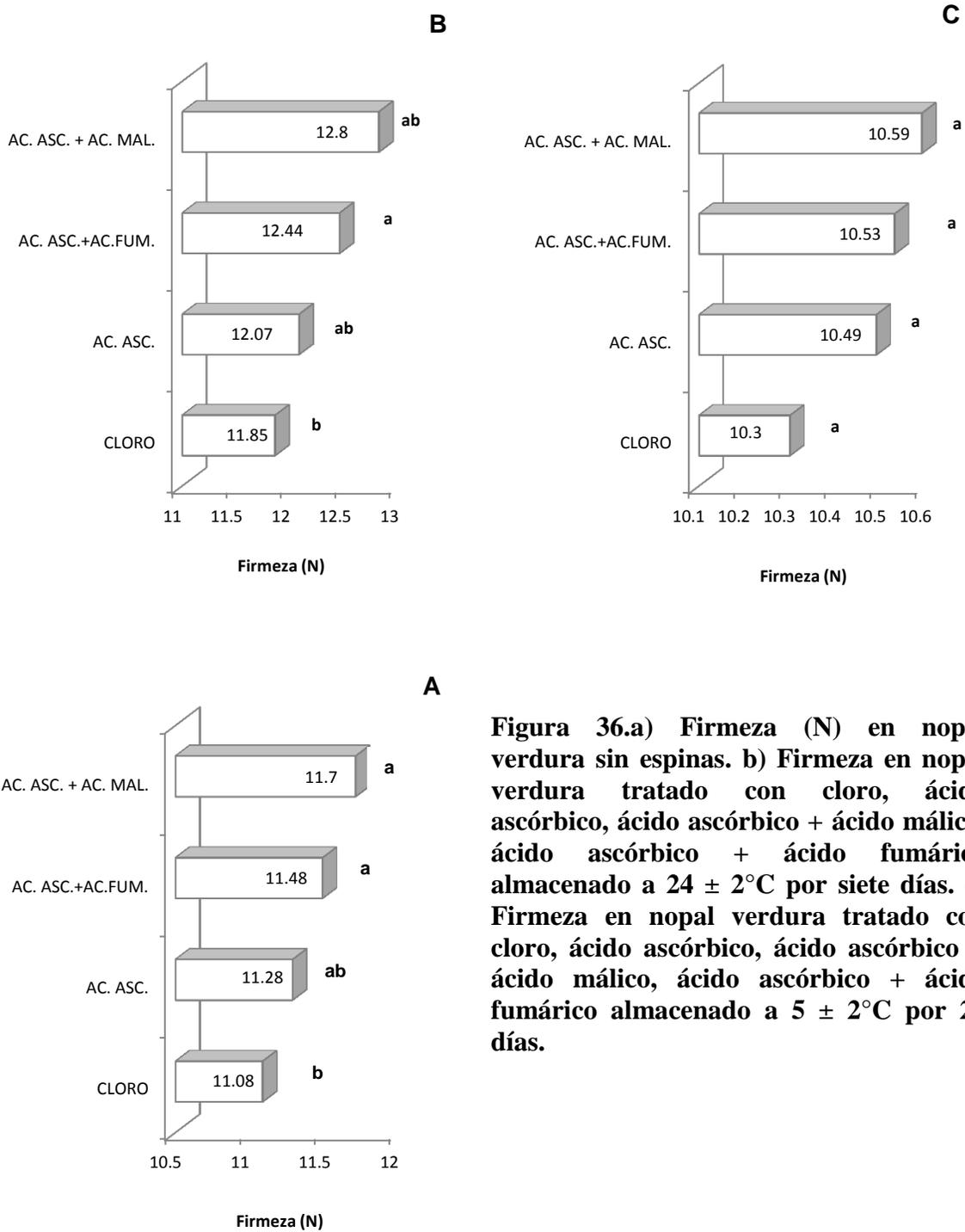
F1' empacados en películas de baja densidad a 5 y 10°C. La mayor firmeza alcanzada por los nopales expuestos a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  con respecto a los valores iniciales, podría ser causada por la deshidratación de la cutícula y epidermis, como consecuencia de la pérdida de agua causada por la transpiración (González-Aguilar y Tiznado, 1993), lo cual es consistente con la correlación observada entre la firmeza y la temperatura ( $r=0.570^{**}$ ). Lo anterior podría indicar que con el aumento de la temperatura, una mayor cantidad de vapor de agua escapa a través de las microperforaciones, lo cual explica los resultados obtenidos. Sin embargo, las disminuciones de la firmeza después del día tres podrían ser consecuencia de las enzimas asociadas al cambio de las paredes celulares que ocasionan pérdida de firmeza (Salinas *et al.*, 2007), por lo que en primer instancia, el tejido de los nopales almacenados a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  sufrió deshidratación en las capas externas (epidermis y cutícula) y posteriormente manifestó cambios fisiológicos relacionados al deterioro, como lo es el ablandamiento gradual, debido principalmente a la actividad de la enzima hidrolasa (Toivonen y Brummell, 2008).

Los menores cambios en los nopales verdura, expuestos a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  en comparación con aquellos almacenados a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$ , podrían significar que el almacenamiento refrigerado provocó una menor transpiración como consecuencia de las reducciones en los procesos metabólicos, reflejado en un menor estrés fisiológico y disminuciones de la evaporación del agua en los tejidos evitando el endurecimiento de la cutícula y epidermis.

Por otro lado Guevara *et al.*, (2001) ha encontrado una relación directa entre el contenido de fibra cruda y firmeza en nopales por, lo que podría implicar para el presente estudio que en ambas temperaturas evaluadas hubo poca pérdida de fibra.

La firmeza en general (Figura 36a) fue significativamente inferior ( $P \leq 0.05$ ) en el tratamiento cloro (11.08 N), y siguió la misma tendencia en las dos temperaturas evaluadas (Figura 36b y 36c), pero no en los días de almacenamiento ( $P \leq 0.05$ ), donde en el material vegetal refrigerado no se observaron diferencias estadísticas, por el contrario a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$ , las muestras con cloro fueron significativamente inferiores ( $P \leq 0.05$ ) en el día dos (10.95 N), y siete (10.09 N) según la figura 37a. Los cladodios tratados con ácido ascórbico + ácido fumárico fueron estadísticamente iguales a los nopales con cloro en el día dos (1.10 N). El tratamiento de ácido ascórbico +

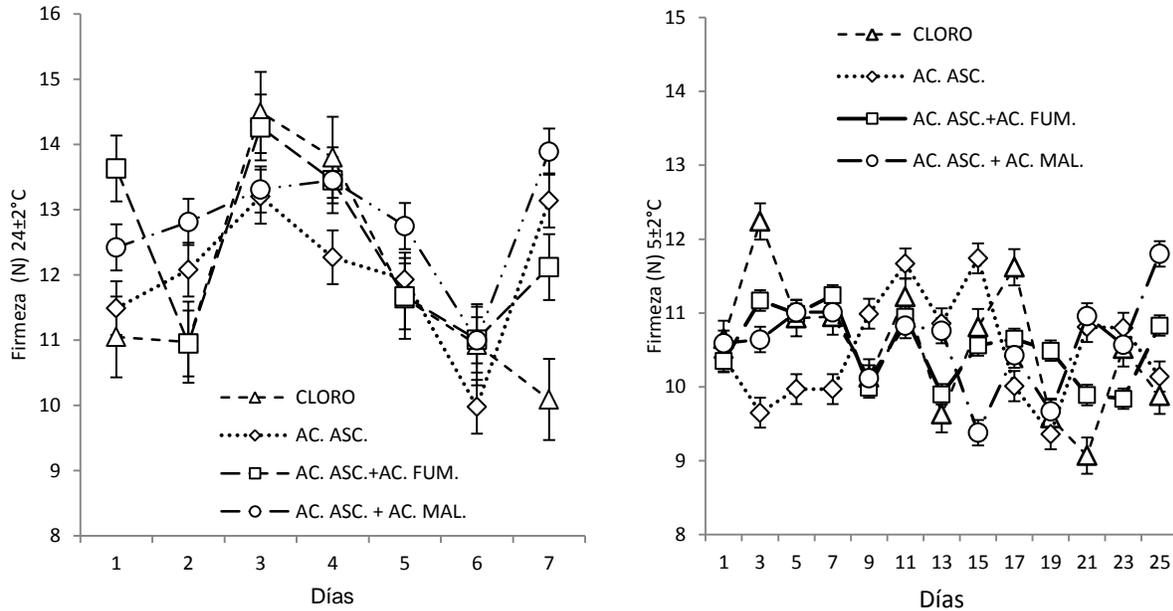
málico tendió a variaciones menos agudas en cuanto a firmeza, tanto a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  y, a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  (Figura 37b).



**Figura 36.a) Firmeza (N) en nopal verdura sin espinas. b) Firmeza en nopal verdura tratado con cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido málico, ácido ascórbico + ácido fumárico almacenado a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  por siete días. c) Firmeza en nopal verdura tratado con cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido málico, ácido ascórbico + ácido fumárico almacenado a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  por 25 días.**

La menor variabilidad en firmeza del tratamiento con ácido ascórbico + fumárico, en las dos temperaturas de experimentación ( $5 \pm 2^\circ\text{C}$  y  $24 \pm 2^\circ\text{C}$ ), podría interpretarse como un menor

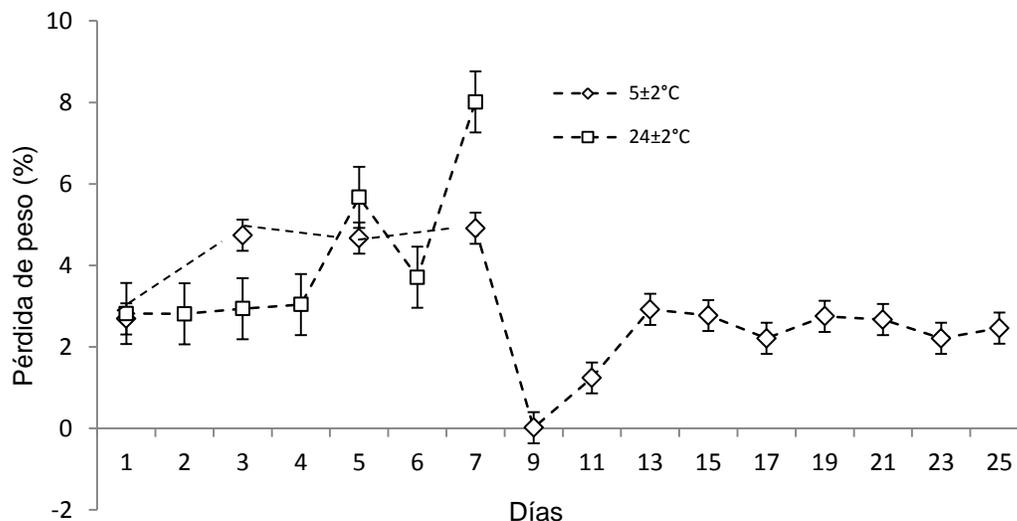
estrés en relación a los demás tratamientos, lo cual pudo haber permitido una menor transpiración.



**Figura 37. a) Firmeza (N) en nopal verdura sin espinas almacenado a 24 ± 2°C por siete días. b) Firmeza (N) en nopal verdura sin espinas almacenado a 5 ± 2 °C por 25 días. Las barras verticales indican el error típico.**

#### 4.3.6. Pérdida de peso

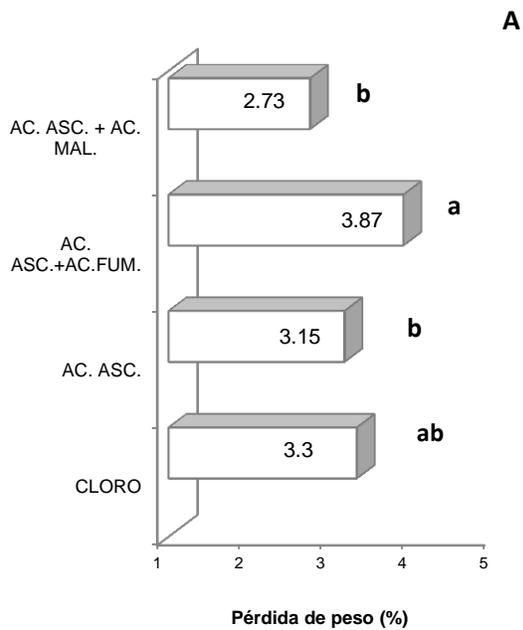
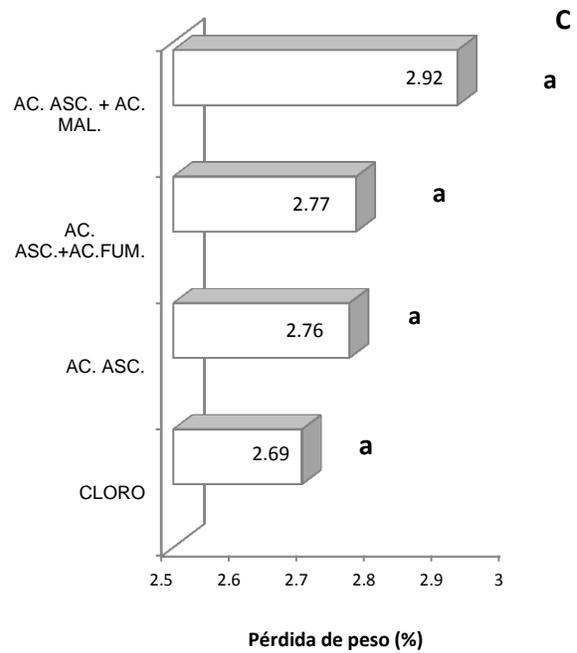
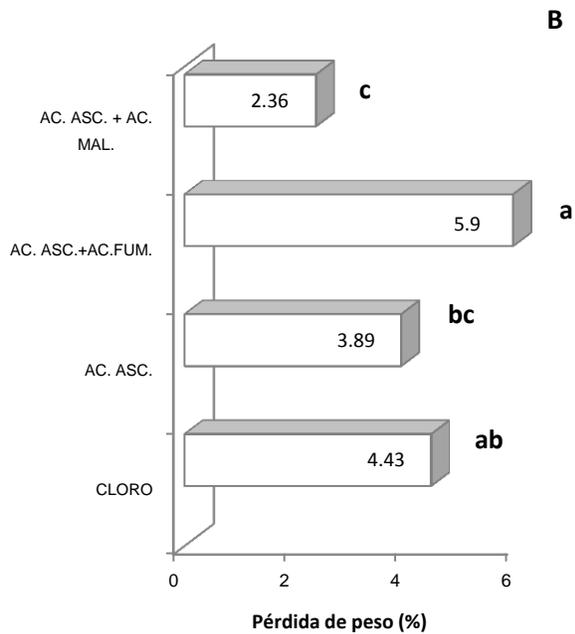
Como era de esperarse, la mayor pérdida de peso ( $P \leq 0.05$ ) ocurrió en aquellos nopales almacenados a 24 ± 2°C (4.14 %). El material vegetal refrigerado fue significativamente inferior ( $P \leq 0.05$ ) con 2.79 %. En la mayor condición térmica, la pérdida de peso fue estadísticamente inferior ( $P \leq 0.05$ ) los primeros tres días con respecto a los demás (Figura38), mientras que a 5 ± 2°C ésta ocurrió después de las evaluación siete.



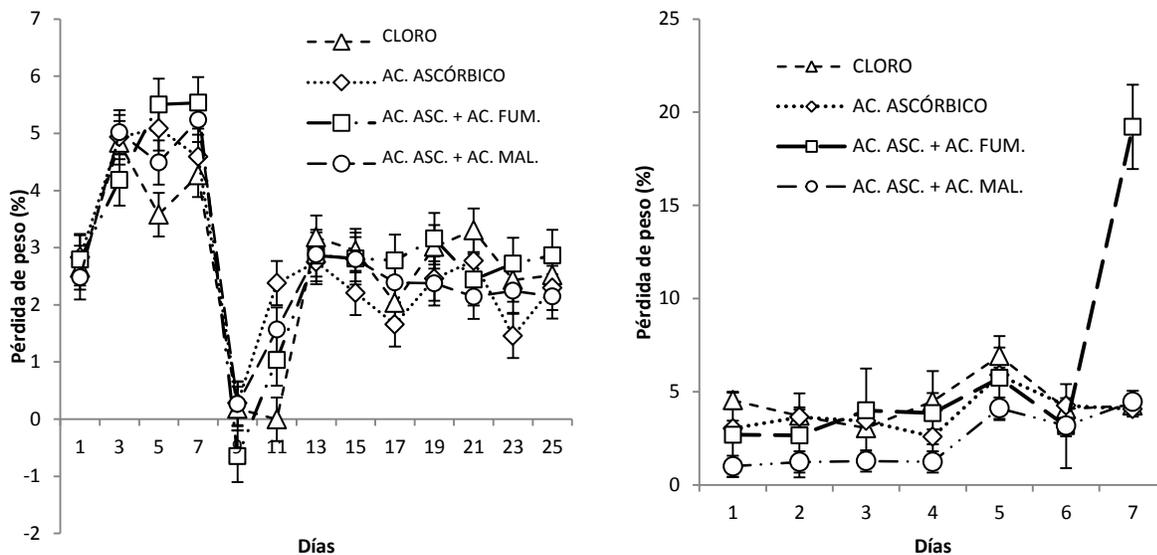
**Figura 38. Pérdida de peso en nopales almacenados por siete días a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  y en refrigeración ( $5 \pm 2^\circ\text{C}$ ) durante 25 días.**

La mayor pérdida de peso en los nopales almacenados  $24 \pm 2^\circ$  concuerda con la correlación encontrada entre ésta variable y la temperatura ( $r=0.250^*$ ), la cual indica que un aumento en pérdida de peso se refleja en un incremento en los valores de la condición térmica. Esto podría deberse a que la temperatura de almacén controlado restringe la pérdida de peso (Rizzo y Muratore, 2009).

Por otra parte, el aumento de la pérdida de peso con el almacenamiento ha sido informada en naranja (*Citrus sinensis*) pelada, pera (*Pyrus comunis*), y nopal verdura (*O. ficus indica*) por Singh *et al.*, (2006), Zhenlei *et al.*, (2011), Yahia y Guevara-Arauz (2010), lo cual coincide con los resultados obtenidos en el material vegetal expuesto a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$ ; sin embargo no es concordante para los cladodios almacenados a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$ , los cuales antes del día nueve presentaron altas pérdidas de peso, lo cual sugiere que en ese tiempo el material vegetal no se encontraba adaptado a la atmósfera modificada y a la temperatura de exposición, lo que podría haber ocasionado un mayor estrés y en consecuencia una mayor tasa respiratoria ( $r=0.375^{**}$ ).



**Figura 39. a) Pérdida de peso (%) en nopal verdura desespinado. b) Pérdida de peso (%) en nopal verdura desespinado tratado con cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido fumárico y ácido ascórbico + ácido málico almacenado a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  por siete días. c) Pérdida de peso (%) en nopal verdura desespinado tratado con cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido fumárico y ácido ascórbico + ácido málico almacenado a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  por 25 días.**



**Figura 40. a) Pérdida de peso (%) en nopal verdura sin espinas almacenado a 24 ± 2°C por siete días. b) Pérdida de peso (%) en nopal verdura sin espinas almacenado a 5 ± 2°C por 25 días. Las barras verticales indican el error típico.**

De acuerdo con la figura 39a, el material expuesto a ácido ascórbico + ácido fumárico y cloro tuvieron significativamente ( $P \leq 0.05$ ) las mayores pérdidas de peso con 3.87 y 3.3 %, respectivamente. Sin embargo, en base a la interacción de la temperatura ( $P \leq 0.05$ ) con los tratamientos, éstos siguieron diferentes tendencias, tanto en las dos condiciones térmicas como en los diferentes días de almacenamiento, lo cual es claro en el análisis de las temperaturas por separado (Figura 39 b y 39c), donde a 24 ± 2°C, los nopales tratados con ácido ascórbico + ácido málico y ácido ascórbico exhibieron estadísticamente ( $P \leq 0.05$ ) los menores porcentajes de pérdida de peso, al registrar 2.36 y 3.89 %; mientras que en la otra condición térmica no se detectó diferencia significativa alguna.

Por otro lado, los tratamientos no siguieron la misma tendencia en los días de almacenamiento ( $P \leq 0.05$ ), lo cual corrobora en la figura 40a, donde los análisis estadísticos de las muestras de nopal almacenadas a 24 ± 2°C indicaron que el material vegetal con ácido ascórbico + ácido málico fue significativamente ( $P \leq 0.05$ ) de menores pérdidas de peso en la evaluación uno (1.0 %), dos (1.23%), cuatro (1.24 %) y cinco (1.16%), respecto al resto de los tratamientos. A 5 ± 2°C, la única diferencia significativa entre tratamientos se encontró en el día 21, donde los

nopales expuestos a ácido ascórbico + ácido málico exhibieron una pérdida de peso de 2.14%. Este tratamiento tendió a los menores valores los días uno (2.48 %), 19 (2.37 %), 21 (2.14 %) y 25 (2.15 %). Los cladodios tratados con ascórbico tendieron también a inferiores pérdidas de peso en las determinaciones 13 (2.75 %), 15 (2.51 %), 17 (1.66 %) y 23 (1.45 %) según la figura 40b.

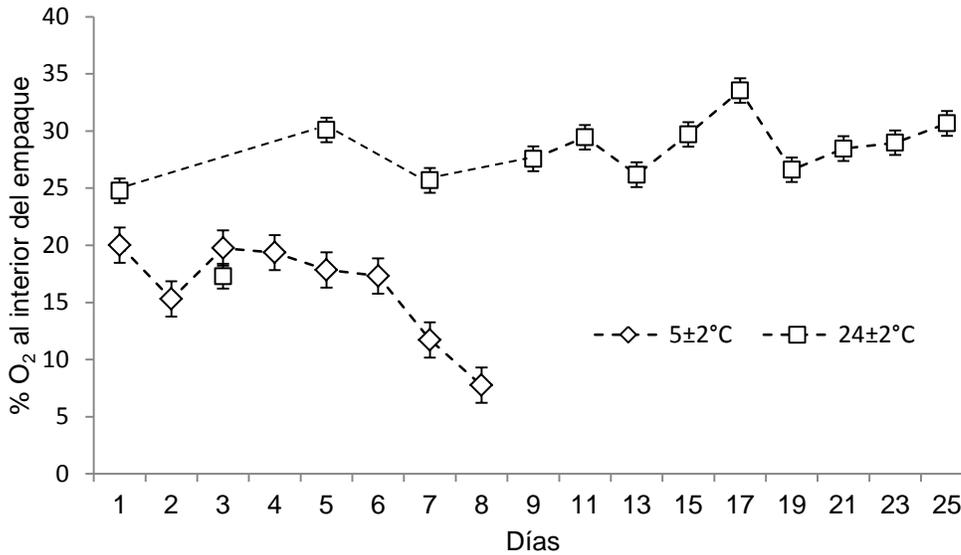
Los mayores porcentajes en pérdida de peso en las medias de los tratamientos de ácido ascórbico + ácido málico y cloro podrían asociarse con una baja concentración de O<sub>2</sub> al interior del empaque ( $r = -0.262^*$ ) y un alto porcentaje de CO<sub>2</sub> ( $r = 0.269^*$ ), los cuales son resultado de la tasa respiratoria del producto por lo que como se mencionó anteriormente también está relacionada con la pérdida de peso ( $r = 0.375^{**}$ ). Es posible que en los tratamientos ácido ascórbico + ácido fumárico y cloro, la alta temperatura ( $24 \pm 2^\circ\text{C}$ ) hayan desempeñado un efecto tóxico en los cladodios de nopal que derivó en un alto estrés.

#### **4.3.6. O<sub>2</sub> al interior del empaque**

Los nopales almacenados a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  exhibieron ( $P \leq 0.05$ ) mayores niveles de O<sub>2</sub> al interior del empaque que aquellos expuestos a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  con 28.85 y 18.10 %, respectivamente. A la mayor temperatura, las concentraciones O<sub>2</sub> disminuyeron significativamente ( $P \leq 0.05$ ) los dos últimos días de experimentación con 8.5 y 12.26 % en comparación a los valores iniciales (20.02 %). En las muestras refrigeradas, los días uno y tres presentaron los menores niveles significativos ( $P \leq 0.05$ ) de O<sub>2</sub> con 24.77 y 17.29%, respectivamente (Figura 41). A  $24 \pm 2^\circ\text{C}$ , los valores oscilaron de 20.5 a 7.76 %.

Las diferencias en el porcentaje de O<sub>2</sub> entre condiciones térmicas, concuerdan con la correlación encontrada entre los niveles de éste elemento y la temperatura ( $r = -0.664^{**}$ ) y, con Quevedo-Preciado *et al.*, (2005), quienes indican hasta un 37% más de O<sub>2</sub> a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  que a  $10 \pm 2^\circ\text{C}$  en nopal verdura mínimamente procesado ‘Copena F1’, pero el nivel del gas en el presente estudio osciló de 6.18 a 35.08 %, superiores a los reportados por el mismo autor. Esto también es diferente de lo reportado por Fortín-Hernández y Rodríguez-Félix (2010) en la variedad de nopal verdura ‘Copena F1’ mínimamente procesado almacenado a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$ , donde la película de polietileno de baja densidad mantuvo al interior de la atmósfera porcentajes de O<sub>2</sub> similares a los del aire y a las otras dos evaluadas (PD-90® y RD-106®), niveles aproximados a 0 %.

Posiblemente las diferencias con los autores mencionados podrían ser debidas al grado de procesamiento del producto, pues en la presente investigación, los nopales no fueron troceados, solo desespinaados; lo cual permitió una menor respiración ( $r=-0.503^{**}$ ) y la acumulación del elemento en cuestión durante el proceso de fotosíntesis.

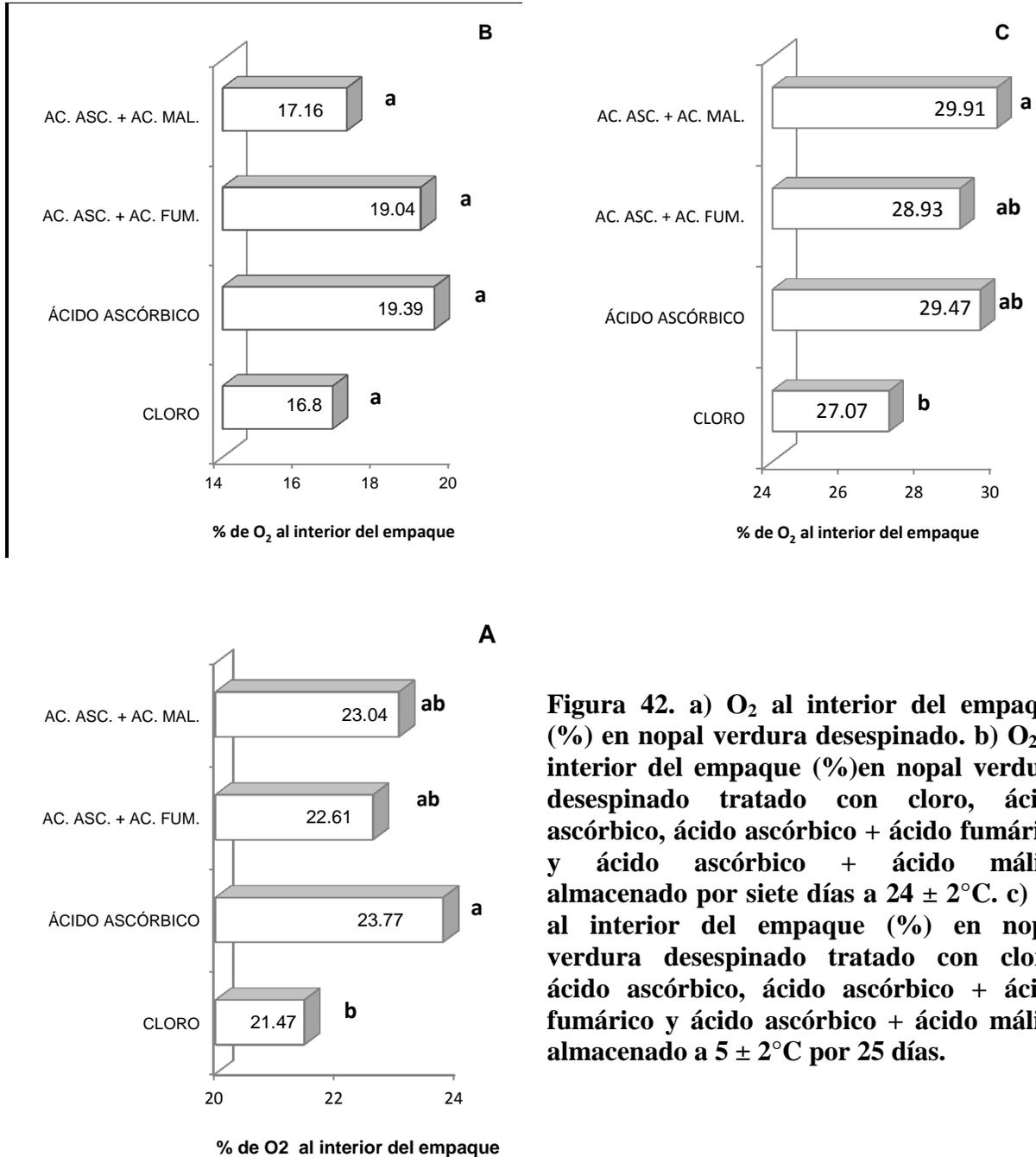


**Figura 41. Porcentaje de O<sub>2</sub> (%) al interior del empaque en nopal verdura desespinaado almacenado a 5 ± 2°C y 24 ± 2°C por ocho y 25 días, respectivamente.**

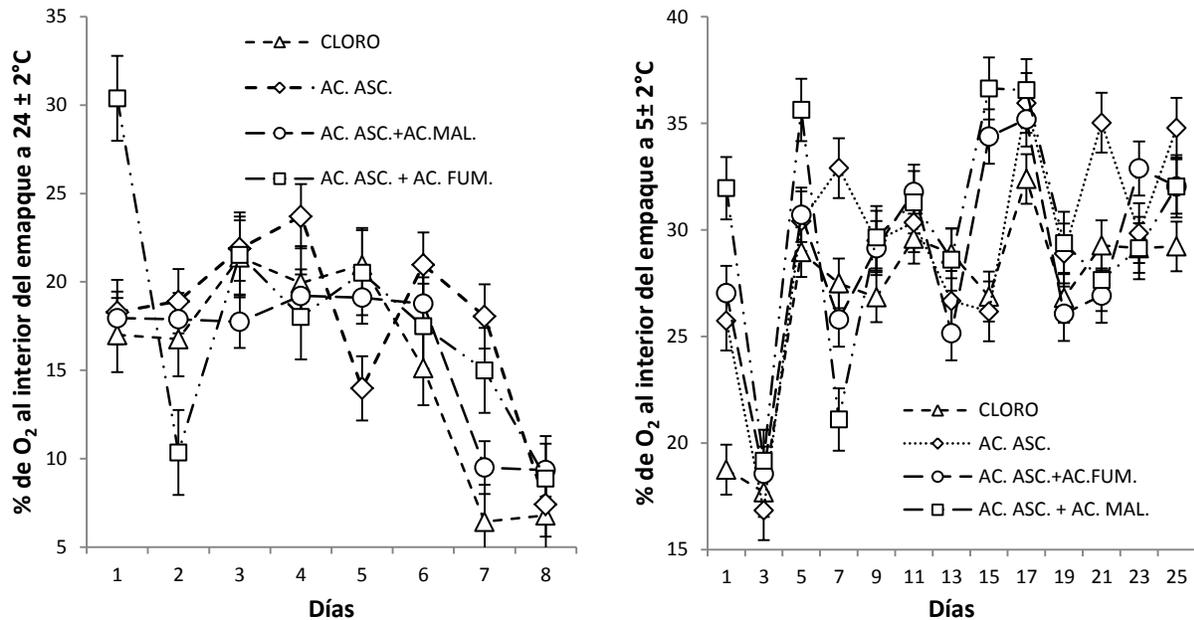
Por otra parte, las menores concentraciones significativas en el almacenamiento a 24 ± 2°C en los dos últimos días, podrían deberse a la disminución de tasa fotosintética; mientras que a 5 ± 2°C, la menor concentración de O<sub>2</sub>, en los tres primeros días, implicaría un mayor estrés.

Los cladodios tratados con cloro presentaron significativamente la menor concentración de O<sub>2</sub> al interior del empaque con 21.47 % (Figura 42a). En las temperaturas por separado, el mismo tratamiento tendió a niveles inferiores a 24 ± 2°C con 16.08 % (Figura 42b), en tanto que fue estadísticamente diferente al resto de en los nopales tratados y almacenados en refrigeración con los menores porcentajes de O<sub>2</sub> (27.07 %), de acuerdo con la figura 42c. Sin embargo, los tratamientos cambiaron en tendencia con los días de almacenamiento en las dos temperaturas evaluadas ( $P \leq 0.05$ ). En la figura 43a se observa que los niveles del gas en cuestión estuvieron más constantes en el tratamiento de ácido ascórbico + ácido málico a 24 ± 2°C los primeros seis días, mientras que a 5 ± 2°C (Figura 43b), el material vegetal expuesto a cloro tendió a los

menores porcentajes los días cinco (28.95 %), once (29.59 %), 17 (32.39 %) y 25 (29.23%) y de manera significativa el día uno (18.75 %), nueve (26.84 %) y 19 (26.81 %), en éste último junto con el tratamiento de ácido ascórbico + ácido fumárico.



**Figura 42. a) O<sub>2</sub> al interior del empaque (%) en nopal verdura desespinado. b) O<sub>2</sub> al interior del empaque (%) en nopal verdura desespinado tratado con cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido fumárico y ácido ascórbico + ácido málico almacenado por siete días a 24 ± 2°C. c) O<sub>2</sub> al interior del empaque (%) en nopal verdura desespinado tratado con cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido fumárico y ácido ascórbico + ácido málico almacenado a 5 ± 2°C por 25 días.**

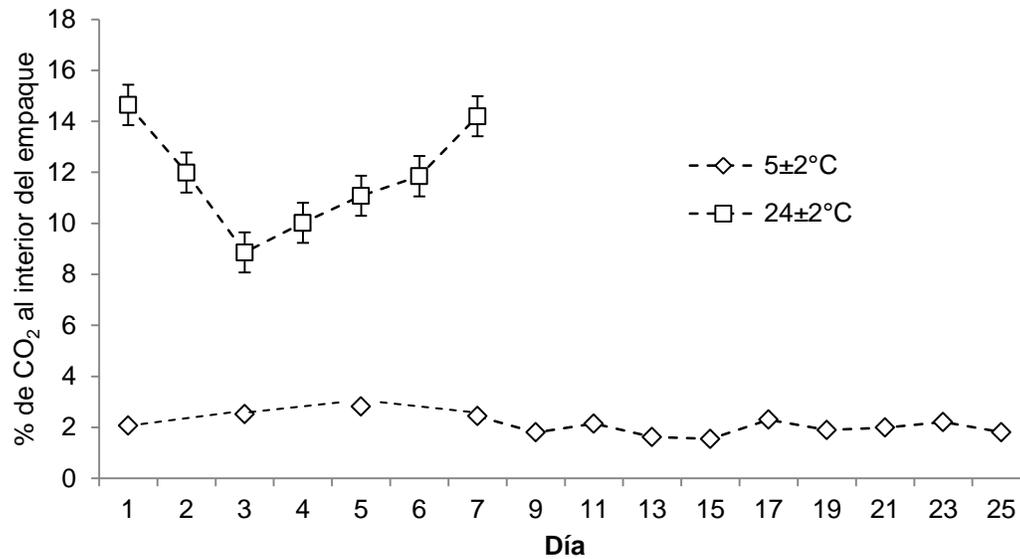


**Figura 43. a)  $O_2$  al interior del empaque con nopal verdura sin espinas almacenado a  $24 \pm 2^\circ C$ . b)  $O_2$  al interior del empaque con nopal verdura sin espinas almacenado a  $5 \pm 2^\circ C$ . Las barras verticales indican el error típico.**

#### 4.3.7. $CO_2$ al interior del empaque

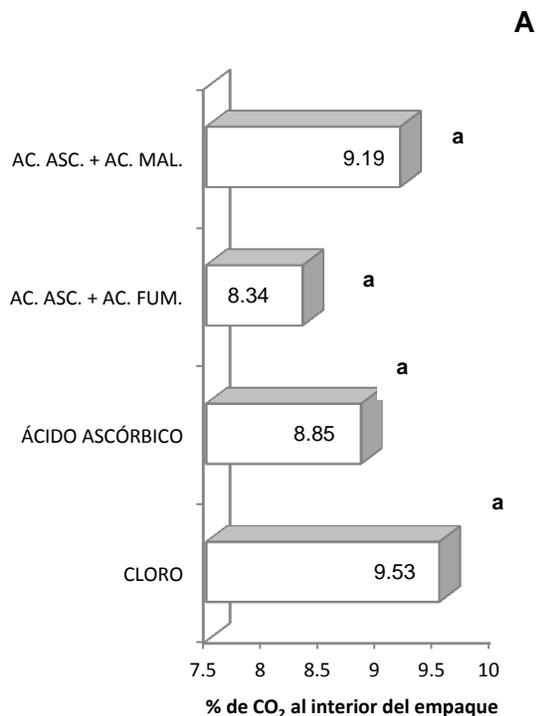
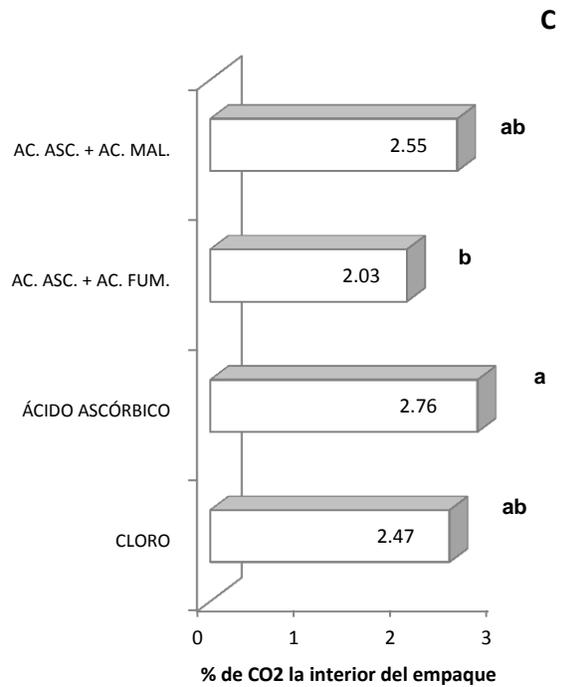
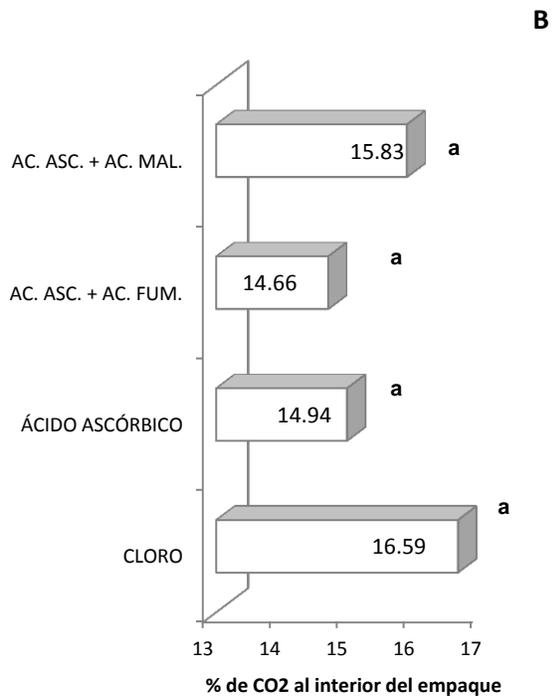
Los cladodios almacenados a  $5 \pm 2^\circ C$  registraron el menor nivel ( $P \leq 0.05$ ) de  $CO_2$ , con una concentración de 2.45 %, mientras que a  $24 \pm 2^\circ C$  los valores fueron de 16.08 % (Figura 44). En ésta última, el porcentaje fluctuó de 8.86 a 14.64%, en mayor medida que bajo la otra condición térmica (1.54 a 2.81%).

Los mayores porcentajes de  $CO_2$  en los nopales almacenados a  $24 \pm 2^\circ C$  podrían ser debidos al aumento de la temperatura ( $r= 0.889^{**}$ ), la cual al incrementarse acelera el proceso de respiración y con ello la acumulación de dicho gas al interior de la atmósfera modificada (Lu *et al.* 2010). Resultados similares han sido reportados por Agar *et al.* (2007) quienes indican en frutos cortados de kiwi (*Actinidia deliciosa*), aumentos en las concentraciones de  $CO_2$  de dos a seis horas a  $20^\circ C$  y, a  $2^\circ C$  después de uno a tres días.



**Figura 44. % de CO<sub>2</sub> al interior del empaque en nopal verdura desespinado y almacenado a 5 ± 2 y 24 ± 2C.**

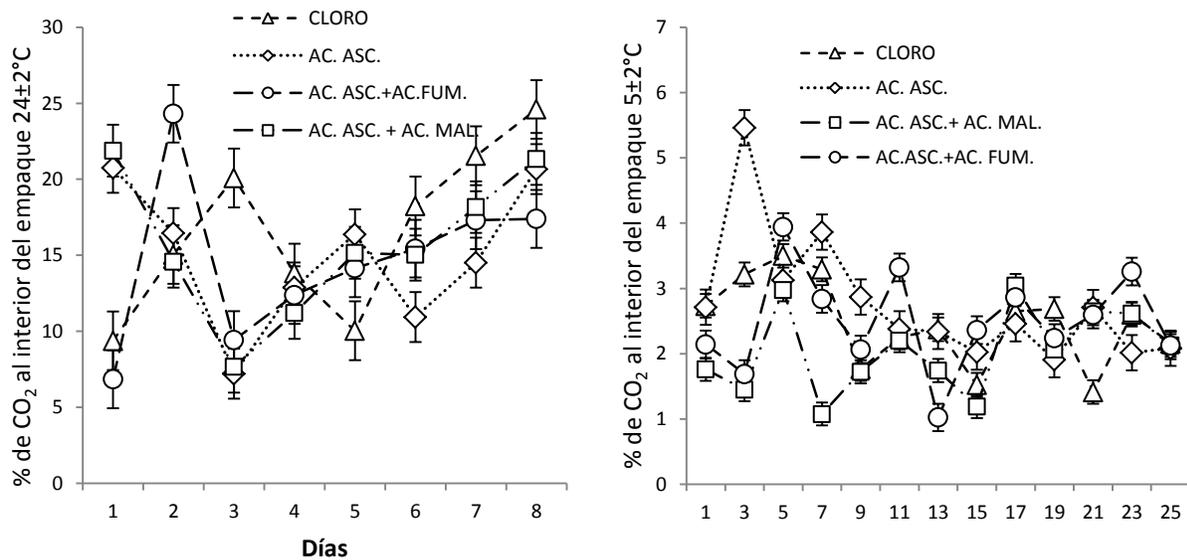
En almacenamiento a 5 ± 2°C, los valores de CO<sub>2</sub> se encontraron por debajo o dentro del 2 al 7 % de CO<sub>2</sub> registrado por Guevara *et al.* (2001) en nopal verdura ‘Milpa Alta’ con espinas empacado y refrigerado a 5°C; lo anterior podría ser resultado de un mayor intercambio gaseoso entre la atmósfera empleada y el entorno, lo cual es muy similar a los valores reportados por Fortiz-Hernández y Rodríguez-Félix (2010) en nopal mínimamente procesado refrigerado a 5° y empacado en películas de PEBD, donde las concentraciones de CO<sub>2</sub> resultaron cercanas a un 2%.



**Figura 45. a) CO<sub>2</sub> al interior del empaque (%) en nopal verdura desespinado. b) CO<sub>2</sub> al interior del empaque (%) en nopal verdura desespinado tratado con cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido fumárico y ácido ascórbico + ácido málico almacenado por siete días a 24 ± 2°C. c) CO<sub>2</sub> al interior del empaque (%) en nopal verdura desespinado tratado con cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido fumárico y ácido ascórbico + ácido málico almacenado a 5 ± 2°C por 25 días.**

Los tratamientos no presentaron diferencias significativas (Figura 45a), pero se encontró una interacción que sugiere que éstos no siguieron la misma tendencia entre los días y temperaturas

de almacenamiento ( $P \leq 0.05$ ), lo cual es corroborado en los análisis por temperatura, donde no se encontró diferencia significativa alguna a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$ , mientras que a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$ , el tratamiento de ácido ascórbico + ácido fumárico fue estadísticamente de menores concentraciones de  $\text{CO}_2$  con 2.03% (Figura 45b y 45c) y, en los diferentes días de almacenamiento refrigerado (Figura 46b) donde, los nopales expuestos a ácido ascórbico + ácido fumárico exhibieron los menores niveles de  $\text{CO}_2$  en almacenamiento los días uno (1.76 %), cinco (2.98 %), siete (1.07 %), nueve (1.73 %), y 15 (1.20 %) y estadísticamente ( $P \leq 0.05$ ) en las determinaciones tres (1.45 %) y 11 (2.20 %). A  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  los cladodios con cloro tendieron a los mayores porcentajes de  $\text{CO}_2$  al interior del empaque (Figura 46a) en los días tres (20.08 %), seis (18.24 %), siete (21.54 %) y ocho (24.60 %) según la figura 46b.

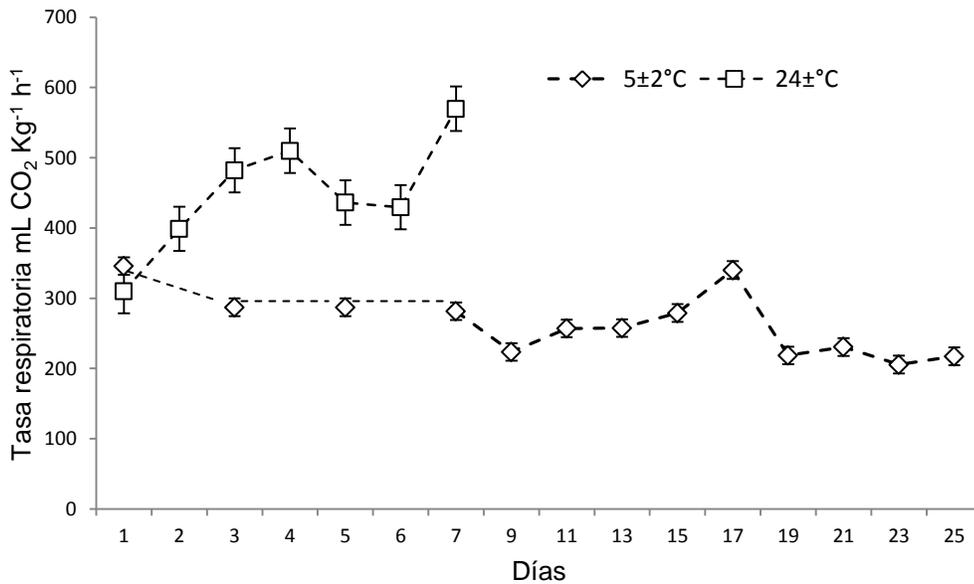


**Figura 46.  $\text{CO}_2$  al interior del empaque con nopal verdura sin espinas: a) almacenado a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$ . b) almacenado a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$ . Las barras verticales indican el error típico.**

Los resultados en el tratamiento de ácido ascórbico + ácido málico podrían ser consecuencia de una mayor acidez titulable ( $r = -0.609^{**}$ ), y de una menor respiración ( $r = 0.708^{**}$ ). Es decir hay una buena conservación de éstos atributos de calidad, reflejados en una menor respiración y cantidad de  $\text{CO}_2$  al interior del empaque. El cloro a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$ , sin embargo generó un mayor estrés, el cual estuvo relacionado a la respiración ( $r = 0.706^{**}$ ).

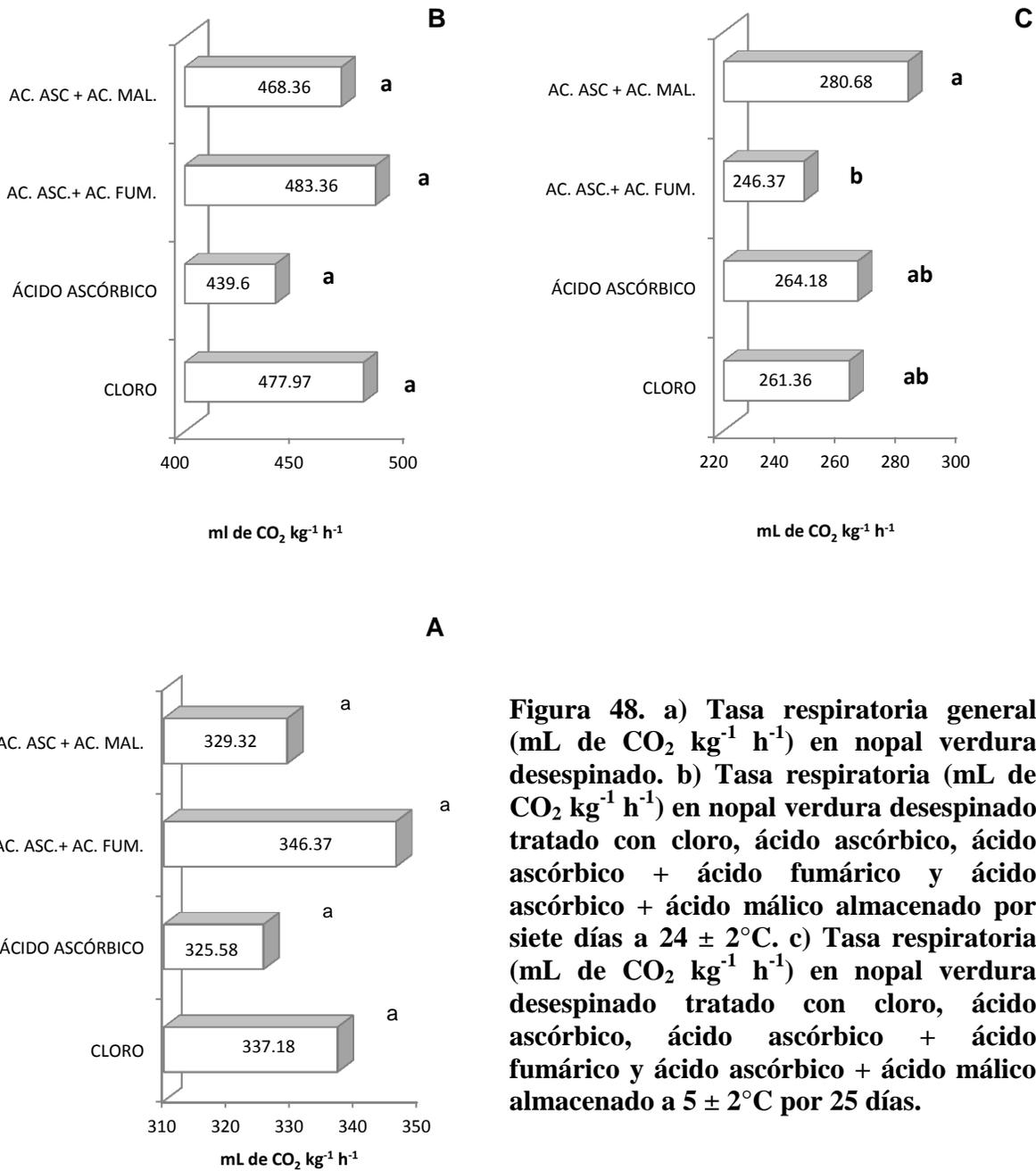
### 4.3.8 Tasa respiratoria

La refrigeración redujo la tasa respiratoria ( $P \leq 0.05$ ) en el nopal almacenado a  $5 \pm 1^\circ\text{C}$  en más de un 40% (Figura 47) con  $263.15 \text{ mL de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ . En ésta condición térmica, la respiración se mantuvo constante los primeros siete días del almacenamiento con los mayores valores ( $P \leq 0.05$ ), excepto los días 15 y 17, con los cuales no hubo diferencia estadística. A  $5 \pm 2^\circ\text{C}$ , la respiración varió de  $345.72$  a  $205.54 \text{ mL de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , mientras que a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  osciló de  $309.88$  a  $569.79 \text{ mL de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  y se incrementó los primeros cinco días (Figura 47).



**Figura 47. Tasa respiratoria (mL de CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) en nopal verdura desespinado y almacenado a  $5 \pm 2$  y  $24 \pm 2^\circ\text{C}$ .**

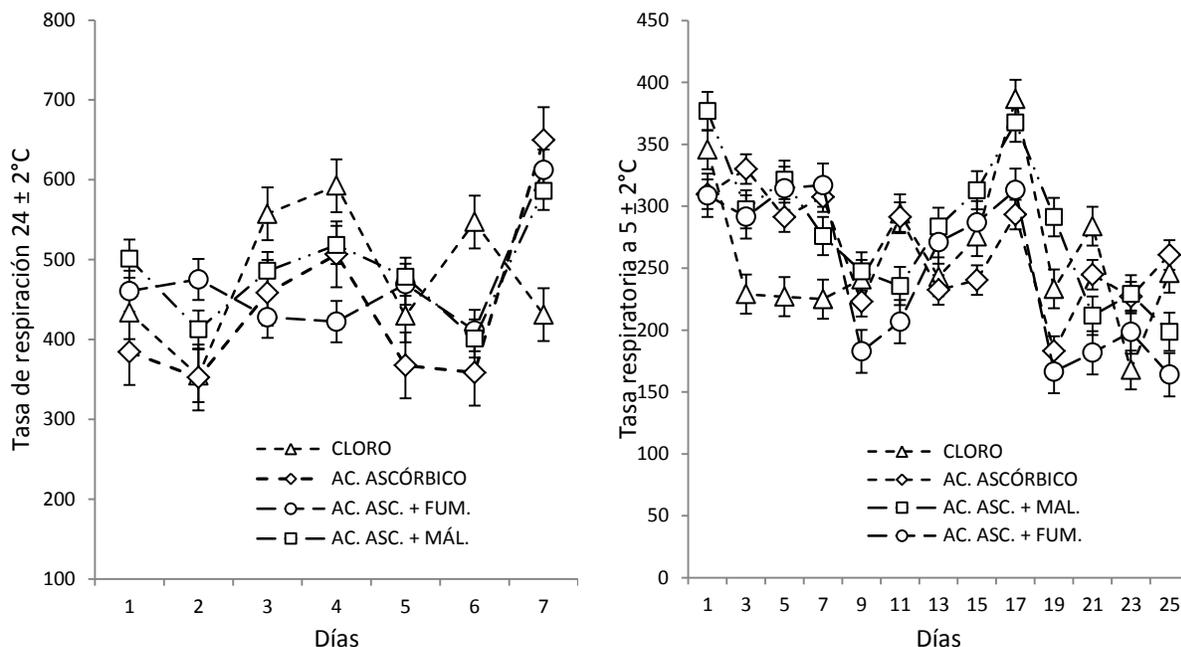
No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en general y en almacenamiento a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  (Figura 48a y 48b). En los nopales refrigerados ( $5 \pm 2^\circ\text{C}$ ), la aplicación de ácido ascórbico + ácido fumárico disminuyó significativamente ( $P \leq 0.05$ ) la respiración con respecto a los demás tratamientos con valores de  $246.37 \text{ mL de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  (Figura 48c).



**Figura 48. a) Tasa respiratoria general (mL de CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) en nopal verdura desespinado. b) Tasa respiratoria (mL de CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) en nopal verdura desespinado tratado con cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido fumárico y ácido ascórbico + ácido málico almacenado por siete días a 24 ± 2°C. c) Tasa respiratoria (mL de CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) en nopal verdura desespinado tratado con cloro, ácido ascórbico, ácido ascórbico + ácido fumárico y ácido ascórbico + ácido málico almacenado a 5 ± 2°C por 25 días.**

Por otra parte, la interacción significativa ( $P \leq 0.05$ ) encontrada entre los días y tratamientos implicaría que éstos no siguieron la misma tendencia durante el almacenamiento, tal como lo muestran los nopales expuestos a 5 ± 1°C, donde, los nopales, expuestos a ácido ascórbico + fumárico reflejaron la menor tasa respiratoria estadística ( $P \leq 0.05$ ), los días 19 y 21 con 166.44 y 181.68 mL de CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 49b) y, a manera de tendencia en las evaluaciones uno, nueve, 11 y 25 (308.85, 182.79, 206.75 y 163.92 mL de CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>

<sup>1</sup>correspondientemente). A  $24 \pm 2^\circ\text{C}$ , el tratamiento de ácido ascórbico tendió en general a la menor respiración los días uno, dos, cinco y seis con 384.31, 352.24, 367.48 y 358.53 mL de  $\text{CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , respectivamente(Figura 49a).



**Figura 49. a) Tasa respiratoria ( $\mu\text{L CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) en nopal verdura sin espinas almacenado a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  por siete días. b) Tasa de respiración ( $\mu\text{L CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) en nopal verdura sin espinas almacenado a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  por 25 días.**

La menor tasa respiratoria inducida por la refrigeración concuerda con lo mencionado por Guevara *et al.* (2003), quienes indican que el decremento de ésta puede ser dado por presiones iguales o inferiores de 20 KPa de  $\text{CO}_2$  y con Agar *et al.* (1999), al indicar que la temperatura incrementa la tasa de respiración, lo cual explicaría las diferencias en el promedio por condición térmica, lo cual también coincide con Villanueva *et al.* (2004) y con la correlación encontrada entre la temperatura y la respiración ( $r= 0.763^{**}$ ).

#### 4.3.9. Etanol y Acetaldehído

No se encontró indicios de la producción de etanol y acetaldehído en los tratamientos evaluados a las dos condiciones térmicas conocidas, lo cual podría indicar que los niveles de  $\text{O}_2$ , en el

almacenamiento no alcanzaron las concentraciones críticas para la inducción en la síntesis de etanol y acetaldehído, implicando que bajo estas condiciones, tiempos de almacenamiento y temperaturas, no se favoreció la respiración anaeróbica.

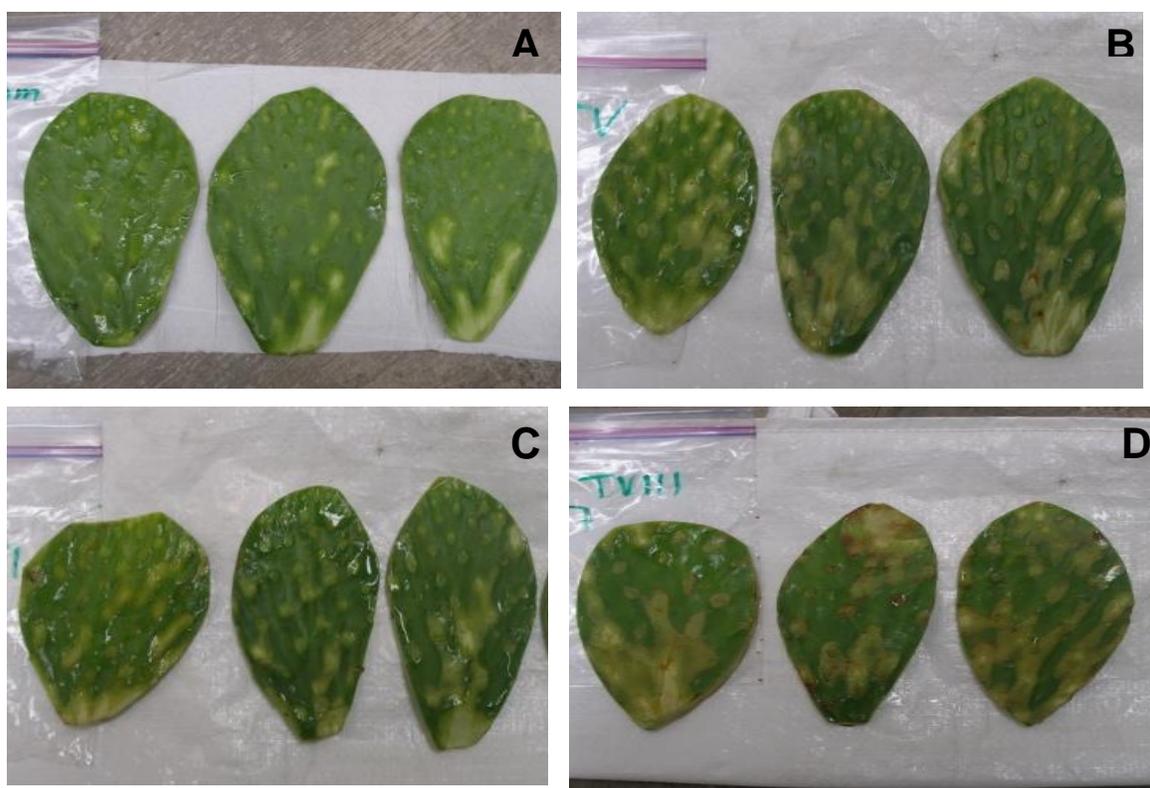
#### **4.3.10. Apariencia**

Los nopales expuestos a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  se mantuvieron entre 0 y 10% en la escala los primeros tres días de evaluación, posteriormente se deterioran hasta estar en un oscurecimiento de heridas  $>50\%$ ). En refrigeración ( $5 \pm 2^\circ\text{C}$ ) la apariencia se postergo hasta los 23 días oscilando entre valores de 11-50% en la escala; en el día 25, los nopales presentaron pudriciones notorias. La mayor frescura se observó en los nopales tratados con ácido ascórbico y cloro, cuyos valores oscilaron de 1-10% (Figura 50 y ANEXO 4).

El oscurecimiento observado en los nopales almacenados a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  indicando mayor actividad de la Polifenol Oxidasa, enzima relacionada con el oscurecimiento enzimático del nopal verdura (Aguilar-Sánchez *et al.*, 2007), amarillamiento de la piel como consecuencia de la pérdida de clorofila (Yahia y Guevara, 2010), ennegrecimiento de la parte apical y de los bordes por causa de ataque de microorganismos que ocasionan pudriciones, pues a altas concentraciones el  $\text{CO}_2$ , puede inhibir a la Polifenol Oxidasa (Gui *et al.*, 2007; Camacho *et al.*, 2007) y esto no fue evidenciado. Con atmósferas microperforadas, los nopalitos troceados de *N. cochillenifera* han sido almacenados hasta por dos semanas a  $5^\circ\text{C}$  (Goldman y Liguouri, 2005).

La mejor apariencia en los nopales almacenados a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  concuerda con lo señalado por Concellón *et al.* (2007), quienes comentan que la preservación y calidad de los productos es mejorada con el almacenamiento a bajas temperaturas (Concellón *et al.*, 2007). La apariencia más fresca en el tratamiento con cloro podría ser debida a que éste es un agente antimicrobiano que también tiene la capacidad de disminuir el pH, por lo que posiblemente la carga microbiana fue menor respecto al resto de los tratamientos, incluyendo aquellos patógenos del nopal verdura que pueden disminuir la vida postcosecha del nopal verdura, pues ocasionan pudriciones. En cuanto al ácido ascórbico, también se han reportados efectos antimicrobianos Derrickson-Tharrington *et al.* (2005).

Por otra parte, se confirma la efectividad del ácido ascórbico en la postergación del oscurecimiento enzimático y no enzimático en nopal mínimamente procesado (Figura 50), coincidiendo con Quevedo-Preciado *et al.* (2005), quienes conservaron cladodios de nopal *O. ficus indica* ‘Copena F1’ por 20 días. El ácido ascórbico ha sido ampliamente utilizado en la conservación de los alimentos mínimamente procesados debido a su capacidad antioxidante, pues actúa sobre las quinonas que ocasionan el oscurecimiento enzimático (Guerrero-Beltrán *et al.*, 2005). Se ha reportado que el ácido ascórbico es un efectivo inhibidor del oscurecimiento enzimático en algunos productos (Özöglu *et al.*, 2002) tales como mango (*Manguifera indica*) ‘Mahachanok’ mínimamente procesado y uva (*Vitis vinifera*) (Puthmee *et al.*, 2010; Ripean *et al.*, 2006).



**Figura 50. Apariencia de los nopales almacenados a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$ . a) Día uno de evaluación. b) Tratados con cloro en el día 25. c) Tratados con ácido ascórbico día 25. d) Tratados con ácido ascórbico + fumárico día 23.**

#### 4.4. Conclusiones

La luminosidad disminuyó gradualmente a lo largo del almacenamiento a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  y en general aumento después del día siete a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$ . El ángulo hue de los nopales en refrigeración se redujo

gradualmente con el tiempo en las dos temperaturas de experimentación, pero más drásticamente a la mayor condición térmica. Chroma se tornó pálido a medida que avanzo el almacenamiento a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  y a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$ , pero fue de mayor intensidad a la mayor temperatura. El pH aumentó en las dos condiciones térmicas evaluadas, mientras que la acidez titulable disminuyó. La firmeza se mantuvo con pocas variaciones en el tiempo de experimentación en los nopales refrigerados a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$ . La tasa respiratoria se redujo levemente en los cladodios almacenados a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  y aumento a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$ .

No hubo producción de etanol y acetaldehído en las dos temperaturas de evaluación. La refrigeración a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  preservó mejor la apariencia que la otra condición térmica.

Los nopales tratados con cloro y ácido ascórbico + ácido málico presentaron la mayor luminosidad, ángulo de tono, acidez titulable y, un menor valor de croma y pH en general. El tratamiento con cloro fue de menor firmeza y porcentaje de  $\text{O}_2$  en la atmosfera interna del empaque, pero también de mayores pérdidas de peso junto con el tratamiento de ac. ascórbico + ácido fumárico. Los cladodios tratados con cloro mostraron los mayores porcentajes de  $\text{CO}_2$  al interior del empaque. El tratamiento de ácido ascórbico + ácido fumárico tendió a la mayor tasa respiratoria y, los tratamiento con cloro o ácido ascórbico tuvieron la mejor apariencia.

#### 4.5. Literatura citada

- Alandes, L., A. Quiles, I. Pérez-Munuera and I. Hernando. 2009. Improving the quality of fresh-cut apples, pears, and melons using natural additives. *Journal of Food Science*: 74 (2):590-596.
- Agar, I. T., R. Massantinu, B. Hess-Pierce and A. A. Kader. 1999. Postharvest  $\text{CO}_2$  and ethylene productions and quality maintenance of fresh-cut kiwi fruit slices. *Journal Food Science* 64(3):433-440.
- AOAC. 1990. *Official Methods of Analysis of AOAC International. Fruits and Fruit Products*. Washington, USA. Pp: 829-830.
- ASERCA. El nopal, leyenda, comercio y futuro en México. No. 98.
- Aguilar-Sánchez, L., M. T. Martínez-Damián, A. F. Barrientos-Priego, N. Aguilar-Gallegos and C. Gallegos-Vásquez. 2007. Potencial de oscurecimiento enzimático de variedades de nopalitos. *J. PACD* 165-183.

- Ártes, F., P. Gómez, F. Artés-Hernández, E. Aguayo and V. Escalona. 2007. Improved strategies for keeping overall quality of fresh-cut produce. *Acta Horticulturae*. 746:245-253.
- Ávila L., G. L. y M. Macedo. V. 2003. Plan de marketing de comercialización de nopal a Japón mediante JETRO. Tesis Maestría. Administración de Empresas con especialidad en Mercadotecnia de servicios. Universidad de las Américas de Puebla.
- [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/mems/avila\\_l\\_gl/indice.html](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mems/avila_l_gl/indice.html) julio 2008.
- Batancourt-Domínguez, M. A., T. Hernández-Pérez and P. García Saucedo. 2006. Physico-chemical changes in cladodes (nopalitos) from cultivated and wild cacti (*Opuntia spp*). *Plant Foods for Human Nutrition* 61: 115-119.
- Cantwell, M., A. Rodríguez-Félix. and F. Robles-Contreras. 1992. Postharvest physiology of prickly pear cactus stems. *Scientia Horticulturae* 50:1-9.
- Concellón, A., M. Añon and A. R. Chaves. 2007. Effect of low temperature storage on physiological and physiological characteristics of egg plant fruits (*Solanum melongena* L.) *Law T. Food Science Technology*. 40(3):389-396.
- Corrales-García, J., C. B. Peña-Valdivia, Y. Razo-Martínez, M. Sánchez-Hernández. 2004. Acidity changes and pH-buffering capacity of nopalitos (*Opuntia spp*). *Postharvest Biology and Technology*.32:169-174.
- Corrales-García, J., G. Ayala V., A. M. Franco E. and García O. 2006. Minimal processing of cactus pear and tender cactus cladodes. *Acta Hort*. 728: 223-227.
- Davis, P. L. and W. G. Jr. Chace. 1969. Determination of alcohol in citrus juice by gas chromatographic analysis of head space. *Hort Science*. 4(2):117-119.
- Del Valle V., E. Almenar, J.M. Alguarín, R. Catalá and R. Guevara. 2003. Modeling permeation through porous polymeric films for modified atmosphere packaging. *Food Additives and Contamination*.20 (2): 170-179.
- Derrickson-Tharrington; P A Kendall and JN Sofos. 2005. Inactivation of *E..coli* O157:H7 during storage or drying of apple slices pretreated with acidic solutions. *International Journal Food Microbiology* 99:79-89.
- Fan, X. 1992. Maturity and storage of “Fuji” apples. Tese Mestrado. Washington State. USA. P 201.

- García, D. y A. E. Pacheco-Dela haya A. E. 2007. Tecnología Poscosecha de la IV gama en arracachia (*Arracacia xanthorrhiza Bancroft*). Revista de la Facultad de Agronomía (Maracay). 33: 129-146.
- García E, D. and M. Barrett.2002. Preservative treatments for fresh-cut fruits and vegetables. In: fres-cut Fruits and vegetables: Science, Technology and Market. O. Lamikanra (Ed.) Press, Boca Raton, Florida. Pp: 267-303.
- Godard P., M., B. A. Ewing, I. Pischel, A. Ziegler, B. Benedek and B. Feistel. 2010. Acute blood glucose lowering effects and long-term safety of *Opuntia*<sup>TM</sup> supplementation in pre-diabetic males and females. Journal of Ethnopharmacology. 130 (3): 631-634.
- Goldman, G., Y. Vinokur, B. Horev, S. Laurie, G. Liguori and V. Rodov. 2005. Fresh-cut products from cactus species. Acta Horticulturae 682:1961-1963
- González J., A. Ferrer, R. Oria and M. L. Salvador.2008.Determination of O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> transmission rates through microperforated films for modified atmosphere packaging of fresh fruits and vegetables. Journal of Food Engineering.86(2):194-201.
- Guerrero-Beltrán, J. A., B. G. Swanson and G. V. Barbosa-Canovas G. V. 2005. Inhibition of polyphenol oxidase in mangoes puree with 4-hexylresorcinol, cysteine and ascorbic acid.LWT. Food Sci. Technol. 38(6): 625-630.
- Gui, F., J. Wu, F. Chen, X. Liao, X. Hu, Z. Zhang and Z. Wang. 2007. Inactivation of polyphenol oxidase in cloudy apple juice exposed to supercritical carbon Dioxide. Food Chemistry 100(4): 1678-1685.
- Guevara J. C., E. M. Yahia and E. Brito de la Fuente.2001.Modified atmosphere packaging of prickly pear cactus stems (*Opuntia spp*). Lebensm.-Wiss. U. Technology 34: 445-451.
- Guevara J. C., E. M. Yahia and E. Brito de la F. and S. P. Biserka. 2003. Effects of elevated concentration of CO<sub>2</sub> in modified atmosphere packaging on the quality of prickly pear cactus stems (*Opuntia spp*). Postharvest Biology and Technology. 167-176.
- Jong M.K., H. K. Dong, J. P. Se, H. P. Dong, Y. J. Seo, J. K. Hyoun., S. L. Yong, J. Changbae and H. R. Jong .2010.The n-butanolic extract of *Opuntia ficus-indica* var. saboten enhances long-term memory in the passive avoidance task in mice. Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry.34(6): 1011-1017.
- Kim, J. G. 2007. Fresh-cut Market Potential and Changes in far-east Asia. Acta Horticulturae 746: 33 a 38.

- Lanciotti R., A., F. Gianotti, N. Patrignani, M. Belletti, E. Guerzoni and F. Gardini. 2004. Use of natural aroma compounds to improve shelf-life and safety of minimally processed fruits. *Trends Food Science. Technology*. 15:201-208.
- Li, T., M. Zhang and S. Wang. 2008. Effects of temperature on *Agrocybe chaxingo* quality stored in modified atmosphere packages with silicon gum film windows. *LWT Food Science and Technology* 4(6): 965-973.
- Luo, D., M. Zhang, S. Wang, J. Cai, X. Zhou and C. Zhu. 2010. Nutritional characterization and changes in quality of *Salicornia bigelovii* Torr during storage. *LWT-Food Science and Technology* 43:519-524.
- Martínez C., J. L. and J. V. Calderón S. 2005. La función y transporte de ácido málico en plantas, un dicarboxílico estrella. *Revista de Educación Bioquímica*. 24(2):39-46.
- Mendoza-Wilson A. M.; R. Báez-Sañudo. 2000. Medición de la tasa respiratoria por sistema cerrado en melón cantaloupe. *Horticultura Mexicana* 8(2):158-163.
- Özoglu, H. and A. Bayiindirli. 2002. Inhibition of enzymatic browning in cloudy apple juice with selected antibrowning agents. *Food Control* 13:213-221.
- Puthmee, T., P. Booyaritthongchai and S. Kanlayena. 2010. Effect ascorbic acid on shelf-life and Quality of fresh cut 'Mahachanoki' mango. *Acta Horticulturae* 875.
- Queiroz, C., M. L. Mendes L., E. Fialho and V. L. Valente-Mesquita. 2008. Polyphenol oxidase: characteristics and mechanisms of browning control. *Food Review International*. 24:361-375.
- Quevedo-Preciado, K. L., M. A. Villegas-Ochoa, H. González-Ríos y A. Rodríguez-Félix. 2005. Calidad de nopal verdura mínimamente procesado, efecto de temperatura e inhibidores de oscurecimiento. *Rev. Fitotec.* 28(3): 261-270.
- Raybaudi-Massilia, J., J. Mosqueda-Melgar, A. Sobrino-López, R. Salica-Fortuny, O. M. Belloso. 2009. Use of malic acid and other quality stabilizing compounds to assure the safety of fresh-cut 'Fuji' apples by inactivation of *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enteritidis* and *E. coli* O:157. *Journal of food Safety* 29(2): 236-252.
- Rivera-López J., F. A. Vázquez Ortiz, J. F. Ayala Zavala, G. A. González Aguilar. Efecto del corte y la temperatura de almacenamiento en la calidad de papaya fresca cortada (*Carica papaya* L. cv. "Maradol"). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 6(2): 83-94.

- Rodríguez-Félix, A. and M. Cantwell. 1988. Developmental changes in composition and quality of prickly pear cactus cladodes (nopalitos).38: 83-93.
- Rodríguez-Félix. 2002. Postharvest physiology and technology of cactus pear fruits and cactus leaves. *Acta Horticulturae* 581:191-199.
- Renault, P., M. Souty and Y. Chambray. 1994. Gas exchange in modified atmosphere packaging. 1: A new theoretical approach for micro-perforated packs. *International Journal of Food Science and Technology* 29: 365-378.
- Repeanu, G., A. V. Loey, C. Smout, M. Hendrickx. 2006. Biochemical characterization and process stability of polyphenol oxidase extracted from Victoria grape (*Vitis vinifera spp sativa*). *Food Chemistry*. 94:353-361.
- Rojas-Graüm. A., A. Sobrino-López, A. Tapia M. S., M. Belloso O. 2006. Browning inhibition in fresh cut 'Fuji' Apple slices by natural antibrowning agents. *Journal Food Science Technology* 47:75-84.
- Rungsinee S. and K. Peeriya. 2009. Quality and shelf-life of washed fresh-cut asparagus in modified atmosphere packaging. *Food Science and Technology*. 42: 1484-1490.
- Saénz, C.H.B., J. Corrales G., L. Galletti, V. García de C., I. Higuera, C. Mondragón, A. Rodríguez-Félix, E. Sepúlveda and M. T. Varnero. Roma 2006. Utilización agroindustrial del nopal. *Boletín de servicio Agrícola de la FAO*.
- SIAP. 2009. <http://w6.siap.gob.mx/comercio/index.php junio 2009>.
- Rodríguez-García, M. E., C. De Lira, E. Hernández-Becerra, M. A. Cornejo-Villegas, A. J. Palacios-Fonseca, I. Rojas-Molina, R. Reynoso, L. C. Quintero, A. Del Real, T. A. Zepeda and C. Muñoz-Torres. *Plant Food Human Nutrition*. 62:107-112. DOI 10.1007/s11130-007-0049-5.
- Samelis J., J. N. Sofas. Organic acids. En: Roller S. (Ed.). *Natural antimicrobials for the minimal processing of foods*. Cambridge:Woodhead; 2003. pp. 98-120.
- Rojas R. XXVII Congreso interamericano Engenharia Sanitária e Ambiental.2000. <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/tratagua/ii-072.pdf> 10.03.2010
- Thringer, D., W. Schotmans and A. J. Mawson and B. MacKay. 2010. Effect of temperature abuse during transport of modified atmosphere packaged broccoli. *Acta Horticulturae* 857.

- Villarreal F.; Rojas Mendoza P. Arellano V; Moreno J. 1963. Estudio químico sobre especies de nopales (*Opuntia spp*). Ciencia aplicada 22:59-65.
- Yahia, E. M. and J. C. Guevara-Arauz. 2010. Modified atmosphere packaging of nopal (prickly pear stems *Opuntia spp*). Acta Horticulturae. 857:441-450.
- Yahia E., M. L., M. M. Tijskens, J. C. Guevara, L. Cedeño, R. M. Beaudry. 2010. The development of a model to describe the influence of temperature rate of Prickly pear cactus stems in reduced O<sub>2</sub> conditions. Acta Horticulturae. 857: 451-460.
- Villanueva, M. J., M. D. Tenorio, M. Sagardoy, A. Redondo and M. D. Saco. 2005. Physiological, chemical, histological and microbiological changes in fresh green asparagus (*Asparagus officinalis* L.) storage in modified atmosphere packaging. Food Chemistry. 91: 609-619.

**CAPITULO V.SOBREVIVENCIA DE *Salmonella sp* y *Escherichia coli* EN NOPAL  
VERDURA MÍNIMAMENTE PROCESADO EN ATMÓSFERAS MODIFICADAS  
MODALIDAD PERFORADO**

**Resumen**

Los brotes de enfermedades infecciosas debidas a *Salmonella sp* y *Escherichia coli* han sido asociados a la falta de Buenas Prácticas Agrícolas y de Manufactura en los sistemas de producción, manejo y empaque de los productos hortofrutícolas consumidos frescos. El objetivo del presente estudio fue evaluar el crecimiento de *Salmonella sp* y *E. coli* en nopal verdura contaminado artificialmente, después de ser tratados con ácido ascórbico, cloro o agua destilada estéril. Los tratamientos fueron: ácido ascórbico al 1%, cloro a 200 ppm, agua destilada estéril y, un testigo absoluto sin inocular. Los nopales desespinados y cortados se inocularon al interior de bolsas con 15 micro perforaciones (0.5 mL), dónde fueron almacenados a  $5 \pm 2^{\circ}\text{C}$  y/o  $19 \pm 1^{\circ}\text{C}$ . Las muestras se sembraron por superficie en placa en Agar Sulfito y Bismuto® y Agar Mac Conkey Sorbitol®; cada tercer día para los nopales verdura refrigerados y diario, para aquellos de la otra condición térmica. Los niveles de *Salmonella sp* y *E. coli* se expresaron en Log UFC g<sup>-1</sup>. Ambas bacterias sobrevivieron a  $5 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ,  $19 \pm 1^{\circ}\text{C}$  y/o  $24 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , pero sus poblaciones crecieron poco en refrigeración. El tratamiento de ácido ascórbico presentó el menor crecimiento significativo ( $P \geq 0.05$ ) de la *Salmonella spa*  $19 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , al igual que en refrigeración, pero no la erradicó a la bacteria. La aplicación de ácido ascórbico y/ cloro no tuvo efecto en la disminución del crecimiento de *E. coli* en las dos temperaturas de almacenamiento. El nopal verdura fresco es un potencial vector de *Salmonella sp*, en la contaminación posterior a la desinfección en condiciones de almacenamiento a  $5 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ,  $19 \pm 2^{\circ}\text{C}$  y/o  $24 \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

**Palabras clave:** *Opuntia ficus indica*, *Salmonella sp*, *E. coli*, ácido ascórbico, cloro.

## 5.1. Introducción

El proceso de producción de los productos hortícolas, la cosecha, procesamiento, empaque, transporte y almacenamiento representan puntos de riesgo por contaminación de patógenos de humanos, que pueden ocasionar brotes de enfermedades transmitidas por alimentos (Beuchat, 2002), lo cual implica adicionalmente, costos económicos por daños a la salud, ausencia laboral y rechazo de los alimentos en la comercialización.

*Salmonella* y *E. coli* han sido asociadas a brotes infecciosos debido al consumo de alimentos contaminados, entre éstos, diversos frutos y hortalizas (Heaton y Jones, 2008). En relación a ello, se han realizado investigaciones en mango, papaya (Strawn y Danyluk, 2010), melón (Landa *et al.*, 2009; Morales-Hernández *et al.*, 2009; Parnell *et al.*, 2005), cilantro (Serna *et al.*, 2010), espinacas (Pirovani *et al.*, 2000; Lee y Baek, 2008), col (Piagentini *et al.*, 1997), tomate (Weissinger *et al.*, 2000; Das *et al.*, 2006), brócoli (Behrsing *et al.*, 2000), lechuga (Takeuchi y Frank, 2000; Behrsing *et al.*, 2000; Weissinger *et al.*, 2000; Baur *et al.*, 2005; López-Gálvez *et al.*, 2009; Ölmez, 2010), chile bell, calabacita, fresa (Yuk *et al.*, 2006; Alexandre *et al.*, 2012), manzana (Luo *et al.*, 2011), durazno (Alegre *et al.*, 2010).

De acuerdo con Beuchat (1998), los brotes de infecciones transmitidas por alimentos son también consecuencia de la ineficiencia de los desinfectantes. Comúnmente se emplea cloro de 50 a 200 ppm (Pirovani *et al.*, 2000; Behrsing *et al.*, 2000; Gil *et al.*, 2009), que no es del todo eficiente en la eliminación de la carga microbiana en los productos hortícolas, porque pueden sobrevivir bacterias enteropatógenas (Pirovani *et al.*, 2000). Según Wei *et al.*, (1995), bacterias Gram negativas, como *Salmonella* son afectadas a concentraciones bajas de cloro en el agua de desinfección. De acuerdo con Beuchat y Ryu (1997), Pirovani *et al.* (2000), Parnell *et al.* (2005), Berger y Galletti (2007), la mayor efectividad del cloro se encuentra a pH 7, donde el 75 y 80% del ácido hipocloroso está presente, un pH superior puede disminuir la eficiencia antimicrobiana.

La presencia de materia orgánica disminuye el efecto antimicrobiano del cloro (Ruíz *et al.*, 2007). A altas concentraciones de cloro puede ocurrir una interacción con la materia orgánica del agua en la desinfección o con los carbohidratos del producto cuando son expuestos (Rodgers *et al.*, 2004). En lechuga (*L. sativa*) se observó la presencia de estos compuestos cuando en el agua de desinfección, la concentración de cloro (700 ppm) y tiempo de exposición fueron altos

(López-Gálvez, 2009), mientras que a dosis normalmente empleadas en la desinfección, COT (2007) indica que no causa la presencia de compuesto alguno en los productos lavados, al ser usados a dosis inferiores permisibles en agua corriente de la llave.

En chile bell, la población de *Salmonella* disminuyó en 3 logs al contacto con una solución de cloro (200 ppm), con respecto a un testigo sin exposición a la solución desinfectante (Yuk *et al.*, 2006). En melones en rodaja, Parnell *et al.* (2005) refieren a beneficios con la aplicación de cloro sobre *Salmonella* comparativamente con agua sola. De la misma forma, Behrsing *et al.* (2000) mencionan en lechuga disminuciones significativas en las poblaciones de *E. coli* debidas a la aplicación de cloro, pero inefectividad en la eliminación. Akbas y Ölmez (2007) indican reducciones de 2 Log en poblaciones de *E. coli* inoculadas en lechuga iceberg. Luo *et al.* (2011) informan que en manzanas mínimamente procesadas, el cloro inhibió el número de *E. coli* en 3Log UFC con respecto al tratamiento con solo agua y, Allende *et al.* (2009) reportan que las bacterias patógenas de humanos *E. coli* O157:H7 son inhibidas en cilantro por hipoclorito de sodio.

Debido a la demanda de desinfectantes naturales, no tóxicos a humanos, ambientalmente seguros y de bajos costo (Corbo *et al.*, 2009), en algunas investigaciones se ha evaluado el efecto de las aplicaciones de ácidos orgánicos, entre ellos, el ácido ascórbico, cuyas propiedades antioxidantes pueden conferirle efectos antimicrobianos (Wu *et al.*, 2008). Yuk *et al.* (2006) reportaron mayor efecto del ácido ascórbico contra *Salmonella* en chile bell y calabacita que con hipoclorito de sodio y, por su parte, Akbas y Ölmez (2007) señalan menores reducciones en los niveles de *Listeria monocytogenes* en lechuga en comparación con otros ácidos. Di Persio *et al.* (2003) registraron disminuciones de 0.7 Log UFC g<sup>-1</sup> de *Salmonella spp* en manzana ‘Gala’ almacenada a 25°C. En la misma especie, Derrickson-Tharrington *et al.* (2005) informaron reducciones de 1.3 Log UFC g<sup>-1</sup> a 25°C sobre *E. coli* O157:H7 con el uso de 2.8% de ácido ascórbico. Ölmez (2010) observó que la aplicación de 0.25% de ácido cítrico + 0.50% de ácido ascórbico disminuyó significativamente de 1.5 Log UFC g<sup>-1</sup> las poblaciones de *E. coli* en lechuga, aunque con menor proporción que el cloro y ozono burbujeante.

Según Gillian y O’Beirne (2002), el tipo de vegetal, el pH del desinfectante, la microflora y tiempo de exposición influyen en la desinfección; ejemplo de ello es que detectaron mayor

disminución de la población de *Listeria innocua* y *E. coli* en lechuga (*L. sativa*) que en col (*Brassica oleracea*). Hernández-A. *et al.*, (2009) reportaron la presencia de *Salmonella* en nopal verdura y por su parte, Martínez (2012) indica crecimientos del patógeno a 4 y 15°C en nopal verdura ‘Atlixco’ pelado y sin pelar, pero no se encontró información en la base de datos disponible referente al uso de desinfectantes en nopal verdura mínimamente procesado. Quevedo-Preciado *et al.* (2005) señalan que el ácido ascórbico en nopal verdura ‘Copena’ mínimamente procesado ha demostrado ser un importante inhibidor del oscurecimiento enzimático.

### **5.1.1. Objetivo general**

Cuantificar la tasa de crecimiento de *Salmonella sp* y *E. coli* en nopal mínimamente procesado.

### **5.1.2. Objetivo específico**

Medir la sobrevivencia y crecimiento de *Salmonella sp* y *E. coli* en nopal verdura ‘Atlixco’ mínimamente procesado tratado con cloro (200 ppm), ácido ascórbico y agua estéril a temperaturas de  $4\pm 2^{\circ}\text{C}$ ,  $19\pm 2^{\circ}\text{C}$  y/o  $24 \pm 2^{\circ}\text{C}$  durante 20 y siete días de almacenamiento, respectivamente.

### **5.1.3. Hipótesis**

*Salmonella sp* y *E. coli* pueden crecer y sobrevivir en nopal verdura ‘Atlixco’ mínimamente procesado en una contaminación artificial posterior a la aplicación de cloro y ácido ascórbico.

## **5.2. Materiales y métodos**

### **5.2.1. Material vegetal**

Se emplearon cladodios de nopal verdura (*Opuntia ficus indica* L.) ‘Atlixco’ de entre 10 y 15 cm de longitud sin espina; adquiridos de un productor practicante de Buenas Prácticas Agrícolas, integrante de la Asociación PRONACUA en la comunidad de San Pablo Ixquiltlán, Mpio, de San Martín de las Pirámides, México ( $19^{\circ} 46' 20''$  LN,  $98^{\circ} 38' 48''$  LO, a 2300 m. s. n. m).

### 5.2.2. Preparación de los nopales verdura

Los nopales se homogeneizaron de tal manera que cada tratamiento contó con la misma cantidad de nopales de diferentes tamaños. Se lavaron con agua destilada estéril para eliminar restos de espinas. Se escurrieron por alrededor de una hora y se les eliminó el exceso de humedad con tela estéril dentro de un cuarto aséptico, posteriormente se flamearon en alcohol y cortaron en tiras de 1x1 a 1x5 cm con cuchillos de acero inoxidable estériles después se sumergieron en solución de 200 ppm de hipoclorito de sodio (pH 10), ácido ascórbico ( $10 \text{ g L}^{-1}$ , pH 3) y/o agua destilada estéril (pH 8) por dos minutos (en el caso de los nopales inoculados con *Salmonella*, se adicionó un testigo absoluto lavado con agua destilada estéril dos veces y sin inocular. Se dejaron orear por aproximadamente dos horas y nuevamente se retiró el exceso de humedad con tela estéril. Los tratamientos fueron: hipoclorito de sodio (200 ppm), ácido ascórbico (1%), agua destilada estéril y testigo absoluto (solo para *Salmonella*). Se pesaron, embolsaron e inocularon 50 y 100 g de nopal verdura troceado, para *Salmonella* y *E. coli*, respectivamente, con un total de 96 bolsas para los expuestos a  $19 \pm 2^\circ\text{C}$  y 136 para aquellos a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  por bacteria.

### 5.2.3. Cepas de *Salmonella sp* y *Escherichia coli*

Las cepas de *Salmonella* y *E. coli* fueron donadas por la Facultad de Medicina Fes Zaragoza de la Universidad Nacional de México (UNAM). La cepa de *Salmonella* se expuso cada vez a dosis dobles de Kanamicina + 0.1 % de ácido pirúvico (Kanamicin A SIGMA ALDRICH®) partiendo de  $12.5 \mu\text{g mL}^{-1}$  de caldo soya tripticasa (CST Bioxón®) cada 18 h a  $37^\circ\text{C}$  hasta una concentración de  $50 \mu\text{g mL}^{-1}$  de acuerdo con el método de Clement *et al.* (1990). *E. coli* no fue adaptada para crecer en presencia de Kanamicina.

### 5.2.4. Preparación del inóculo

*Salmonella sp*, adaptada a crecer en presencia de Kanamicina, se sembró por estría en placa en Agar Sulfito y Bismuto (Difco®) con  $50 \mu\text{g}$  de Kanamicina  $\text{mL}^{-1}$  de medio y *E. coli* en Agar Mac Conkey Sorbitol (Difco®). Ambas bacterias fueron incubadas a  $37^\circ\text{C}$  por 24 horas de manera separada y se transfirieron en condiciones asépticas a 10 mL de Caldo Soya Tripticasa (CST Bioxon®) en una punta estéril con capacidad de 200  $\mu\text{L}$ , tocando solo el borde de una colonia con ayuda de una micropipeta. El caldo inóculado se incubó por 4 h a  $37^\circ\text{C}$ , previa

realización de las curvas de crecimiento de *Salmonella* y *E. coli*. La suspensión de células de cada bacteria se centrifugo a a 2500 x g durante 15 minutos y se lavó dos veces con solución fosfatada buffer (pH 7) (FAO 1983; Strawn y Danyluk, 2010). La pastilla bacteriana quedó resuspendida un 10 mL de solución dicha solución.

#### **5.2.5. Concentración del inóculo**

Esta fase experimental se determinó sembrando por superficie de placa diluciones seriadas de  $10^1$ - $10^8$  del inóculo en el medio correspondiente a cada bacteria, Agar Sulfito y Bismuto (Difco®) para *Salmonella* y Agar Mac Conkey Sorbitol® para *E. coli*.

#### **5.2.6. Inoculación del nopal verdura**

Los nopales verdura desespinados, cortados y tratados fueron inoculadas con 50  $\mu$ L de *Salmonella spy* 43  $\mu$ L de *E. coli* en el interior de la bolsa estériles de polietileno (LabPlas®) con 15 perforaciones de 0.5 mm. Después de la inoculación éstas fueron selladas y almacenadas a  $4 \pm 2^\circ\text{C}$  y/o  $19 \pm 1^\circ\text{C}$ .

#### **5.2.7. Cuantificación de bacterias en nopal verdura troceado**

Las poblaciones de *Salmonella* y *E. coli* se evaluaron el día cero (inmediatamente después de la inoculación), uno, dos, tres, cuatro, cinco, seis y siete a  $19 \pm 1^\circ\text{C}$  (*Salmonella sp*) y  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  (*E. coli*) y los días cero, dos, cuatro, seis, ocho diez, 12, 14, 18 y 20 a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$ . Cada evaluación constó de tres repeticiones de 50 o 100 g de nopal verdura por tratamiento a cada condición térmica evaluada.

Por cada muestra (50 ó 100 g de nopal verdura desespinado, cortado y tratado) se adicionaron 100 o 200 mL de solución fosfatada buffer estéril y para ser homogeneizados en una licuadora Osterizer® durante un minuto, al interior de una cámara de flujo laminar. Se realizaron diluciones seriales de  $10^{-1}$  a  $10^{-4}$ , de los que se sembraron 0.1 mL por superficie de placa con ayuda de una varilla de vidrio en forma de L, en dos cajas por dilución por muestra. Para *Salmonella sp* se usó el medio Agar Sulfito y Bismuto Difco® adicionado con 50 $\mu$ g de Kanamicina mL<sup>-1</sup> a la cual previamente se le agregó 0.1% de ácido pirúvico para recuperación de

las células bacterianas de *Salmonella* (Knudsen *et al.*, 2001). Para *E. coli* se usó el medio de cultivo Agar Mac Conkey Sorbitol Difco®.

Todas las cajas sembradas se incubaron a 37°C por 48 h. Se contabilizaron aquellas colonias con morfología y características de *Salmonella* en Agar Sulfito y Bismuto (Difco®) y de *E. coli* en Agar MacConkey Sorbitol®.

### **5.2.8. Diseño experimental**

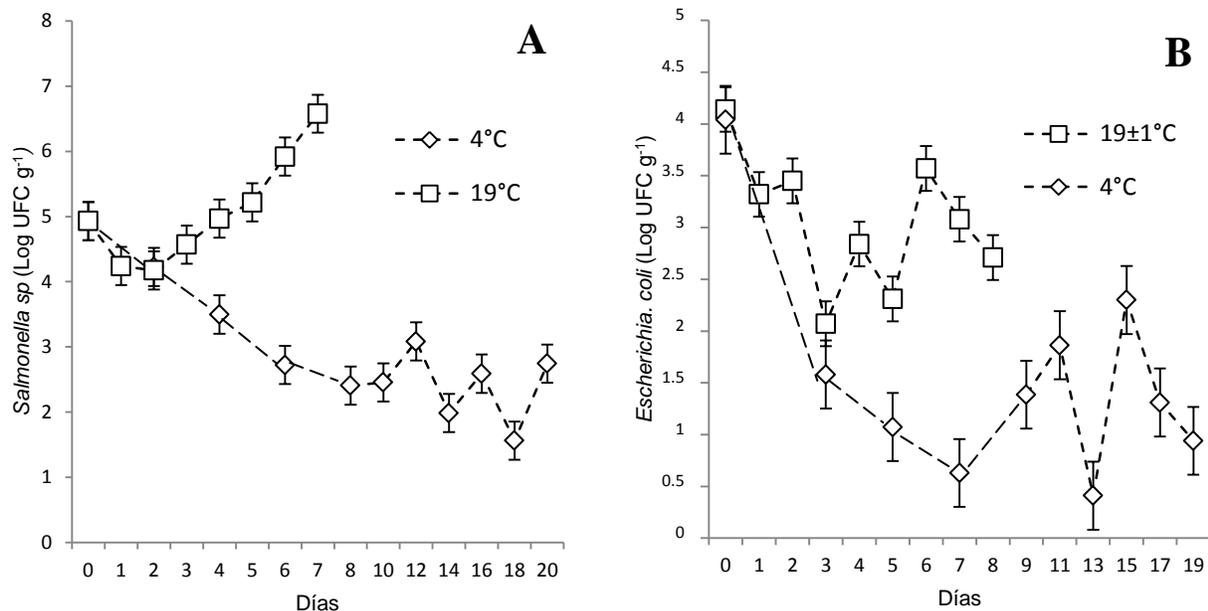
Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones por tratamiento, considerándose como unidad experimental una bolsa con 50 ó 100 g de nopal verdura desespinado y troceado. Los tratamientos consistieron de inmersiones en ácido ascórbico (10 g L<sup>-1</sup> de agua), cloro (200 ppm L<sup>-1</sup>) y agua destilada estéril por duplicado para tener un testigo inoculado y otro absoluto sin inóculo (excepto para *E. coli*) para cada temperatura y bacteria evaluada.

### **5.2.9. Análisis estadístico**

Se usó un análisis de varianza (ANOVA) y para la comparación de medias entre los tratamientos, la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) con ayuda del programa SAS (SAS for Windows versión 6.12).

## **5.3. Resultados y discusión**

*Salmonella sp* y *E. coli* sobrevivieron al almacenamiento refrigerado (4±2°C); sin embargo redujeron sus poblaciones en un promedio de 2.21 Log UFC g<sup>-1</sup> y de 2.76 UFC g<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 51a y 51b). Estos resultados coinciden con los datos por Chang y Fango (2007) y Alegre *et al.*, (2010), quienes indican disminuciones en la tasa de reproducción de *Salmonella* y *E. coli* O157:H7 en lechuga (*Lactuca sativa*) y manzana (*Malus domestica*) almacenadas en refrigeración a 4 y 5°C.



**Figura 51. a) Dinámica poblacional de *Salmonella sp* en almacenamiento refrigerado ( $4 \pm 2^\circ\text{C}$ ) y al ambiente ( $19 \pm 1^\circ\text{C}$ ). b) Dinámica poblacional de *E. coli*. en almacenamiento refrigerado ( $4 \pm 2^\circ\text{C}$ ) y al ambiente ( $24 \pm 2^\circ\text{C}$ ).**

Kauppi *et al.* (1996), Berbesi *et al.*, (2006) y Kondo *et al.* (2006) señalan que el crecimiento de las bacterias enteropatógenas está influido por la composición química, tipo de superficie (liso, con grietas, hidrofóbico, dentro o fuera de hojas) y temperatura de exposición del producto. En relación a lo anterior, Nedwell (1999) informa que, en microorganismos mesófilos se genera disfuncionalidad de la membrana plasmática y reducción de la afinidad al sustrato como consecuencia de la exposición a bajas temperaturas, pues se reduce el transporte de proteínas en las membranas debido a que los lípidos presentes en éstas pierden fluidez y el microorganismo es incapaz de tener acceso a la fuente de energía disponible cuando utiliza para tales fines el transporte activo, derivando en la muerte, lo que explicaría la disminución en las poblaciones de los dos patógenos evaluados a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  en el presente estudio.

A  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  *E. coli* exhibió menor grado de sobrevivencia que *Salmonella sp* en exposición a  $19 \pm 1^\circ\text{C}$ , pasando de 4.04 a 2.07 Log UFC g<sup>-1</sup> en tres días, para posteriormente incrementarse sin alcanzar los niveles iniciales; pero, los días dos y seis fueron estadísticamente iguales al día cero, las demás evaluaciones fueron significativamente inferiores ( $P \leq 0.05$ ).

Bensadón *et al.*, (2010) señalan que los cladodios de nopal verdura ‘Atlixco’ y ‘Milpa Alta’ son ricos en antioxidantes naturales; lo cual, al igual que la presencia de ácidos orgánicos, podría conferirles efectos antimicrobianos contra algunos microorganismos (Puupponen-Pimiä *et al.*, 2001; Wu *et al.*, 2008). Según Stintzing y Reinhold (2005), en general el nopal verdura está compuesto de ácido málico y oxálico; así mismo, de menores cantidades de ácido cítrico, malónico, succínico, tartárico, fórbico, piscidico y eucormico, dependiendo de la edad del cladodio.

‘Atlixco’ es una variedad de nopal verdura moderadamente ácida con un pH alrededor de 4 (Aguilar-Sánchez *et al.*, 2007), siendo el ácido el málico el predominante (Stintzing y Reinhold, 2005), del cual se ha demostrado efectividad en la disminución de poblaciones de *Lysteria monocytogenes*, *Salmonella* y *E. coli O157:H7* en manzana (*Malus domestica*), pera (*Pyrus communis* L.), melón (*C. melo* L.), lechuga (*L. sativa*) y espinaca (*Spinacia oleracea* L.) (Raybaudi-Massilia *et al.*, 2009; Choi *et al.*, 2012). Sin embargo, Raybaudi-Massilia *et al.* (2009) encontraron en jugos, que la efectividad de dicho ácido es alta a 35°C y variable dependiendo de la cantidad del ácido, de la bacteria (Gram negativa o Gram positiva) y la adaptación de ésta a la acidez, concordando con los resultados obtenidos en almacenamiento a 24±2°C en *E. coli*, la cual presentó disminuciones en sus poblaciones, en tanto *Salmonella sp* mostró aumentos.

Los resultados registrados a 4± 2°C y 24±2°C (Figura 51a y 51b) en las poblaciones de *E. coli* podrían reflejar, además, la citotoxicidad reportada por Háuad-Marroquín *et al.*, (2009) de extractos clorofórmicos y hexánicos provenientes nopal verdura *Nopalea cochinillifera* en la bacteria (disminuciones en la población de la bacteria de 37.63 % y 44.35%, respectivamente). Los extractos de nopal (*O. ficus indica*) también han sido empleados en el tratamiento de manzana (*P. malus*) y lechuga (*L. sativa*) mínimamente procesada almacenada a 4°C contra *Staphylococcus aureus* durante el almacenamiento a 4°C y 21°C (Seo *et al.*, 2011).

Háuad-Marroquín *et al.* (2009) observaron efectos poco significativos en *Salmonella*, de los extractos de nopal verdura (*N. cochinillifera*), coincidiendo con los resultados obtenidos en almacenamiento de 19±1°C para la misma bacteria (Figura 51b), pues las poblaciones de ésta se redujeron significativamente ( $P \leq 0.05$ ) los primeros dos días de almacenamiento (hasta 0.69 UFC g<sup>-1</sup>) pero, después se incrementaron gradualmente, hasta niveles significativamente ( $P \leq 0.05$ )

mayores a los del día cero (6.58Log UFC g<sup>-1</sup>). Posiblemente, la cepa de *Salmonella sp* adquirió tolerancia al pH del nopal (alrededor de 4), ó quizás, las concentraciones de ácido málico en nopal verdura disminuyeron a niveles insuficientes para lograr efectos sobre dicha bacteria (Raybaudi-Massilia *et al.*, 2009).

Gómez-Flores *et al.* (2006) atribuyeron los efectos antimicrobianos de los extractos hexánicos y clorofórmicos de *Nopalea cochenillifera* sobre *E. coli*, *S. typhimurium* y *C. albicans* a la presencia de flavonoides y taninos. Cai *et al.* (2010) extrajeron e identificaron de la piel de nopal verdura (*O. ficus indica* ‘Milpa Alta’) los flavonoides Isorhamnetin3-O-(2, 6-dirhamnosyl) glucoside y Isorhamnetin 3-O-D-rutinoside; éste último con actividad antimicrobiana (Agnese *et al.*, 2001).

En cuanto a la presencia de taninos en *O. ficus indica*, Bensadón *et al.*, (2010) analizó muestras de nopal verdura ‘Atlixco’ y ‘Milpa Alta’ y no detectó tanino alguno (protociandrininas y taninos hidrolizables), difiriendo de Hernández-Castillo *et al.*, (2011), quienes reportan un total de 30.177 mg g<sup>-1</sup>. De acuerdo con Kolodziej *et al.*, (2003), los taninos pueden presentar una alta o moderada actividad antimicrobiana y, según Scalbert *et al.*, (1991), éstos pueden impedir la fosforilación oxidativa y/o afectar a las enzimas.

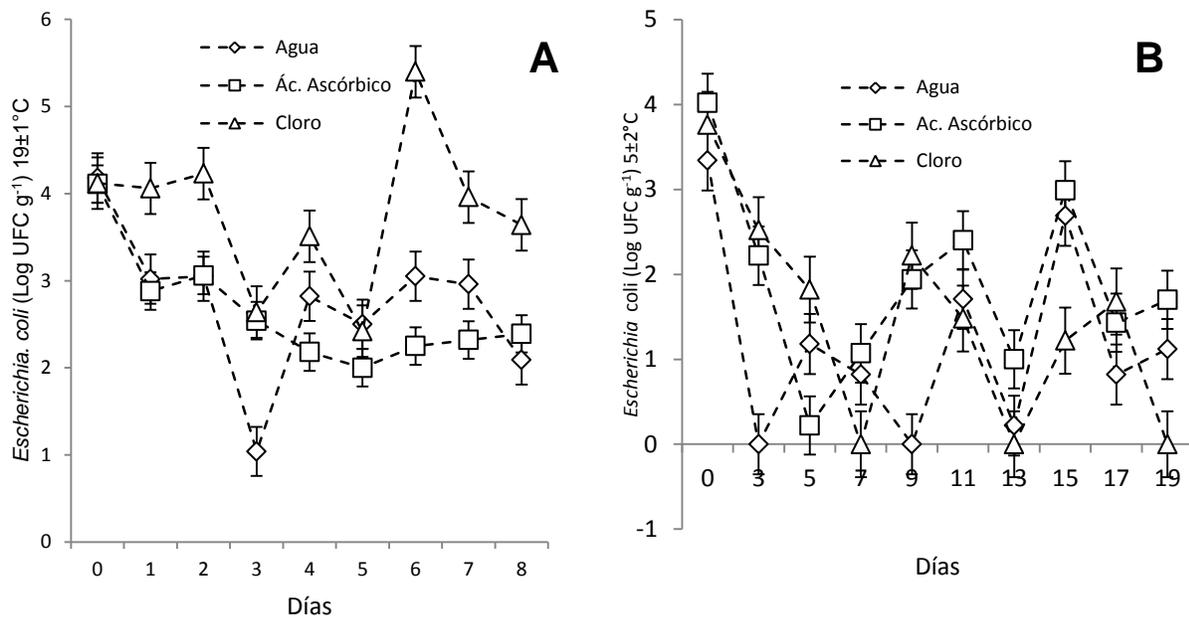
Santana *et al.*, (2009) atribuyeron a lectinas, presentes en nopal verdura (*O. ficus indica*), efectos antimicrobianos y, Martínez (2011) indica la presencia de ácidos fenólicos en nopal verdura *O. ficus indica* ‘Atlixco’ como el gálico, protocatéquico, 4-hidroxibenzoico, cafeico, felúrico, clorogénico, siríngico, p-coumarico, sinápiteco, 4-hidroxibenzaldehído, epicatequina y quercitina, algunos de los cuales se sabe tienen efectos antimicrobianos, tal es el caso del ácido clorogénico sobre *E. coli* (Puupponen-Pimiä *et al.*, 2001), el ácido hidroxibenzoico, que debido a su baja polaridad es capaz de introducirse al citoplasma de la bacteria ejerciendo un efecto antibacterial (Campos *et al.*, 2003; Puupponen-Pimiä *et al.*, 2005). Se ha reportado actividad bactericida de los ácidos 3 coumarico, cafeico, felurico y clorogénico contra bacterias Gram negativas (Puupponen –Pimiä *et al.*, 2005), sin embargo Martínez (2011) indica que los ácidos fenólicos de mayores concentraciones en nopal verdura (*O. ficus indica* ‘Atlixco’) fueron el ácido cafeico y protocatequico.

De acuerdo con Herald y Davison (1983), los ácidos hidroxicinámicos (cafeico, *p*-coumarico y felúrico) a un pH alto disminuyen su efecto contra bacterias como *E. coli* y *S. aureus*. Se ha observado que el ácido clorogénico muestra actividad contra *Listeria monocytogenes* únicamente a un pH de 6.5 (Wen *et al.*, 2003). De la misma manera, Herald y Davison (1983) reportan que los ácidos cafeico y *p*-coumarico exhibieron sobre *Salmonella* y *E. coli* mayor efecto bactericida a pH de 5 que de 7.

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, los resultados observados sobre *E. coli* en nopal verdura (*O. ficus indica* ‘Atlixco’) almacenado a  $4 \pm 2^\circ\text{C}$  y  $19 \pm 2^\circ\text{C}$ , podría deberse al ácido málico y a los compuestos químicos presentes en el nopal, tales como los compuestos fenólicos (flavonoides, taninos y ácidos fenólicos), otros ácidos orgánicos y a lectinas (Gómez-Flores *et al.*, 2006; Herald y Davison, 1983; Castillo-Hernández *et al.*, 2011; Puupponen-Pimiä *et al.*, 2001, Raybaudi-Massilia *et al.*, 2009; Santana *et al.*, 2009), los que podrían estar a bajas concentraciones en nopal verdura fresco, no afectando a  $19 \pm 1^\circ\text{C}$  la reproducción de *Salmonella sp* y un poco a *E. coli* a la misma temperatura.

### **5.3.1. *Escherichia coli***

En almacenamiento a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  (Figura 52a), el tratamiento con cloro fue significativamente mayor ( $P \leq 0.05$ ) al resto de los tratamientos en cuanto al número de colonias de *E. coli* los días 1, 2, 6, 7 y 8, difiriendo de Yuk y Scheneider (2006), quienes registraron disminuciones cercanas a  $2 \text{ Log g}^{-1}$  en la desinfección de calabaza (*C. pepo*) tratada con agua clorada por 60 y 120 s y, de Luo *et al.*, (2011) al informar de reducciones en poblaciones de *E. coli* por  $3.6 \text{ log g}^{-1}$  en manzana mínimamente procesada con aplicaciones de  $300 \text{ ppm L}^{-1}$  de cloro.



**Figura 52. Dinámica poblacional de *E. coli*. a) Almacenamiento al ambiente 24±2°C. b) Almacenamiento refrigerado a 4±2°C.**

Posiblemente, al exponer las muestras a un almacenamiento con luz, el cloro aplicado como tratamiento sufrió degradación (Rojas y Guevara, 2000) y, quizá en consecuencia, reaccionó negativamente con los compuestos expulsados de la superficie de las heridas de nopal, alterando los efectos antibacterianos de compuestos fenólicos, flavonoides, ácidos orgánicos y otros compuestos (Guevara-Figueroa *et al.*, 2010; Stintzing y Reinhold 2005; Puupponen-Pimiä *et al.*, 2001), y/o el mucilago excretado por las heridas del nopal verdura durante el lavado pudo inactivar el efecto biocida del cloro, pues según Ruíz-Cruz *et al.* (2007), la desinfección con cloro es afectada por la materia orgánica y el testigo (agua destilada estéril inoculado) exhibió menores tasas de multiplicación de *E. coli* a la misma temperatura de almacenamiento que el tratamiento con cloro.

No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de agua destilada estéril y ácido ascórbico a 24± 2°C en la tasa de reproducción de *E. coli*. Lee y Baek (2008) en espinaca (*S. oleracea*) reportaron que *E. coli* O157:H7 registró reducciones cuando el producto fue tratado solamente con agua; lo anterior podría implicar que el tratamiento de ácido ascórbico tuvo poco o casi nulo efecto inhibitorio sobre la población de *E. coli* en nopal verdura (*O. ficus indica*) y

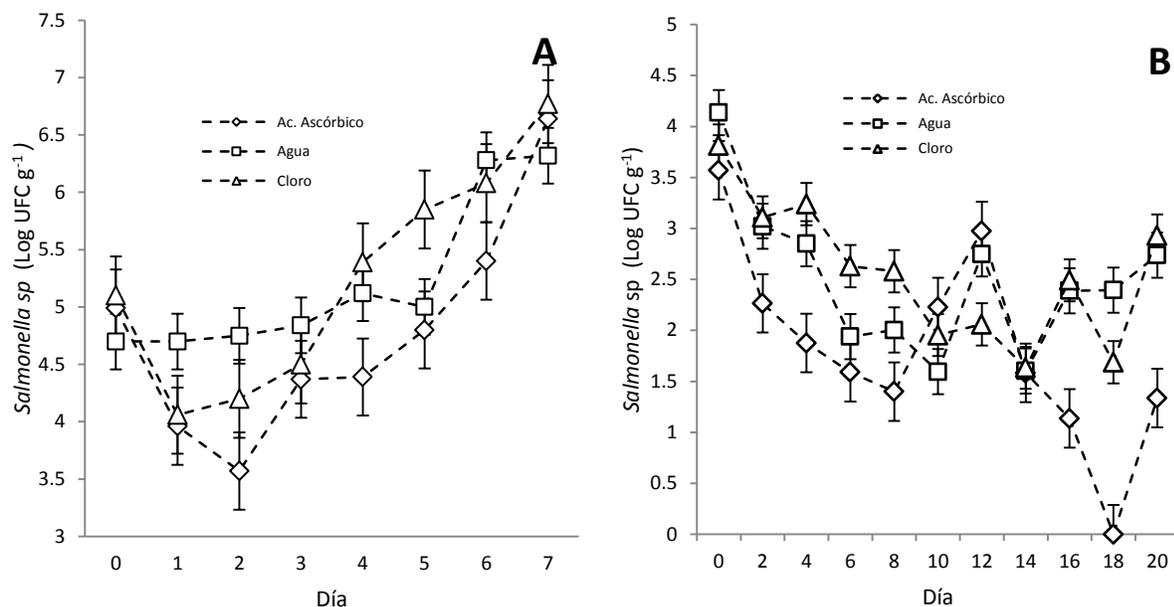
que no resulta en una opción a las concentraciones aplicadas como desinfectante en el control de la bacteria a altas temperaturas.

En el almacenamiento refrigerado ( $4 \pm 2^\circ\text{C}$ ) las poblaciones de *E. coli* fueron estadísticamente iguales. No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos (agua destilada estéril, cloro 200 ppm y ácido ascórbico  $10 \text{ g L}^{-1}$ ) en almacenamiento refrigerado para las poblaciones de *E. coli* (Figura 35b). La aplicación de ácido ascórbico y/o cloro en nopal verdura mínimamente procesado no tuvo un efecto significativo en la reducción de la bacteria comparativamente con el tratamiento de agua destilada estéril en almacenamiento refrigerado ( $4 \pm 2^\circ\text{C}$ ), concordando con Ölmez (2010) señala que en lechuga (*L. sativa*) no se encontraron disminuciones significativas de *E. coli* con el tratamiento de agua destilada comparación con el resto de los tratamientos evaluados (100 ppm de cloro, ácido cítrico + ácido ascórbico y, ozono burbujeante). Por su parte, Alegre *et al.* (2010) no registraron diferencias significativas en el aumento de colonias de *E. coli*, *Salmonella* y *Listeria innocua* en almacenamiento a  $5^\circ\text{C}$  entre los duraznos sin tratar y aquellos tratados con ácido ascórbico, similar a lo reportado por Raybaudi-Massilia *et al.* (2009), en jugo de manzana, pera y melón, refrigerado ( $5^\circ\text{C}$ ) por cinco días sin la aplicación de ácido ascórbico.

Los resultados obtenidos, por tanto podrían ser efecto de las bajas temperaturas sobre la membrana celular de la bacteria (Nedwell, 1999).

### **5.3.2. *Salmonella sp***

La población de *Salmonella sp* aumentó en todos los tratamientos almacenados a  $19 \pm 1^\circ\text{C}$ , mientras que en refrigeración ( $4 \pm 2^\circ\text{C}$ ) se observa lo contrario (Figura 53a y Figura 53b). Resultados similares fueron encontrados en tomate (*Lycopersicon esculentum*) y col roja (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra*) mínimamente procesada; cilantro (*Coriandrum sativum* L.) y papaya (*Caryca papaya*) cortada-fresca (Zhuang *et al.*, 1995; Piagentini *et al.*, 1997; Serna *et al.*, 2010; Strawn y Danyluk, 2010). Bronikowski *et al.* (2001) indican que los serovares de *Salmonella* tienen un rango de temperatura óptima y a medida que la temperatura disminuye se reduce su tasa de reproducción, concordando con los resultados obtenidos y con Nedwell (1999).



**Figura 53. Dinámica de poblacional de *Salmonella sp.* a) Almacenamiento a 19±1°C. b) Almacenamiento a 4±2°C.**

El tratamiento de ácido ascórbico exhibió ( $P \leq 0.05$ ) el menor número de UFC del día 1-4 a 19±1°C, mientras que en el resto de las evaluaciones mostró menores cantidades de la bacteria respecto a los demás tratamientos (Figura 53a). A 4±2°C el mismo tratamiento ostentó significativamente ( $P \leq 0.05$ ) menores concentraciones de *Salmonella sp.*, los días 0, 4 y 6, (Figura 53b) y a manera de tendencia hasta el día ocho, tal vez consecuencia de un pH bajo en la superficie de nopal tratado, pues la solución de ácido ascórbico antes y después del tratamiento indicó un pH de 3, inferior al pH límite de crecimiento para *Salmonella* (4.5), donde a causa de ello podrían ocurrir disfunciones o menor actividad de la membrana celular y enzimas (Doores, 1993), como resultado de la acidificación del pH interno, pues la disociación en los ácidos orgánicos les permite atravesar la membrana celular (Puupponen-Pimiä *et al.*, 2005).

En Chile campana (*C. annuum*) y calabacita (*Curcubita pepo*), Yuk y Scheneider (2006) notaron una mayor efectividad en la reducción de *Salmonella*. Fujimoto *et al.*, (2006) reportan que el ácido ascórbico puede presentar un efecto sinérgico contra *E. coli O157:H7*, al igual que Giannuzi y Zaritzky (1996), quienes en refrigeración a bajo pH notaron el mismo efecto. Berger y Gallety (2007) señalan el uso del ácido ascórbico como desinfectante en el país de Chile, procedente de semilla y pulpa de pomelo (*Citrus paradisi*) con la aplicación de ácido ascórbico.

En tanto Brecht (1995) informa que el ácido ascórbico solo es efectivo en el control de algunos microorganismos, lo que explicaría la presencia los hongos *Fusarium sp*, *Alternaria sp* y *Pseudocercospora sp* en los análisis de muestras refrigeradas ( $4\pm 2^{\circ}\text{C}$ ), coincidiendo con Van der Wolf *et al.* (2008), quienes señalan que a una concentración al 5% de ácido ascórbico se controló el 99% de las poblaciones de *Xanthomonas campestris* pv *campestris* y *Clavibacter michiganensi* subsp *michiganensis*, pero no de los hongos *Alternaria dauci* y de *Botrytis aclada* en semillas de col (*Brassica oleraea*) Los mismos autores señalan que a una concentración de 2.5% o más, los ácidos orgánicos, incluido el ácido ascórbico, disminuyeron las poblaciones de las bacterias *Xanthomonas campestris* pv *campestris* y *Clavibacter michiganensis* subsp *michiganensis* en semillas de col (*B. oleracea*).

Por otra parte, el incremento en las poblaciones de *Salmonella sp* del día 10 al 12 en los nopales tratados con ácido ascórbico sometidos a refrigeración ( $4\pm 2^{\circ}\text{C}$ ) podría ser causa la producción de toxinas en el medio de cultivo por parte de los hongos *Fusarium sp*, y *Alternaria sp*, pues se ha reportado que ambos producen micotocinas, entre las que se encuentra las naftoquinonas producidas por *Fusarium sp* y que son nocivas a bacterias, hongos y plantas vasculares, por la inhibición de la enzima tiamin pirofosfato responsable de la descarboxilación anaérobica del pirúvato (Franco-Navarro y Zavaleta-Mejía 2001) y, el ácido tenuazínico sintetizado por *Alternaria sp*, el cual es una micotoxina, fitotoxina, antitumoral y antibiótico; ligado a padecimiento humanos (Davis *et al.*, 1977).

El tratamiento con cloro mostró significativamente ( $P\geq 0.05$ ) menor número de colonias de *Salmonella sp* junto con el tratamiento de ácido ascórbico los días 1 y 3 a  $19\pm 1^{\circ}\text{C}$ . A  $4\pm 2^{\circ}\text{C}$  tendió a las mayores poblaciones del día cero al ocho, con valores por debajo del conteo inicial. Al respecto, se ha reportado que el cloro tiene efectos variables en la disminución de la carga microbiana y, que su eficacia está en función del producto tratado y, por tanto no siempre es exitosa (Weissinger *et al.*, 2000; Behrsing *et al.*, 2000). Yuk *et al.* (2006) señala disminuciones de *Salmonella* 3 Log con la aplicación de cloro en chile campana (*C. annum*) y, Weissinger *et al.*, (2000) indican mayores reducciones de *Salmonella* en tomate (*L. esculentum*) que en lechuga (*Lactuca sativa*). De acuerdo con Berger y Gallette (2007), la aplicación de cloro debe ser realizada en un producto ya lavado y posteriormente se debe emplear el ácido ascórbico para complementar la desinfección. En cuanto al crecimiento de hongos en las cajas petri, estos

fueron aparentemente menores en comparación con el ácido ascórbico, implicando un mejor control en las esporas de los hongos, pero no del todo efectivo.

Las poblaciones de *Salmonella* crecieron lentamente en el tratamiento con agua a  $19\pm 1^{\circ}\text{C}$  hasta el día 5 y, a  $4\pm 2^{\circ}\text{C}$  hasta el día 18, implicando algunas propiedades bactericidas en nopal debido a su composición química, ya señaladas anteriormente.

#### 5.4. Conclusiones

*Salmonella sp* y *E. coli* sobrevivieron en nopal (*O. ficus indica* 'Atlixco') mínimamente procesado empacado, tanto a  $4\pm 2^{\circ}\text{C}$  como a  $19\pm 1^{\circ}\text{C}$  y/o  $24 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , después de siete y 20 días de almacenamiento previa aplicación de cloro (200 ppm), ácido ascórbico o agua destilada estéril.

La aplicación de cloro o ácido ascórbico en nopal verdura (*O. ficus indica* 'Atlixco') mínimamente procesado mostró nulo o poco efecto en la sobrevivencia o reducciones de las poblaciones de *Salmonella sp* y *E. coli* en las condiciones térmicas evaluadas.

#### 5.5. Literatura citada

- Agnese A. M., C. Pérez, J. L. Cabrera. 2001. *Adesmia aegilceras*: antimicrobial activity and chemical study. *Phytomedicine*, 8:389-394.
- Aguilar-Sánchez, L.; M. T. Martínez-Damián; A. F. Barrientos-Priego; N. Aguilar-Gallegos and C. Gallegos-Vásquez. 2007. Potencial de oscurecimiento enzimático de variedades de nopales. *J. PACD* 165-183.
- Akbas M. Y. and H. Hölmez. 2007. Inactivation of *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes* on iceberg lettuce by dip wash treatments with organic acids. *Letters in applied Microbiology* 44:619-624.
- Akiyama H., Fujii K. Yamasaki O, Oono T., Iwatsuki. 2001. Antibacterial action of several tannins against *Staphylococcus aureus*. *J. Antimicrob Chemother* 48:487-491.
- Alberto Mr, Faria ME, Manaca de Nadra MC. 2001. Effect of gallic acid and catechin on *Lactobacillus hilgardii* 5w growth and metabolism of organic compounds. *J Agric Food Chem* 49:4359-43-63.

- Alegre I., M. Abdías, M. Anguera, J. Usall and I. Viñas. 2010. Fate of *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* and *Listeria innocua* on minimally-processed peaches under different storage conditions. *Food Microbiology* 27:862-868.
- Alexandre E. M. C., T. R. S. Brandao and C. L. M. Silva. 2012. Efficacy of non-thermal technologies and sanitizer solutions on microbial load reduction and quality retention of strawberries. *Journal of Food Engineering* 108:417-426.
- Allende A., J. MacEvoy, Y. Tao and Y. Luo. 2009. Antimicrobial effect of acidified sodium chlorite, sodium chlorite, sodium hypochlorite, and citric acid on *E. coli* O157:H7 and natural microflora on fresh-cut cilantro. *Food Control* 20(3):230-234.
- Allende, A., MV. Selma, F. López-Gálvez, R. Villaescusa and M.I Gil. 2008. Role of commercial sanitizers and washing systems on epiphytic microorganisms and sensory quality of fresh cut escarole and lettuce. *Postharvest Biology and Technology* 49:155-163)
- Baur S., R. Klaiber, H. Wei, W. P. Hammes and R. Carle. 2005. Effect of temperature and chlorination of pre-washing water on shelf-life and physiological properties of ready-to-use iceberg lettuce. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 6:171-182.
- Behrsing J., S. Winkler; P. Franz and R. Premier. 2000. Efficacy of chlorine for inactivation of *E. coli* on vegetables. *Postharvest Biology and Technology* 19:187-192.
- Bensadón S., D. Hervert-Hernández, S. G. Ságuayo-Ayerdi and I. Soñi. 2010. By-Products of *Opuntia ficusindica* as a Source of Antioxidant Dietary Fiber. *Plant Foods Human Nutrition* 65:210-216.
- Berbesi M. E., R. V. Díaz, L. V. Guevara y M. S. Tapia. 2006. Calidad higiénica y patógenos asociados con melones mínimamente procesados expendidos en supermercados. I Simposio Ibero-Americano de vegetales frescos cortados. San Pedro Brazil. 47-54.
- Berger H. y L. Galletty. 2007. Procedimientos utilizados en investigación para lograr inocuidad en vegetales frescos cortados. *Mundo alimento*. info@mundoalimento junio 2011.
- Beuchat L. R. 1998. Surface decontamination of fruits and vegetables eaten raw: a review, Food Safety Unit, World Health Organization, WHO/FSF/98.2 pp 42.
- Beuchat L. R. 2002. Ecological factors influencing survival and growth of human pathogens on raw fruits and vegetables. *Microbes and infection* 4:413-423.
- Beuchat, L. R. 2002. Ecological factors influencing survival and growth of human pathogens on raw fruits and vegetables. *Microbes and Infection* 4:413-423.

- Beuchat, L. R. and J. H. Ryu. 1997. Produce handling and processing practices. *Emerging Infection Diseases* 3, 10.
- Brackett R. E. 1999. Incidence, contributing factors, and control of bacterial pathogens in produce. *Postharvest B. and Tech.* 15:305-3011.
- Bronikowski A.M., A. F. Bennett and R. E. Lenski. 2001. Evolutionary adaptation to temperature. VIII. Effects of temperature on growth rate in natural isolates of *Escherichia coli* and *Salmonella enteric* from different thermal environments. *Evolution* 55(1):33-40.
- Cai W., X. Gu and J. Tang. 2010. Extraction Purification, and Characterization of the Flavonoides from *Opuntia Milpa Alta* skin. *Czech J. Food Sci.* 2:108-116.
- Campos F M, J. A. Couto, T. A. Hogg. 2003 Influence of phenolic acids on growth and inactivation of *Oenococcus oeni* and *Lactobacillus hilgardii*. *J. Applied Microbiology* 94:167-174.
- Chang y Fang .2007. Survival of *Escherichia coli O157:H7* and *Salmonella enterica* serovars *typhimurium* in iceberg lettuce and the antimicrobial effect of rice vinegar against *E. coli O157:H7*. *Food Microbiology* 24(7-8): 745-751.
- Choi M-R., S-Y Lee, K-H. Park, M-S. Chung and S.R. Ryu. 2012. Effect of aerosolized malic acid against *Listeria monocytogenes*, *Salmonella Typhimurium*, and *Escherichia coli O157:H7* on spinach and lettuce. *Food Control* 24:171-176.
- Clement Z., K. Rudolph, D. C. Sands. 1990. *Methods in Phytopathology*. Akademiai, Kiado. Budapest. Hungary. Pp. 98-99.
- Corbo M. R., A. Bevilacqua, D. Campaniello, D. D'Amato, B. Speranza and M. Sinigaglia. 2009. Prolonging microbial shelf life of foods through the use of natural compounds and non-thermal approaches- a review. 2009. *International Journal of Food Science and Technology*. 44:223-241.
- COT. 2007. Committee on toxicity of chemicals in food. Consumer Products and the Environment. COT statement on a survey investigating disinfection by products in prepared salads. <http://www.food.gov.uk/multimedia/pdfs/cotstatementwashaid200614.pdf>.
- Cowan, M. M. (1999). Plant products as antimicrobial agents. *Clinical Microbiology Review*, Vol. 12, No. 4, (October 1999), pp. (564-582), ISSN: 1098-6618

- Das, E; G. G. Candan and A. Bayindirli. 2006. Effect of controlled atmosphere storage, modified atmosphere packaging and gaseous ozone treatment on survival of *Salmonella enteritidis* on cherry tomatoes. *Food Microbiology* 23: 430-438.
- Davis, N. D., U. L. Diener and G. Morgan-Jones. 1977. Tenuazoic acid production by *Alternaria alternata* and *Alternaria tenuissima* isolated from cotton. *Applied and Environmental Microbiology*. Pp 155-157.
- Derrickson-Tharrington; P., A Kendall and J. N. Sofos. 2005. Inactivation of *E. coli O157:H7* during storage or drying of apple slices pretreated with acidic solutions. *International Journal Food Microbiology* 99:79-89.
- DiPersio P. A., P. A. Kendall, M. Calicioglu, J. N. Sofos. 2003. Inactivation of *Salmonella* during drying and storage of apples slices treated with acidic or sodium metabisulfite solutions. *J. Food Prot* 66:2245-2251.
- Doores S., 1993. Organic acids. In: Davison PM, Branen AL (Eds) *Antimicrobials in foods*, 2<sup>nd</sup> edn. Marcel Dekker, New York, pp95-136.
- Hernández Castillo, F. D., F. Castillo Reyes, G. Gallegos Morales, R. Rodríguez Herrera and C. N. Aguilar (2011). *Plant Extracts from Mexican Native Species: An Alternative for Control of Plant Pathogens*, *Research in Organic Farming*, Dr. Raumjit Nokkoul (Ed.), ISBN: 978-953-307-381-1, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/research-in-organic-farming/plant-extracts-from-mexican-native-species-an-alternative-for-control-of-plant-pathogens>
- Franco-Navarro F. y E. Zavaleta-Mejía. 2001. Estado actual del conocimiento del modo de acción de las toxinas no selectivas. *Revista mexicana de fitopatología*, 19(2):237-244 .
- Fujimoto, T., Y. Tsuchiya, M. Terao., K. Nakamura, M. Yamamot. 2006. Antibacterial effects of chitosan solution against *Legionella pneumophila*, *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *International Journal of Food Microbiology*, 112:96-101.
- Giannuzo, L. and N. E. Zaritzky. 1996. Effect of ascorbic acid in comparison to citric and lactic acid on *Listeria monocytogenes* inhibition at refrigeration temperatures. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie (LWT)* 29:278-285.
- Gil M. I. M. V. Selma, F. López-Gálvez and A. Allende. 2009. Fresh-cut products sanitization and wash water disinfection: problems and solutions. *International Journal of Food Microbiology*. 134:37-45.

- Gillian A. F. and D. O'Beirne. 2002. Effects of vegetable type and antimicrobial dipping on survival and growth of *Listeria innocua* and *E. coli*. *International Journal of Food and Technology*. 37:711-718.
- Gómez-Flores, R., P. Tamez-Guerrea, R. Tamez-Guerra, C. Rodríguez-Padilla, E. Monreal-Cuevas, L. A. Haúad-Marroquín, C. J. Córdova-Puente, A. Rangel-Llanas. 2006. In vitro antibacterial and antifungal activities of *Nopalea cochenillifera* pads extracts. *American Journal of Infectious Diseases* 2(1).
- Guevara-Figueroa T; H. Jiménez-Islas, M. L. Reyes-Escogido; A. G. Mortensen, B. B. Laursen; LW Lin; A. d L. Rodríguez; I. S. Fomsgaard and A. P. Barba.2010. Proximate composition, phenolic acids, and flavonoids characterization of commercial and wild nopal (*Opuntia spp*). *Journal of Food Composition and Analysis* 23(2010): 525-532.
- Háuad-Marroquín L. A., C. Córdoba Puente, A. Rangel-Llanas, S. García-González, y L. R. González. 2009. Evaluación de los efectos del extracto de *Nopalea cochenillifera*, en la actividad antimicrobiana in vitro. VII Simposium Taller Producción y Aprovechamiento del Nopal en el Noreste de México. *Revista de Salud Pública y Nutrición* 2:123-134.
- Herald P.J., Davidson PM 1983. Antibacterial activity of selected hydroxycinnamic acids. *J Food Sci* 48:1378-1379).
- Hernández-A. A. M.; P. Landa-S.; G. Mora-A.; C. A. Eslava-C.; J. E. Call; A. C. S. Porto-Fett and J. B. Luchansky. 2009. Characterization of *Salmonella* from nopal leaves and associated soil and water samples in Morelos, México. Abstracts of the Annual Meeting of the International for Food Protection. 37:74-75.
- Heaton J. C. and K. Jones. 2008. Microbial contamination of fruit and vegetables and the behavior of enteropathogens in the phyllosphere: a review. *Journal of Applied Microbiology* 104:613-626.
- Kappa K. L., S. R. Tatiana, F. Harrell and P. Fang 1996 Influence of substrate and low temperature on growth and survival of verotoxigenic *Escherichia coli* *Food Microbiology* 13:397-405).
- Knudsen, D. M., S. A. Yamamoto, J. L. Harris. 2001. Survival of *Salmonella spp* and *Escherichia coli O 157:H7* on fresh and frozen strawberries. *J. Food Prot.* 64:1483-1488.
- Kolodziej H., O. Kayser, K. P. Latte. 2003. Evaluation of the antimicrobial potency of tannins and related compounds using the microdilution broth method. *Planta Medica* 65:444-446.

- Kondo M., M. Murata, K. Isshiki, Efficiency of sodium hypochlorite fumaric acid and mild head in killing native microflora and *E. coli O157:H7*, *Salmonella typhimurium* DT104 and *Staphylococcus aureus* attached to fres-cut lettuce. Journal of Food Protection 69:323-329).
- Landa S. P., A. M. Hernández A., J. Corrales G., G. Mora A., C. Chaidez Q. 2009. Sobrevivencia de *Salmonellatyphimurium* en melón ‘Cantaulupe’ durante almacenamiento refrigerado en atmósferas modificadas. Rev. Fitotecnia Mexicana 32(3):209-215.
- Lee S.Y. and S. Y. Baek. 2008. Effect of chemical sanitizer combined with modified atmosphere packaging on inhibiting *Escherichia coli O157:H7* in commercial spinach. Food Microbiology 25:582-587.
- López-Gálvez F., A. Allende, P. Truchado, A. Martínez-Sánchez, J A Tudela, M. V. Selma and A. I. Gil. 2009. Suitability of aqueous chlorine dioxide versus sodium hypochlorite as an effective sanitizer for preserving quality of fresh-cut lettuce while avoiding by-product formation. Postharvest Biology and Technology 55:53-60.
- Luo Y., S. Lu, B. Zhou and H. Feng. 2011. Dual effectiveness of sodium chlorite for enzymatic browning inhibition and microbial inactivation on fresh-cut apples. Food Science and Technology 44:1621-1625.
- Martínez M., T. O. 2012. Calidad sanitaria en la producción de nopal verdura (*Opuntia ficus indica*) en Otumba, México. Tesis de Doctorado. Entomología y Acarología. Colegio de Postgraduados.
- Morales-Hernández L., A. M. Hernández-Anguiano, C. Chaidez-Quiroz, G. Rendón-Sánchez y T. Suslow. 2009. Detección de *Salmonella* spp en melón Cantaloupe en unidades de producción y unidad de empaque. Agricultura técnica en México 35(2).
- Nedwell, D. B. 1999. Effect of low temperature on microbial growth: lowered affinity for substrates limits growth at low temperature. FEMS Microbiology Ecology. 30:101-111.
- Ölmez H. 2010. Effect of different sanitizing methods and incubation time and temperature on inactivation of *Escherichia coli* on lettuce. Journal Food Safety 30:288-299.
- Parnell L. T., L. J. Harris, T. V. Suslow. 2005. Reducing *Salmonella* on cantaloupes and honeydew melons using wash practices applicable to postharvest handling, foodservice, and consumer preparation. International Journal of Food Microbiology. 99:59-70.

- Piagentini A. M., M. E. Pirovani, D. R. Güemes, J. H. Di Pentima and M. Tessi. 1997. Survival and growth of *Salmonella hadar* on minimally processed cabbage as influenced by storage abuse conditions. *Journal of Food Science*. 62(3):616-619.
- Pirovani M. E., D. R. Güemes, J. H. Di Pentima and M. A. Tessi. 2000. Survival of *Salmonella hadar* after washing disinfection of minimally processed spinach. *Letters in Applied Microbiology* 31:143-148.
- Pirovani M. E., D. R. Güemes, J. H. Di Pentima and M. A. Tessi. 2000. Survival of *Salmonella hadar* after washing disinfection of minimally processed spinach. *Letters in Applied Microbiology*. 31: 143-148.
- Puupponen-Pimiä, L. Nohynek, H. L. Alakomi and K M Oksman-Caldentey, 2005. Bioactive berry compounds-novel tools against human pathogens. *Appl Microbiol Biotechnol* 67:8-18.
- Puupponen-Pimiä, R. Nohynek, L. Meier, C. Kähkönen, M. Heinonen, M. Hopia, A. *et al.*, 2011. Antimicrobial properties of phenolic compounds from finish berries. *Journal Applied Microbiology* 90: 494-507.
- Quevedo-Preciado, K. L.; M. A. Villegas-Ochoa; H. González-Ríos y A. Rodríguez-Félix. 2005. Calidad de nopal verdura mínimamente procesado, efecto de temperatura e inhibidores de oscurecimiento. *Revista Fitotecnia* 28(3): 261-270.
- Raybaudi-Massilia R. M., J. Mosqueda-Melgar and O. Martín-Belloso. 2009. Antimicrobial activity of malic acid against *Listeria monocytogenes*, *Salmonella Enteritidis* and *Escherichia coli O157:H7* in Apple, pear and melon juices. *Food control* 20:105-112.
- Rodgers S. L., J. N Cash, M Siddiq and E. T. Ryser. 2004. A comparison of different chemicals sanitizers for inactivating *Escherichia coli O157:H7* and *Listeria monocytogenes* in solution and on apples, lettuce, strawberries, and cantaloupe. *J. Food Protection* 67:721-731.
- Rojas R. V. y S. Guevara V. 2000. Estabilidad de la solución de hipoclorito de sodio producido in situ. Lima, Perú. Pp. 20. En línea <http://www.svsde.paho.org/tecapro/documentos/agua/iEstabilidad.pdf> consulta 14-14-2012.
- Ruíz-Cruz S., E. Acedo-Félix, M. Díaz-Cinco, M. A. Islas-Osuna, G. A. González-Aguilar. 2007. Efficacy of sanitizers in reducing *Escherichia coli O157:H7*, *Salmonella spp.* and *Listeria monocytogenes* population on fresh-cut carrots. *Food Control* 18:1383-1390.

- Ruíz-Cruz S., E. Acedo-Félix, M. Díaz-Cinco, M. A. Islas-Osuna, G. A. González-Aguilar. 2007. Efficacy of sanitizers in reducing *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* spp and *Listeria monocytogenes* population on fresh-cut carrots. *Food Control* 18:1383-1390.
- Scalbert A. 1991. Antimicrobial properties of tannins. *Phytochemistry* 30:3875-3883.
- Seo Y-H., S-Y.Kim, J-S Cho, D-H Kim, H J Choi and K-D Moon. 2009. Inactivation of *Staphylococcus aureus* during storage of fresh-cut apples and lettuces pretreated with *Opuntia ficus indica* extract. The 12<sup>th</sup> ASEAN FOOD CONFERENCE.BITEC Bangna, Bangkok, Thailand.444-447.
- Serna V. N., E. A. Nery H., L. Orozco R., G. Wild-Padua, M. H. Iturriaga.2010. Effect of storage time on efficacy of chemical irradiation treatments to inactivate *Salmonella* in cilantro (*Coriandrum sativum* L.). *Journal of Food Safety* 30(3):584-598.
- Stintzing F. C. and C. Reinhold. 2005. Review Cactus stems (*Opuntia* spp.): A review on their chemistry, technology, and uses. *J. Sci. Food Agric.* 2003, 83, 440–445.
- Strawn L. K and M. D. Danyluk.2010. Fate of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* spp. On fresh and frozen cut mangoes and papayas. *International Journal of Food Microbiology.* 138:78-84.
- Takeuchi, K. and J. F. Frank. 2000. Penetration of *Escherichia coli* O157:H7 into lettuce tissues as affected by inoculum size and temperature and the effect of chlorine treatment on cell viability. *J. Food Prot.* 63:434-440.
- Van der Wolf J. M., Y. Birnbaum, P. S. Van der Zouwen and S. P. C. Groot. 2008. Disinfection of vegetable seed by treatment with essential oils, organic acids and plant extracts. *Seed Sci. & Technol.* 36:76-88.
- Wei, C. I., T. S. Huang, J. M. Kim, W. F. Lin, M. L. Tamplin and J. A. Bartz. 1995. Growth and survival of *Salmonella Montevideo* on tomatoes and disinfection with chlorinated water. *Journal of Food Protection.* 58:829-836.
- Weissinger W. R., W Chantarapanont and L.R. Beuchat. 2000. *International Journal of Food Microbiology* 62:123-131.
- Wen A, Delaquis P, Stanich K, Toivonen P. 2003. Antilisterial activity of selected phenolic acids. *Food Microbiology* 20:305-311.

- Wu, V, c, H.; X. J. Qiu, A. Bushway and L. Harper. 2008. Antibacterial effects on American cranberry (*Vaccinium macrocarpon*) concentrate of Foodborne pathogens. *LWT-Foods Science and Technology* 41: 1834-1841.
- Yuk H. G., J.A. Bartz and K. Scheider. 2006. The effectiveness of sanitizer treatments in inactivation of *Salmonella spp* from bell pepper cucumber and strawberry. *Food Microbiology and Safety*. 71(3):95-99.
- Yuk H.G. and K. R. Scheider. 2006. Adaptation of *Salmonella spp* in juice stored under refrigerated and room temperature enhances acid resistance to simulated gastric fluid. *Food Microbiology* 23:694-700.
- Zuang R Y., LR Beuchat and F. J. Angulo. 1995. Fate of *Salmonella Montevideo* on and raw Tomatoes as affected by temperature and treatment with chlorine. *Applied and Environmental Microbiology*.2127-2131.

## CAPITULO VI. EFECTO DEL LAVADO EN LA REMOSIÓN DE RESIDUOS DE CLORPIRIFOS ETÍLICO Y MALATIÓN EN CLADODIOS DE *Opuntia ficus indica* ‘ATLIXCO’

### Resumen

La aplicación de insecticidas como parte del manejo fitosanitario de los cultivos para lograr mayores rendimientos, puede representar un riesgo para los consumidores cuando no se tienen LMRs (límites máximos de residuos). En el cultivo de nopal verdura no existen plaguicidas autorizados para su uso y, en consecuencia se carece de LMRs sobre los ingredientes activos usados en el control de plagas. El lavado del producto podría reducir significativamente los residuos de plaguicidas en nopal, por lo que el objetivo de este estudio fue determinar los niveles de reducción de insecticidas clorpirifós etílico y malatión en nopal verdura lavado. Los insecticidas clorpirifós etílico y malatión son algunos de los insecticidas usados por los productores en el control de plagas insectiles en el cultivo del nopal. Se tuvieron cuatro tratamientos: nopales tratados con clorpirifós etílico sin lavado (A), nopales tratados con clorpirifós etílico lavados (B), nopales tratados con malatión lavados (C), nopales tratados con malation sin lavar (D) y un testigo absoluto sin aplicación alguna. Las muestras se colectaron 24 h después de las aplicaciones, se desespironaron manualmente y lavaron aquellos nopales destinados a los tratamientos (B y C) durante dos minutos y medio en agua corriente de la llave. El testigo absoluto no fue expuesto a cualquiera de los insecticidas evaluados ni al lavado. Los resultados revelaron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre los tratamientos lavados y sin lavar, presentando mayores niveles de insecticidas aquellos que se lavaron. Todos los tratamientos con insecticidas rebasaron los límites máximos de residuos (LMRs) establecidos por la Comunidad Económica Europea en tuna, excepto el testigo absoluto. El lavado redujo los niveles de clorpirifós etílico entre 20.17-28.19% en comparación de los 92.5 a 97.9% de malatión. El índice de riesgo mostró un alto valor en nopal tratado con clorpirifós bajo las condiciones de estudio.

**Palabras clave:** *Opuntia ficus indica*, clorpirifós etílico, malation, lavado.

## 6.1. Introducción

Es destinado principalmente, a la explotación de sus frutos maduros para consumo humano en Italia, Argentina y Chile (Besile 2001; Odepa-Ciren, 2003; Ochoa y Uhart, 2004). Sus pencas son empleadas también en la alimentación de ganado en Argentina y Brasil (Kiestlin, 1998). México, adicionalmente del aprovechamiento de los frutos y pencas, emplea los brotes tiernos de *Opuntia spp* (nopalitos o nopal verdura) como hortaliza, siendo el principal productor (723,815.42 t anuales) y consumidor de nopal verdura en el mundo (5.38 Kg de consumo per cápita) (SIAP, 2010; Claridades Agropecuarias, 2010) con una superficie cultivada de 12,472.5 ha (SIAP, 2010). De acuerdo con lo anterior, para México el nopal verdura es un recurso económicamente importante con un valor de la producción de 1, 671, 212,70 pesos (SIAP, 2010), de donde en 2008, 588,564 ton se destinaron al consumo nacional en fresco, 48,000 ton para exportación y 55,000 ton para el sector agroindustrial (Claridades Agropecuarias, 2010).

La Norma del Codex para el Nopal (2005) define al nopal verdura como los cladodios tiernos (brotes jóvenes), de 7 a 30 cm de longitud, provenientes de las plantas cactáceas *Opuntia spp* y *Nopalea spp*. En México son adquiridos en fresco, con o sin espinas, en mercados, tianguis y autoservicios (Rodríguez-Félix y Cantwell, 1988), para su uso gastronómico, como complemento de platos pero, también pueden ser aprovechados crudos en jugos y licuados con fines medicinales, debido a su alto contenido de fibra (Feugang *et al.*, 2006). Sin embargo, hay preocupación por el uso de insecticidas sintéticos en su manejo fitosanitario, ya que no existen insecticidas autorizados para este cultivo en México (CICOPLAFEST, 2004), desconociéndose los límites máximos permisibles de muchos plaguicidas utilizados e implicando un riesgo potencial en la salud de los consumidores. Claeys *et al.* (2002) mencionan que, una ingesta de insecticidas superior a los límites permisibles recomendados, puede generar cáncer, disfunción del sistema endocrino, entre otras enfermedades.

Se han realizado esfuerzos por parte de la autoridad competente en México para usar insecticidas de origen botánico en el control de plagas en los nopalitos, empero, se hace necesaria la aplicación de insecticidas de síntesis química en el control de algunas de ellas para mejorar la producción y apariencia del producto (Zhang *et al.*, 2007; Aldana *et al.*, 2008). El Programa de Monitoreo de Residuos de Plaguicidas (2007) realizado por la SAGARPA, en la Central de Abastos de la Ciudad de México, detectó trazas de paratión Metílico en nopalitos de *Opuntia*

*ficus indica* y, Aldana *et al.*, (2008) reportaron la presencia de diazinón, malatión, clorpirifos y paratión metílico en muestras de nopal verdura procedentes de parcelas comerciales en el Estado de Sonora.

Varios estudios refieren que el lavado, así como los procedimientos de pelado y cocción, pueden disminuir la presencia de residuos de insecticidas en las frutas y verduras. Zhang *et al.* (2007) observaron un decremento cercano al 8% del insecticida Paratión en cabezas de coliflor (*Brassica oleracea* var. capitata) con el lavado y uso del detergente shuguoqing. En frutos de okra (*Ablemoschus esculentus*), Aktar *et al.* (2008) mencionan concentraciones de 20-69.6% de Quinalphos y de 25.58-65.44% de Metomyl posteriores al lavado. Chavarri *et al.*, (2004) indican que el lavado en tomates (*Lycopersicum esculentum* L.) produjo niveles no detectables de los insecticidas lindano, clorpirifós y cipermetrina. Los mismos autores encontraron resultados similares en clorpirifós con el lavado + pelado es espárrago (*Asparagus officinalis*).

Por lo anteriormente expuesto, los objetivos del presente estudio fueron:

#### **6.1.1. Objetivo particular**

Evaluar el efecto del lavado en las reducciones de los insecticidas en nopal verdura.

#### **6.1.2. Objetivo específico**

Medir el efecto del lavado en la disminución de las concentraciones de residuos de los insecticidas malatión y clorpirifós etílico en nopal verdura ‘Atlixco’ de 13-17 cm de longitud, lavado y desespinado después de 24 horas de aplicación.

#### **6.1.3. Hipótesis**

Al menos los residuos de un insecticida aplicados en nopal verdura ‘Atlixco’ son disminuidos por efecto del lavado.

## **6.2. Materiales y métodos**

### **6.2.1. Ubicación de la parcela experimental**

El experimento se estableció en noviembre de 2011, en una parcela comercial de nopal verdura ‘Atlixco’, en la comunidad de San Pablo Ixquitlán, Mpio. de San Martín de las Pirámides, Estado de México, ubicada geográficamente entre 19° 46’ 20” de latitud Norte y, 98° 38’ 48” Longitud Oeste a 2300 m. s. n. m.

### **6.2.2. Material vegetal**

Se utilizaran cladodios de 13-17 cm de longitud de *Opuntia ficus indica* ‘Atlixco’, cultivados en microtúneles. ‘Atlixco’ se caracteriza por poca secreción de mucilago, alto potencial de oscurecimiento enzimático y, un pH moderadamente ácido (pH 4), además de un peso aproximado de 100 g por cladodio cuando alcanza de 19 a 20 cm de longitud y, 11 cm de diámetro en aproximadamente 30 días(Aguilar-Sánchez *et al.*, 2007).

### **6.2.3. Insecticidas**

Se asperjaron dos insecticidas organofosforados (Cuadro4) a cobertura máxima: malatión (Malatión 1000-E<sup>®</sup>, concentrado emulsionable, Velsimex, S.A. de C. V 2 L/ 800 L de agua) y clorpirifós etílico (Lorsban480<sup>®</sup>, concentrado emulsionable, 2 L/ 800 L de agua, Dow Agrosiences de México S. A. de C. V.), en ambas caras de los cladodios de nopal verdura.

**Cuadro 4. Insecticidas empleados y sus características.**

	<b>Malatión 1000E®</b>	<b>Lorsban*480®</b>
Formulación	Concentrado emulsionable	Concentrado emulsionable
Ingrediente activo (%)	No menor del 88.70 %	No menos del 44.50%
Toxicidad en humanos	Ligeramente Tóxico (IV)	Moderadamente tóxico (III)
Grupo toxicológico	Organofosforado	Organofosforado
Dosis	4 L/800 L agua	4 L/800 l de agua
Intervalo de seguridad	0-7 días (dependiendo del cultivo)	1-30 días (dependiendo del cultivo)
Plagas de evaluación	No se evaluó sobre plaga alguna	
Plaga que controla en nopal	Grana cochinilla	Grana cochinilla

**6.2.4. Diseño experimental**

Se usó un completamente al azar, con dos tratamientos por insecticida (Cuadro5) tres repeticiones por tratamiento, además de un testigo (sin tratar) para determinar las cantidades de los insecticidas aplicadas en los otros tratamientos por parte del productor antes de desarrollar el experimento.

**Cuadro5. Tratamientos aplicados en nopal verdura (*O. ficus indica* L.).**

<b>Insecticida</b>	<b>Dosis</b>	<b>Lavado</b>	<b>Tratamientos</b>
Malatión 1000-E ®	2.15 L ha <sup>-1</sup> en 860 L de agua	No	A
		Si	B
Lorsban* 480®	2 L ha <sup>-1</sup> en 800 L de agua	Si	C
		No	D
Testigo	Ninguna	No	E

### **6.2.5. Aplicación de los insecticidas en campo**

La preparación de los insecticidas se realizó en base a la superficie de los dos microtúneles usados, siendo esta de 225 y 175 m<sup>2</sup> para Malatión 1000-E<sup>®</sup> y Lorsban\* 480<sup>®</sup>, respectivamente. Se aplicaron 48 mL de Malatión 1000-E<sup>®</sup> en un volumen de 19.35 L de agua, en proporción a una dosis de 2.15 L de producto en 860 L de agua por ha<sup>-1</sup>. Lorsban\* 480<sup>®</sup> se aplicó a razón de 35 mL en 14 L de agua destilada con base en un gasto de preparación de 800 L de agua y 2 L de producto. Cada insecticida se aplicó a punto de goteo, en las plantas completas, por la mañana (11:00 y 11:45 am). Los microtúneles evitaron la contaminación por aplicación de los insecticidas, pues funcionan como pequeños invernaderos plastificados, que antes de la aplicación permanecieron cerrados y uno a uno se abrió y cerró en cada aplicación.

### **6.2.6. Recolección de muestras**

Después de 24 h de ocurrida la aplicación, las muestras se colectaron con guantes de látex estériles, para cada insecticida aplicado. Para cortar los cladodios se utilizó un cuchillo nuevo en cada tratamiento. Cada tratamiento se depositó en cajas plásticas. El testigo se obtuvo de un microtúnel sin tratar.

### **6.2.7. Desespinado y lavado de cladodios**

Los cladodios inmediatamente se desespinaaron tal como lo hace el productor. Para evaluar el efecto del lavado, se tuvieron los siguientes tratamientos: tratados con Malatión 1000-E<sup>®</sup> sin lavar y lavados después de la cosecha (tratamiento A y B, respectivamente); tratados con Lorsban\* 480<sup>®</sup> sin lavar y lavados después de la cosecha (tratamientos C y D, respectivamente); sin tratar (E). Los cladodios que implicaban lavado se sumergieron en una tina nueva de 80 L de capacidad con 20 L de agua de la llave (*pH* 8.2±0.5, salinidad media con 0.52 dS/m<sup>-1</sup>), donde se les agitó manualmente por 2.5 minutos (46 rpm), de acuerdo a lo realizado por la empresa Comercializadora México Fresco. Los testigos sin tratar solo se desespinaaron y no se lavaron.

### **6.2.8. Preparación de estándares**

Se prepararon soluciones madres de  $1000 \mu\text{g mL}^{-1}$  para los estándares de malatión (Malathion Chem Service. 98.4% de pureza) y clorpirifós (Clorpyrifos Chem Service. 99.5 de pureza) en acetona (J. T. Baker) grado HPLC, que fueron almacenadas a  $-20^{\circ}\text{C}$ . A partir de las soluciones madres se prepararon los estándares por dilución con acetona y se guardaron a  $4^{\circ}\text{C}$ .

### **6.2.9. Preparación de la muestra**

Cada una de las muestras de nopal verdura (2 kg) se trituró y licuó y de cada una se tomaron 50 g, a los cuales se les adicionaron 100 ml de acetona y se re homogeneizaron. El homogeneizado se pasó por papel filtro Whatman No. 2 y 4 ( $\phi$ ) con un embudo Büchner con vacío, recolectando el filtrado en un matraz Kitasato.

La extracción se realizó con éter de petróleo en un embudo de separación. Se agregó Sulfato de Sodio Anhídrido ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) a la fase orgánica y se pasó por una torunda de fibra de vidrio, colocada en un embudo de tallo largo.

El extracto se concentró en un rotaevaporador Büchi R-200. El concentrado se evaporó en un evaporador de nitrógeno OA-SYS Heating System y se reconstituyó con hexano.

### **6.2.10. Determinación de residuos de insecticidas**

Se empleó un cromatógrafo de gases Perkin Elmer, Clarus 500®, acoplado a un detector termiónico NPD (detector nitrógeno-fósforo) y, un inyector automático (Perkin-Elmer®) operado en modo splitless con un  $1.0 \mu\text{L}$  como volumen de muestra. Se usó una columna capilar tipo Zebrón (ZB-1701) de  $30 \times 0.25 \text{ mm}$ ,  $\text{ID} \times 0.25 \mu\text{m}$  de espesor de película. El equipo se estabilizó hasta alcanzar una temperatura de  $280^{\circ}\text{C}$ . El gas acarreador fue Helio. La cantidad mínima detectable fue de  $0.002 \text{ mg kg}^{-1}$ .

### **6.2.11. Análisis estadístico**

Se tuvieron 4 tratamientos (A. nopales tratados con malatión no sometidos a lavado; B nopales tratados con malatión sometidos a lavado; C nopales tratados con clorpirifós etílico sometidos a lavado; D nopales tratados con clorpirifós etílico no sometidos a lavado) cada uno con tres

repeticiones de 2 kg de nopal verdura. Para el análisis se realizó un análisis de varianza y, para observar diferencias significativas entre tratamientos se empleó la prueba de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ), analizándose por separado cada insecticida con ayuda del paquete SAS for Windows versión 6.12 (SAS, 1988-1996).

### 6.3. Resultados y discusión

#### 6.3.1. Efectos del lavado

Varios estudios refieren que el lavado, así como los procedimientos de pelado y cocción, pueden disminuir la presencia de residuos de insecticidas en las frutas y verduras. Zhang *et al.* (2007) observaron un decremento cercano al 8% del insecticida paratión en cabezas de coliflor (*Brassica oleracea* var. *capitata*) con el lavado y uso del detergente shuguoqing. En frutos de okra (*Ablemoschus esculentus*), Aktar *et al.* (2008) mencionan concentraciones de 20-69.6% de Quinalphos y de 25.58-65.44% de metomyl posteriores al lavado, coincidiendo con los resultados obtenidos, en los que se observaron diferencias significativas debidas al efecto del lavado en los dos insecticidas evaluados, presentando el malatión una mayor tasa de eliminación (92-97%) que clorpirifós etílico (20.17-28.18%) (Cuadro 7).

Kin y Huat (2010) señalan que el efecto del lavado es variable para cada plaguicida y, que en fresas (*Fragaria x ananasa*), la mayor remoción ocurrió en malatión con 69.8%. Chavarri *et al.*, (1994), documenta para espárrago (*Asparagus officinalis*) que el lavado no reduce los residuos de clorpirifós. Comportamientos similares debido al lavado de los insecticidas evaluados fueron proporcionados por Chauhan y Kumeri (2011) en okra (*Hibiscus esculentus*), donde el lavado con agua redujo los niveles de la dosis baja y alta de clorpirifós (200 y 400 g de i.a ha<sup>-1</sup>, respectivamente) en un rango de 18.75-31.4% y 13.04-34.10%, coincidiendo con los datos registrados en este estudio para nopal verdura tratado con clorpirifós lavado.

El producto agrícola en el que se realice el lavado y el plaguicida mismo podrían ser factores adicionales en la eficiencia de este proceso para la disminución de residuos de plaguicidas, ya que Chavarri *et al.*, (2004) indican que el lavado en tomates (*Lycopersicum esculentum* L.) produjo niveles no detectables de los insecticidas lindano, clorpirifós y cipermetrina. Los mismos autores encontraron resultados similares en clorpirifós con el lavado + pelado en espárrago

(*Asparagus officinalis*); en tanto Randhawa *et al.*, (2007) indican para clorpirifós, en campos supervisados, una mayor disminución de los residuos de éste en espinaca (*Spinacia oleracea*) (33%), papa (*S. tuberosum*) (30%) y coliflor (*B. oleracea* var. *Botrytis*) (25%) y menor efecto en tomate (*L. esculentum*) (10%).

El menor porcentaje en la reducción de los niveles de clorpirifós etílico que de malatión en el nopal verdura evaluado, podría ser resultado de la lipofiliidad y persistencia de clorpirifós (Barba *et al.*, 1987; Randhawa *et al.*, 2007) y, quizá del grado de penetración del plaguicida en el cladodio, que aunque reportado como de contacto podría tener la capacidad de ingresar a cutícula de nopal que es cerosa, favoreciendo un menor efecto del lavado en la superficie de nopal (Ziang *et al.*, 2007), concordando con Elkins, (1989) Holland *et al.* (1994), quienes indican que una menor polaridad en los plaguicidas podría ésta implicada en la menor efectividad del lavado con agua para remover los residuos, a causa de su introducción a las capas cerosas. Además, de que los tejidos con alto contenido de lípidos tienen más capacidad de concentrar plaguicidas lipofílicos (Holland *et al.*, 1994).

Por otra parte, Chauhan y Kumari (2011) reportan que el clorpirifós se eliminó fácilmente cuando la cosecha se realizó en el mismo día de la aplicación, debido a que penetró poco en los tejidos, pero observaron menores reducción en los días siguientes de evaluación, lo que explica también los resultados obtenidos con el lavado, pues la cosecha no se realizó el mismo día de la aplicación de los productos insecticidas.

Según Aldana *et al.* (2008), las características del insecticida son determinantes en su residualidad después de la aplicación, así como la estructura de la superficie del producto hortícola. Las tasas más altas de remoción de malatión, en nopal verdura podrían ser consecuencia de su alta solubilidad en agua, la cual está ligada a una mayor presión de vapor (Kin y Huat, 2010).

**Cuadro6. Residuos de clorpirifós etílico y malatión (mg kg<sup>-1</sup>) en nopal verdura ‘Atlixco’ después de 24 h de aplicación en nopales sin lavado y con lavado.**

Tratamientos		Media ±SD (mg kg <sup>-1</sup> )	% reducción	UE LMRs ppm
Clorpirifós etílico	Sin lavado	1.5400 a ±0.211		
	Lavado	1.1800 a ±0.211	20.17-28.19	0.05
Malatión	Sin lavado	0.5200 a ±0.277		
	Lavado	0.0212 b ±0.277	92.51-97.90	0.02

México no cuenta con plaguicidas autorizados para su aplicación en nopal verdura y tuna (CICOPLAFEST, 2004). Sin embargo, se están haciendo esfuerzos para subsanar este problema.

Considerando la importancia que tienen los plaguicidas en la producción en cuanto a rendimiento y apariencia de los productos hortícolas (Zhang *et al.*, 2007; Aldana *et al.*, 2008), en nopal verdura, sin plaguicidas autorizados para su uso (CICOPLAFEST, 2004) y, siendo necesarios éstos en el manejo fitosanitario es importante considerar que para disminuir los efectos nocivos de éstos, se deben aplicar aquellos plaguicidas de polaridad adecuada que permita la reducción de sus residuos mediante el lavado con agua, tomado en cuenta la lipofilicidad de la cutícula del nopal verdura, pues no se han realizado estudios de disipación de varios plaguicidas empleados en nopal verdura que permitan establecer el número de días a la cosecha después de la aplicación de los insecticidas, poniendo en riesgo la salud del consumidor, principalmente de aquel que lo consume en crudo.

Por otra parte, en los Estados Unidos de América, la Agencia de Protección Ambiental EPA (2012) registra un escaso número de ingredientes activos autorizados para nopal, con máximos niveles de residuos (LMRs) de 0.5 y 0.05 ppm para los herbicidas glifosato y diurón, 12 ppm en tuna y 5 ppm en nopal verdura del insecticida carbaryl y, 0.07 ppm del molusquicida metaldehído. Por su parte, la Comunidad Económica Europea (EC, 2012) no tiene registrados plaguicidas para su uso en nopal verdura, pero enlista para tuna los siguientes insecticidas con sus respectivos LMR: clorfevinfos (0.02 ppm), clorpirifós (0.05 pm), diazinon (0.05 ppm),

clorpirifós metil (0.05 ppm), paration metílico (0.02 ppm), malatión (0.02 ppm) y paratión (0.05 ppm).

De acuerdo con valores de los residuos de clorpirifós y malatión en nopal verdura evaluados con y sin lavado, éstos se encuentran por arriba de los LMRs establecidos por la CE para tuna (Cuadro 6), pero el lavado de nopales tratados con malatión indica niveles del producto muy cercanos, ligeramente superiores a los establecidos, por lo que el lavado de nopal verdura podría representar una opción para disminuir los niveles de residuos de plaguicidas en nopal verdura aumentando ligeramente el tiempo de lavado.

Los niveles de insecticidas evaluados fueron superiores a aquellos reportados en nopal verdura fresco por Aldana-Madrid *et al.* (2008), quienes registraron 0.014 y 0.002 mg kg<sup>-1</sup> de producto.

**Cuadro 7. Máximo nivel de exposición aprobado (NOAEL) e ingesta diaria aceptable para clorpirifós y malatión.**

<b>Insecticida</b>	<b>NOAEL mg kg<sup>-1</sup> PC día<sup>-1</sup> (ratas)</b>	<b>IDA mg kg<sup>-1</sup> PC día<sup>-1</sup></b>
Clorpirifós etílico	1.0†	0.01†
Malatión	29‡	0.3‡

PC: peso corporal, IDA: Ingesta Diaria Aceptable, †FAO-WHO (1999) ‡ FAO-WHO (1998).

El índice de riesgo ha sido empleado en productos como tomate (*L. sculentum* Mill.), berenjena (*S. melongena*) y chile (*Capsicum annum*) (Darko y Akoto, 2008) y, en nopal verdura (*O. ficus indica* L. Mill) (Aldana *et al.*, 2008). El índice de riesgo estimado de la aplicación de clorpirifós etílico y malatión en nopal verdura lavado y sin lavado, después de la cosecha, derivó de la división de la ingesta promedio diaria estimada (EADI) (Tabla 9) entre la Ingesta Diaria Aceptable para cada insecticida (IDA) (Tabla 8) (FAO-WHO, 1999, FAO-WHO, 1998).

El NOAEL (máximo nivel de exposición aprobado; Cuadro 7) es la dosis de plaguicida a la cual no se observan efectos y es empleado para calcular la IDA (ingesta diaria aceptable), donde se divide el NOAEL entre 100 el cual es un valor de seguridad (Aldama, 2008; WHO, 1999). La

IDA para cada plaguicida es reportada por WHO/FAO (WHO, 1997). La EADI (ingesta promedio diaria estimada) es el resultado de la multiplicación de la concentración del residuo de plaguicida ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) por el rango de consumo del alimento ( $\text{kg día}^{-1}$ ) (Cuadro 8) (Darko y Akoto, 2008).

Los resultados en el índice de riesgo para todos los tratamientos con clorpirifós son mayores a 1. Las concentraciones de malatión en nopales tratados lavados o sin lavar exhibieron valores menores a 1. Lo anterior implica riesgos a la salud por la ingesta de las cantidades de clorpirifós etílico obtenidas en el presente experimento con el lavado y sin el lavado del nopal verdura (Darko y Akoto, 2008), confirmándose que el clorpirifós etílico podría no ser un insecticida recomendable en el manejo fitosanitario del nopal verdura, mayormente sin estudios que demuestren la disipación del producto varios días después de su aplicación en campo a nopal verdura.

**Cuadro 8. Ingesta diaria estimada (IDA), índice de riesgo (IR), ingesta promedio diaria estimada (EADI) e Índice de peligrosidad (IP).**

Tratamientos		IDA <sup>†</sup> ( $\text{mg kg}^{-1} \text{ PC día}^{-1}$ )	EADI <sup>‡</sup> ( $\text{mg kg}^{-1} \text{ PC día}^{-1}$ )	IR*
Clorpirifós etílico	Sin lavado	0.01	0.083	8.3
	Lavado	0.01	0.052	5.2
Malatión	Sin lavado	0.30	0.023	0.077
	Lavado	0.30	0.0009	0.003

<sup>†</sup>IDA: Ingesta Diaria Aceptable, EADI: Ingesta Promedio Diaria Estimada, \*IR: Índice de Riesgo

#### 6.4. Conclusiones

El lavado de nopales tratados con malatión permite una reducción de 92-97% de los residuos con valores muy cercanos a los LMRs propuestos para tuna en la Comunidad Económica Europea y un bajo índice de riesgo.

Clorpirifós etílico mostró menor remoción de residuos (20.17-28.18%), por efecto del lavado en comparación con malatión.

### 6.5. Literatura citada

Aguilar-Sánchez L, M. T. Martínez-Damián, A. F. Barrientos-Priego, N. Aguilar-Gallegos y C.. Gallegos-Vásquez. 2007. Potencial de oscurecimiento enzimático de variedades de nopales. *Profess Assoc Cactus Develop* 9:165 - 184.

Aldana M. M. L., M. del C. García M., G. Rodríguez O., M. I. Silveira G., A. I. Valenzuela Q. 2008. Determinación de insecticidas organofosforados en nopal verdura fresco y deshidratado. *Rev. Fitotecnia Mexicana*. 31(2):133-139).

Basile F. 2001. Economic aspects of Italian cactus pear production and market. *J. Profess Assoc Cactus Develop* 4: 31-45.

Chauhan R. S. and B. Kumari. 2011. Persistence and effect of processing on reduction of chlorpyrifos residues in okra fruits. *Bull Environment Contam Toxicol* 87:198-201.

Chavarri M. J., A. Herrera and A. Ariño. 2004. Pesticide residues in field-sprayed and processed fruits and vegetables. *J. Sci. Food Agric* 84:1253-1259.

CICOPLAFEST (Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas).2004. Catalogo de Plaguicidas. CICOPLAFEST. SSA, SAGARPA, SEMARNAT, SE. México, D. F.

CLARIDADES AGROPECUARIAS. 2010. Nopal y tuna: una mirada a su realidad actual. 213:3-12. <http://www.infoserca.gob.mx/claridades/revistas/213/ca213-3.pdf> 19-marzo-2012.

Claeys S., Spanoghe P., Steurbaut W. 2002. Exposure of the Belgian population to pesticides by intake of fruit and vegetables. *Parasitica* 58(2-4):59-66 pp.

Darko G., O. Akoto. 2008. Dietary intake of organophosphorus pesticides residues through E. R. Elkins. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 72:533-535.

- EC.Pesticide EU-MRLs. EU Pesticide data base.European Comission.Regulation (EC) No. 39612005.2012. [http://ec.europa.eu/sanco\\_pesticides/public/index.cfm?event=homepage&CFID=332659&CFTOKEN=9a5cd4/de0a2817c-FAB2141C-B364-9BFE-8E9F0C0B7502D74E&jsessionid=3607c8b31a4d6c0e71d3](http://ec.europa.eu/sanco_pesticides/public/index.cfm?event=homepage&CFID=332659&CFTOKEN=9a5cd4/de0a2817c-FAB2141C-B364-9BFE-8E9F0C0B7502D74E&jsessionid=3607c8b31a4d6c0e71d3). En línea 14 de marzo de 2012.
- EPA. Title 40: Protection of Environment. Code of Federal Regulations. United States Environmental Protection Agency.2012. [http://ecfr.gpoaccess.gov/cgi/t/text/-idx?c=ecfr&sidbd32aab1f2263di89c2ea7ae45c321e9&tp=/ecfrbrowse/title40/40cfr/80main\\_0.2tpl](http://ecfr.gpoaccess.gov/cgi/t/text/-idx?c=ecfr&sidbd32aab1f2263di89c2ea7ae45c321e9&tp=/ecfrbrowse/title40/40cfr/80main_0.2tpl)). En línea 14 de marzo de 2012.
- Feugang M. J., P. Konarski, D. Zou, F. C. Stintzing and C. Zou. 2006. Nutritional and medicinal use of cactus pear (*Opuntia* spp.) cladodes and fruits. *Frontiers in Bioscience* 11:2574-2589.
- Haile M, HG Zimmermann and T Belay (2002) Current and potential use of cactus in Tigray, Northern Ethiopia. En: Resumenes del IV International Congress on cactus pear and cochineal and IV general meeting of the FAO-CACTUSNET (International cooperation Network on Cactus pear). Hammamet, Tunes, pp. 9.
- Hernández-Urbiola, M. I., E. Pérez-Torero and M. E. Rodríguez-García. 2011. Chemical Analysis of nutritional content of prickly pads (*Opuntia ficus indica*) at varied ages in an organic harvest. *Int. J. Environment Res. Public Health*. 8:1287-1295.
- Holland P. T., D. Hamilton, B. Ohlin and M. W. Skidmore. 1994. Effects of storage and processing on pesticide residues in plant products. *Pure&Appl. Chem*. 66(2): 335-356.
- Kiesling, R. 1998. Origen, domesticación y distribución de *Opuntia ficus indica*. *J. PACD* 165-183.
- Kin C. M. and T. G. Huat. 2010. Headspace solid-phase microextraction for the evaluation of pesticide residue contents in cucumber and strawberry after washing treatment. *Food Chemistry* 123:760-764.
- Lee Y-C., Y-H Pyo, C-K Ahn and S-H Kim. 2005. Food functionality of *Opuntia ficus indica* var. cultivated in Jeju Islan. *J. Food Sci Nutr* 10:103-110.
- Aktar Md W., D. Sengupta, S. Purkait and A. Chowdhury. 2010. Risk assessment and decontamination of Quinalphos under different culinary processes in/on cabbage. *2010. Environ Monit Assess* (2010) 163:369-377.

Norma del Codex para el Nopal (CODEX STAN 185-1993). Consulta 2-abril-2012.

Ochoa J. and S. Uhart. 2004. Nitrogen availability and fruit yield generation in tuna (*Opuntia ficus-indica*): IV. Effects on fruit yield on dry matter partitioning to reproductive sinks. Pp.65-76 In: Memorias. X Congreso Nacional y VIII Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Chapingo, México.

ODEPA-CIREN (2003) Catastro Frutícola VI Región. Principales resultados. Publicación Conjunta de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) y el Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN), Santiago.

Randhawa M. A., F. M. Anjum, A. Ahmed, M. S. Randhawa.2007. Field incurred chlorpyrifos and 3, 5, 6-trichloro-2-pyridinol residues in fresh and processed vegetables. Food Chemistry 103:1016-1023.

Ripley D. B., G.M. Ritcey, C. D. Harris, M. A. Denommé and L. I. Lissemore. 2003.

Rodríguez-Félix A. and M. Cantwell (1988) Developmental changes in composition and quality of prickly pear cactus cladodes (nopalitos). Plant Foods Human Nutrition 38:83-93.

Saénz, C.H.B.; J. Corrales G.; L. Galletti; V. García de C.; I. Higuera; C. Mondragón, A.; Rodríguez-Félix; E. Sepúlveda; M. T. Varnero.Roma 2006. Utilización agroindustrial del nopal. Boletín de servicio Agrícola de la FAO.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2011  
<http://w6.siap.gob.mx/comercio/index.php 7-marzo-2012>

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2009.  
<http://w6.siap.gob.mx/comercio/index.php junio 2009>.

Stintzing FC and C Reinhold. 2005. Review Cactus Stems (*Opuntia* spp.): A review on their chemistry, technology, and uses. Molecular Nutrition Food Research 49:175 – 194.doi 10.1002/mnfr.200400071 .

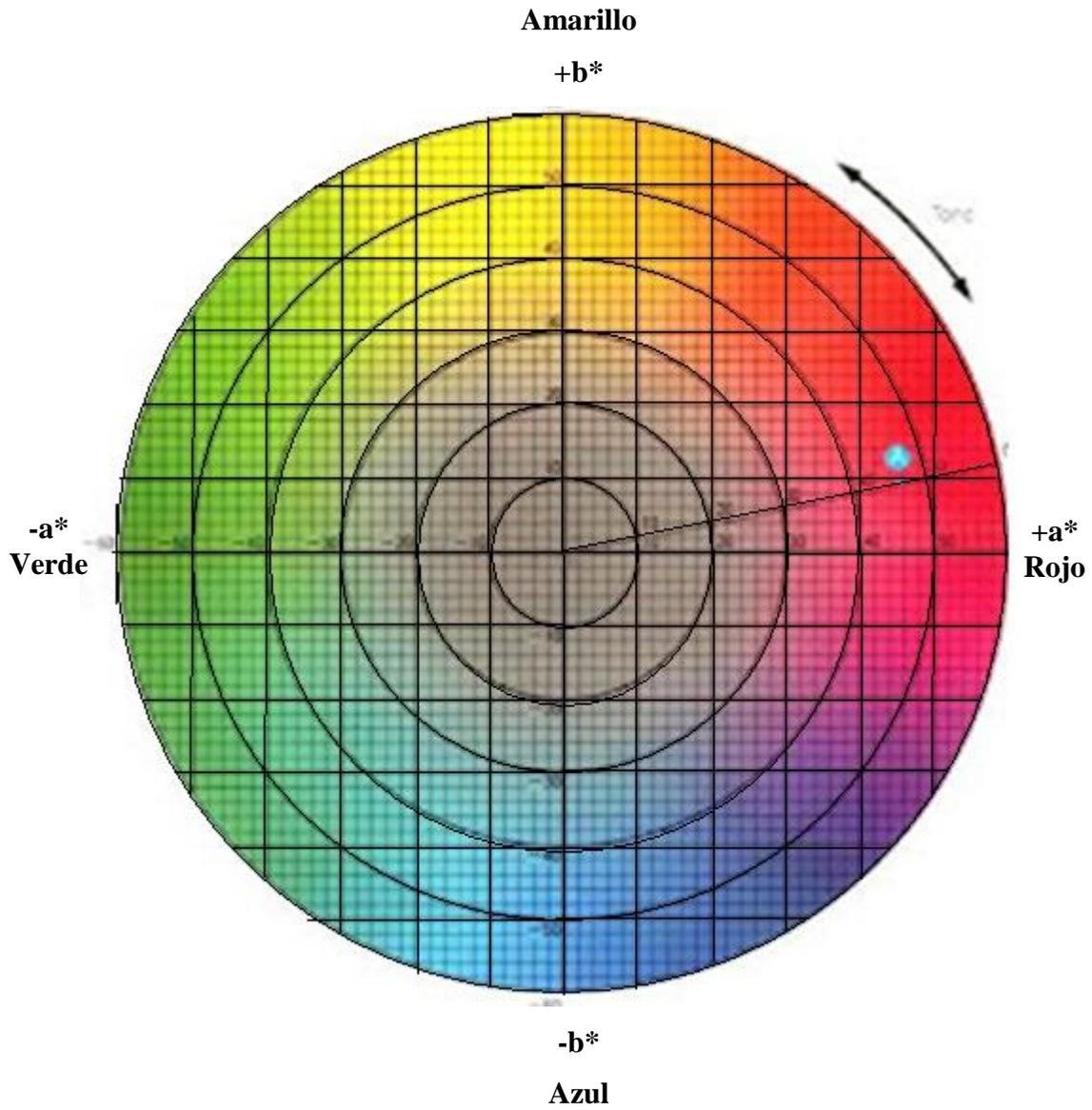
Zhang Z-Y., X-J Liu, X-Y Yu, C-Z Zhang, X-Y Hong 2007. Pesticide residues in the spring cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*) grown in open field. Food Control 18(2007):7723-730

## CONCLUSIONES GENERALES

La adquisición de los cladodios de nopal verdura está asociada a la brillantez y color, donde el color verde oscuro es el preferido por los consumidores, al igual que los nopales de entre 10 a 12 cm de longitud enteros y desespinaados. La calidad del nopal verdura 'Atlixco' varía con el estado de desarrollo, tiempo y temperatura de almacenamiento. La aplicación de cloro o ácido ascórbico en combinación de la atmósfera modificada con 15 microperforaciones en refrigeración a  $5 \pm 2^{\circ}\text{C}$  mantiene una apariencia con un 11 a 50 % de oscurecimiento. La aplicación de ácido ascórbico y cloro tiene poco o nulo efecto en la sobrevivencia y crecimiento de *Salmonella sp* y *E. coli* en nopal verdura 'Atlixco' inoculado artificialmente después de la desinfección de los cladodios desespinaados con dichos productos. El lavado de los cladodios redujó en más de un 90% los residuos en nopal verdura del malation, clorpirifós etílico solo fue eliminado en de un 20.17 a 28.18%.

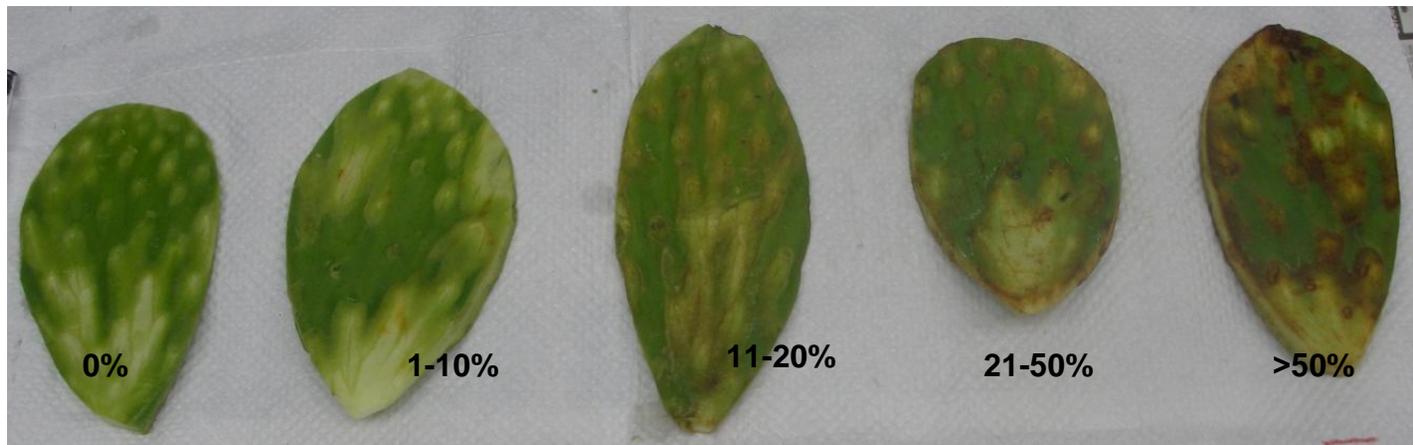
**ANEXOS**

# ANEXO 1. DIAGRAMA DE CROMATICIDAD



<http://www2.konicaminolta.eu/eu/Measuring/pcc/es/part1/07.html>

**ANEXO 2. ESCALA HEDÓNICA DE APARIENCIA EN NOPAL VERDURA 'ATLIXCO'**

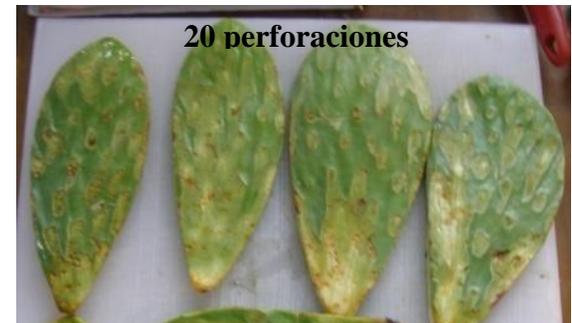


**ANEXO 3. APARIENCIA DE NOPAL VERDURA EN EMPAQUES MICROPERFORADOS ALMACENADOS A  $4\pm 2^{\circ}\text{C}$  Y  $19\pm 1^{\circ}\text{C}$  EN DIFERENTES DÍAS DE ALMACENAMIENTO**

**ALMACENAMIENTO POR CINCO DÍAS A  $4\pm 2^{\circ}\text{C}$**



**ALMACENAMIENTO POR 13 DÍAS A 4±2°C**



ALMACENAMIENTO POR 17 DÍAS A  $4\pm 2^{\circ}\text{C}$



Cinco perforaciones



Diez perforaciones



15 perforaciones



20 perforaciones

**ALMACENAMIENTO POR 21 DÍAS A 4±2°C**

**Cinco perforaciones**



**Diez perforaciones**



**15 perforaciones**



**20 perforaciones**



**ALMACENAMIENTO POR 25 DÍAS A 4±2°C**

**Cinco perforaciones**



**Diez perforaciones**



**15 perforaciones**



**20 perforaciones**



**ALMACENAMIENTO POR 29 DÍAS A 4±2°C**

**Cinco perforaciones**



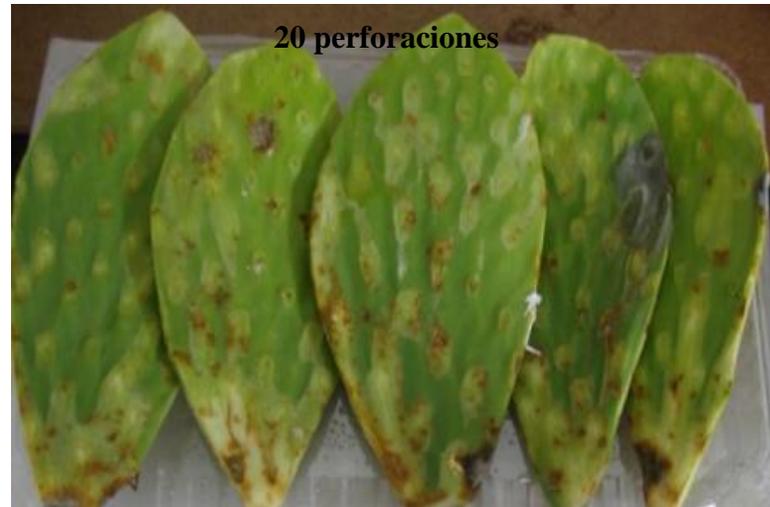
**Diez perforaciones**



**15 perforaciones**



**20 perforaciones**



**ALMACENAMIENTO POR CINCO DÍAS A  $19 \pm 1^\circ\text{C}$**



**ALMACENAMIENTO POR 13 DÍAS A  $19 \pm 1^\circ\text{C}$**



**ANEXO 4. APARIENCIA DE NOPAL VERDURA TRATADO CON CLORO, ÁCIDO ASCÓRBICO, AC. ASCORBICO + ÁCIDO FUMÁRICO Y ÁCIDO ASCÓRBICO + ÁCIDO MÁLICO EN DIRERENTES DÍAS DE ALMACENAMIENTO**

**NOPALES TRATADOS Y ALMACENADOS EN REFRIGERACIÓN  $5 \pm 2^{\circ}\text{C}$  POR TRES DÍAS**

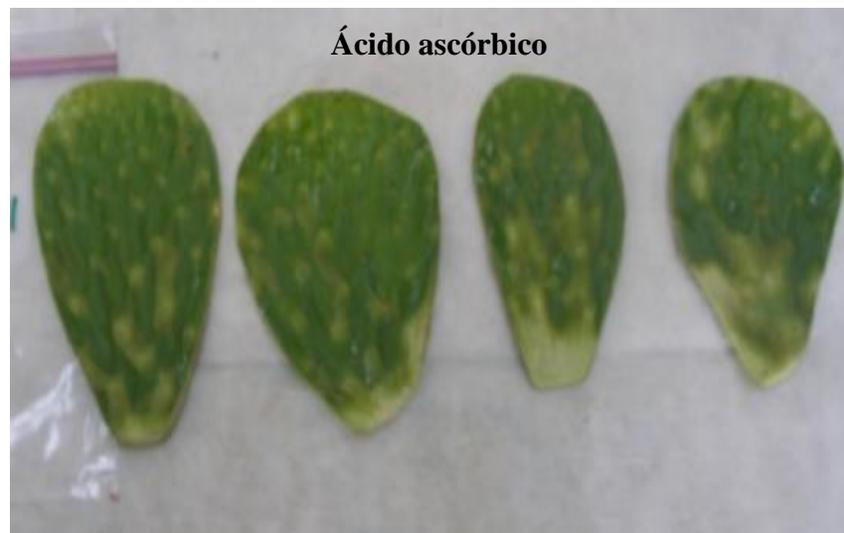


**NOPALES TRATADOS Y ALMACENADOS EN REFRIGERACIÓN A  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  POR CINCO DÍAS**

**Cloro**



**Ácido ascórbico**



**Ácido ascórbico + ácido fumárico**



**Ácido ascórbico + ácido málico**



**NOPALES TRATADOS Y ALMACENADOS EN REFRIGERACIÓN A  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  POR SIETE DÍAS**



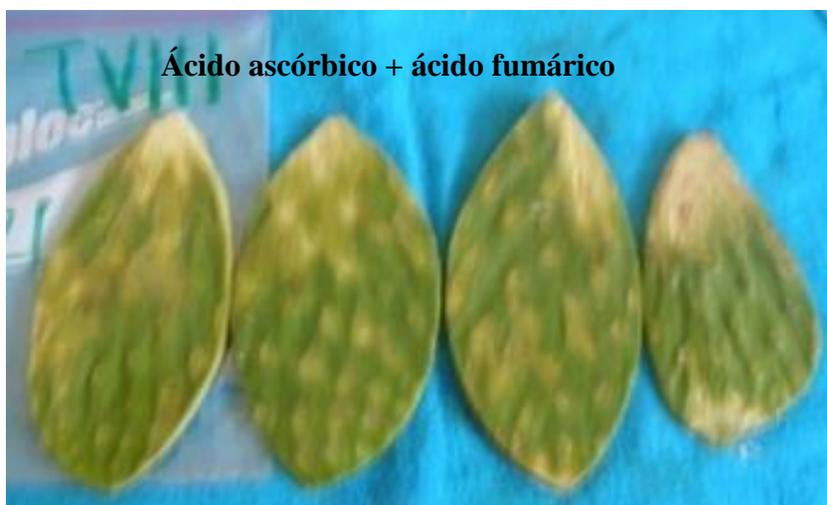
**NOPALES REFRIGERADOS Y ALMACENADOS EN REFRIGERACIÓN A  $5 \pm 2^{\circ}\text{C}$  POR NUEVE DÍAS**



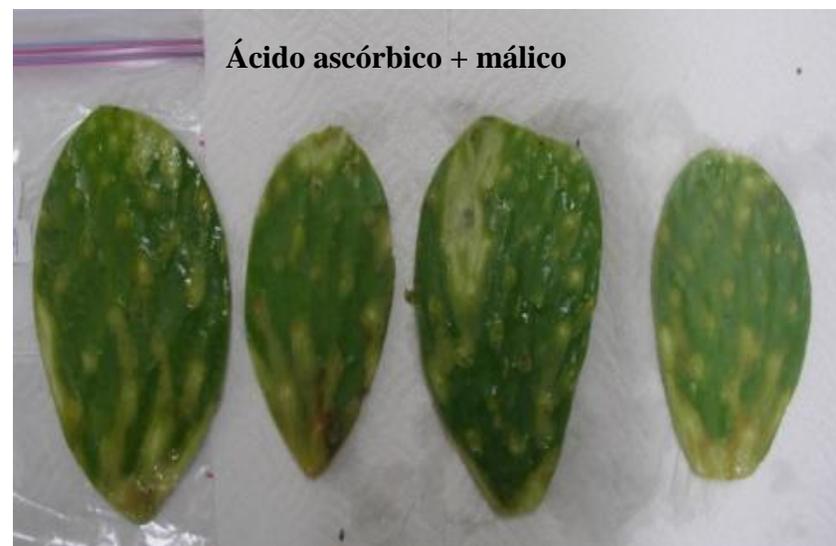
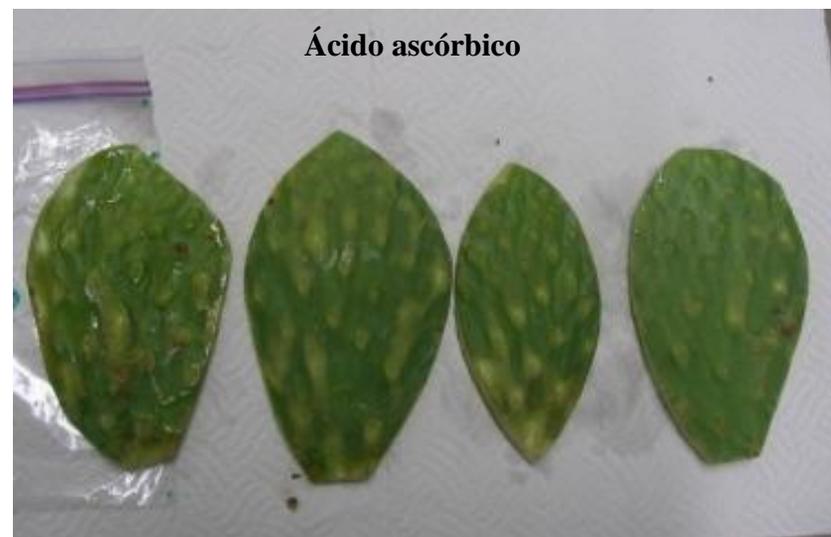
**NOPALES REFRIGERADOS Y ALMACENADOS EN  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  POR 11 DIAS**



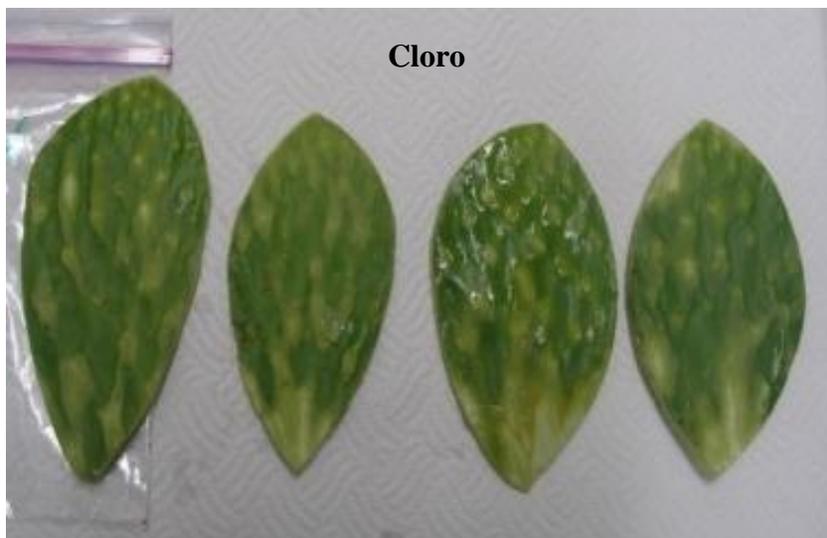
**NOPALES REFRIGERADOS Y ALMACENADOS EN REFRIGERACIÓN A  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  POR 13 DÍAS**



**NOPALES REFRIGERADOS Y ALMACENADOS EN REFRIGERACIÓN A  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  POR 15 DÍAS**



**NOPALES REFRIGERADOS Y ALMACENADOS EN REFRIGERACIÓN A  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  POR 17 DÍAS**



**NOPALES REFRIGERADOS Y ALMACENADOS EN REFRIGERACIÓN A  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  POR 19 DÍAS**



**NOPALES REFRIGERADOS Y ALMACENADOS EN REFRIGERACIÓN A  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  POR 21 DÍAS**



**NOPALES REFRIGERADOS Y ALMACENADOS EN REFRIGERACIÓN A  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  POR 23 DÍAS**



**NOPALES REFRIGERADOS Y ALMACENADOS EN REFRIGERACIÓN A  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  POR 25 DÍAS**



**NOPALES ALMACENADOS A  $24\pm 2^{\circ}\text{C}$  POR DOS DÍAS**

**Cloro**



**Ácido ascórbico**



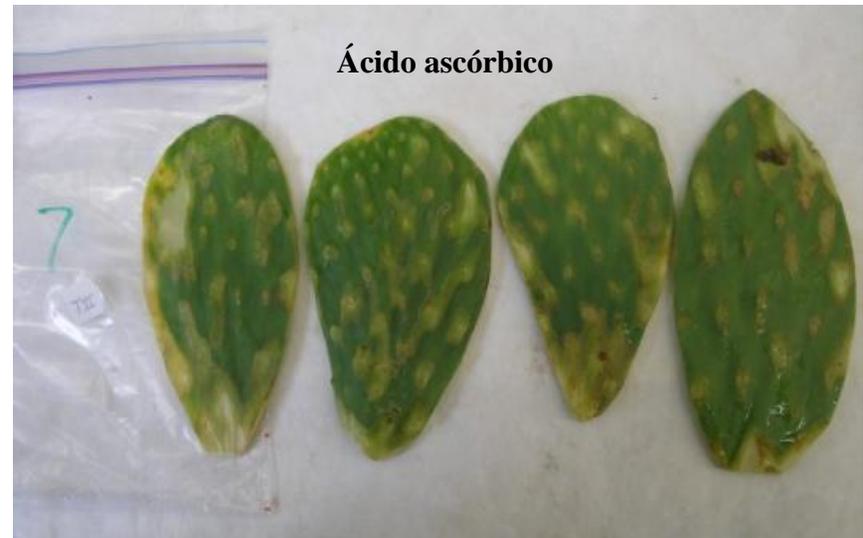
**Ácido ascórbico + ácido fumárico**



**Ácido ascórbico + ácido málico**



**NOPALES ALMACENADOS A 24±2°C POR TRES DÍAS**



**NOPALES ALMACENADOS A  $24\pm 2^{\circ}\text{C}$  POR CUATRO DÍAS**

**Cloro**



**Ácidoascórbico**



**Ácido ascórbico + ácido fumárico**



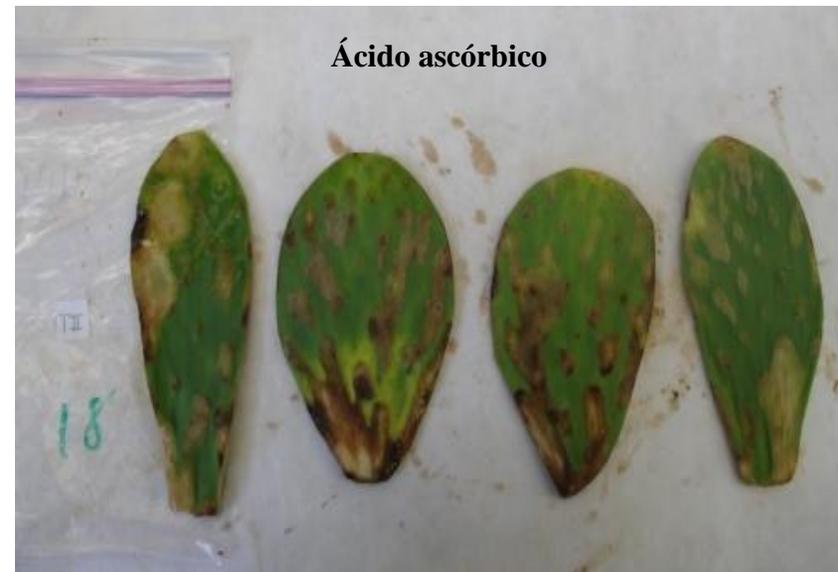
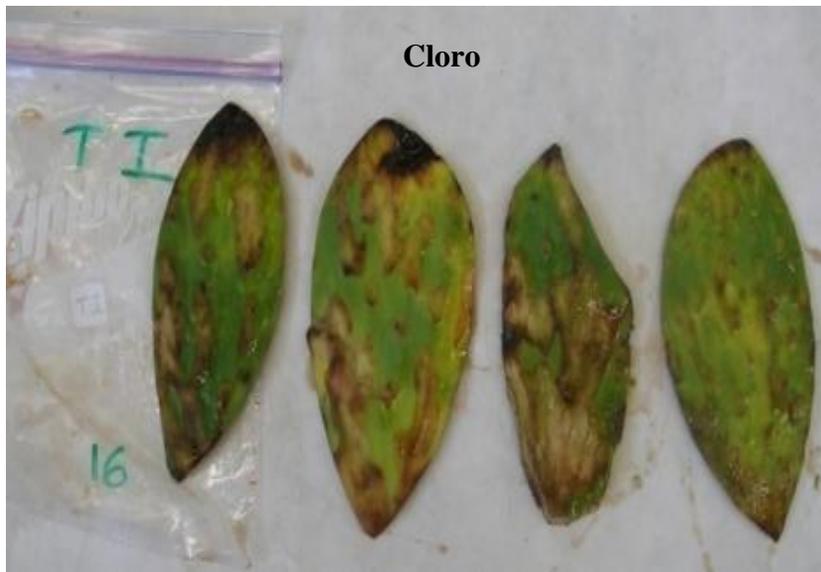
**Ácido ascórbico + ácido málico**



**NOPALES ALMACENADOS A  $24\pm 2^{\circ}\text{C}$  POR CINCO DÍAS**



**NOPALES ALMACENADOS A 24±2°C POR SEIS DÍAS**



**NOPALES ALMACENADOS A 24±2°C POR SIETE DÍAS**



**NOPALES ALMACENADOS A 24±2°C POR OCHO DÍAS**

**Cloro**



**Ácido ascórbico**



**Ácido ascórbico + ácido fumárico**



**Ácido ascórbico + ácido málico**

