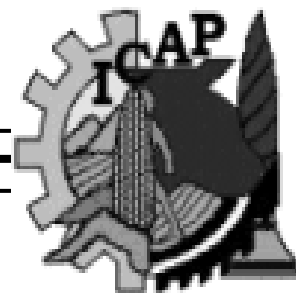




UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO



INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

TÍTULO:

**Comportamiento de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de frutos de xoconostle Ulapa, (*Opuntia oligacantha* C.F. Först), por efecto de índices de madurez, temperaturas y tiempo de almacenamiento.**

**P R E S E N T A:**

LUIS GONZÁLEZ DE LA ROSA

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**Maestría en Ciencia de los Alimentos**

DIRECTOR DE TESIS:

Dra. Alma Delia Hernández Fuentes

ASESORES:

Dr. Javier Piloni Martini

Dr. Rafael G. Campos Montiel

Dr. José Manuel Pinedo Espinoza

TULANCINGO DE BRAVO, HGO. ENERO 2014



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

Instituto de Ciencias Agropecuarias

COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO Icap

Actas de la reunión del Comité de Tesis de Maestría en Ciencia de los Alimentos

**Apertura:**

La reunión ordinaria para evaluar los avances de la tesis intitulada "Comportamiento de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de frutos de xoconostle Ulapa, (*Opuntia oligacantha* C.F. Först), por efecto de índices de madurez, temperaturas y tiempo de almacenamiento", desarrolla el estudiante I.B.T Luis González de la Rosa.

**Asistentes:**

**Dra. Alma Delia Hernández Fuentes**

**Dr. Javier Piloni Martini**

**Dr. Rafael G. Campos Montiel**

**Dr. José Manuel Pinedo Espinoza**

**A. Revisión de Trabajo de Tesis**

**Observaciones:**

El comité reviso con antelación el trabajo de tesis en extenso propuesto por el estudiante, comunicando al I.B.T Luis González de la Rosa, oportunamente las correcciones, adiciones y/o modificaciones que debería considerar para mejorar su trabajo y poder continuar con el proceso de obtención de grado. El estudiante atendió de forma conveniente las sugerencias del comité.

**B. Acuerdos**

En esta fecha, se comunica atentamente que el comité conformado por los profesores firmantes, otorgamos nuestra autorización para que el estudiante imprima su trabajo final de tesis y continúe con los trámites necesarios para la obtención del grado de maestría respectivo.

ATENTAMENTE

"AMOR, ORDEN Y PREGRESO"

Tulancingo de Bravo, Hidalgo a 2 Diciembre del 2013

**Dra. Alma Delia Hernández Fuentes**

**Dr. Javier Piloni Martini**

**Dr. Rafael G. Campos Montiel**

**Dr. José Manuel Pinedo Espinoza**



## **AGRADECIMIENTO**

**Al apoyo recibido por CONACYT con la beca de Maestría en Ciencia de los Alimentos de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo incluida en el Padrón Nacional de Posgrado de CONACYT**

## **DEDICATORIA**

Gracias a mis padres, que a pesar de todo y sobre todo han logrado en mí una persona de bien, cultivando valores que a lo largo de mi vida les agradeceré infinitamente, gracias porque sin escatimar esfuerzo alguno han sacrificado gran parte de sus vidas para formarme y educarme; gracias por su amor, comprensión y apoyo que en todo momento me ha brindado.

A toda mi familia que de alguna u otra forma han estado conmigo y apoyándome a lo largo de mi carrera profesional, ya que sin su motivación, me hubiese sido un poco difícil lograrlo.

A Dios, por permitirme seguir en el camino y permitirme seguir a lado de las personas que quiero y sobre todo por las enseñanzas que me ha dejado.

A mis asesora, Doctora Alma por toda la paciencia, los consejos y por tenerme bajo su resguardo. Doctora Marta Galloso, por toda la paciencia y apoyo incondicional para realizar el trabajo de investigación.

A mis compañeros, Jorge Alberto, Luis Rene, Jorge Armando y Enrique, que con su esfuerzo, consejos y palabras me apoyaron incondicionalmente.

A todos mis amigos y personas que de alguna forma, buena o mala me han marcado a lo largo del camino, GRACIAS.

## ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN</b> .....	10
<b>I INTRODUCCIÓN</b> .....	12
<b>II ANTECEDENTES</b> .....	14
<b>III MARCO TEÓRICO</b> .....	15
3.1 Xoconostle ( <i>Opuntia joconostle</i> ) .....	15
3.2 Características del xoconostle .....	16
3.3 Propiedades del fruto del xoconostle .....	20
3.4 Generalidades del xoconostle .....	21
3.5 Descripción Botánica de algunas especies de xoconostle .....	23
3.5.1 <i>Opuntia matudae</i> .....	23
3.5.2 <i>Opuntia duranguensis</i> .....	24
3.5.3 <i>Opuntia oligacantha</i> C.F. Först (Ulapa).....	24
3.5.4 <i>Opuntia leucotricha</i> de Candolle .....	25
3.5.5 <i>Opuntia matudae</i> Scheinvar.....	25
3.5.6 <i>Opuntia joconostle</i> .....	25
3.6 Adaptabilidad del xoconostle a zonas áridas y semiáridas .....	26
3.7 Efectos ecológicos del xoconostle. ....	26
3.7.1 Valor nutrimental .....	27
3.7.2 Fenoles .....	27
3.7.4 Betalaínas .....	31
3.7.5 Antioxidantes.....	34
3.7.6 Actividad antioxidante .....	36
3.7.7 Mecanismos de reacción de los antioxidantes .....	36

3.7.8 Radicales Libres.....	37
3.8 Perdidas poscosecha en tuna en México.....	38
3.9 Conservación de la tuna bajo diferentes manejos poscosecha .....	39
3.10 Efecto del almacenamiento a diferentes temperaturas sobre la calidad de Tuna Roja .....	40
3.11 Estudio de propiedades Fisicoquímicas de tuna bajo almacenamiento refrigerado.....	41
3.12 Evaluación de la vida de anaquel de diferentes variedades de xoconostle en fresco .....	42
<b>IV JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>43</b>
<b>V OBJETIVOS .....</b>	<b>44</b>
5.1 Objetivo general.....	44
5.2 Objetivo específico.....	44
<b>VI HIPÓTESIS.....</b>	<b>45</b>
<b>VII MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>46</b>
7.1 Material vegetal.....	46
7.3 Reactivos .....	46
7.4 Establecimiento del experimento .....	47
7.5 Diseño de tratamientos .....	47
7.6 Variables de estudio.....	47
7.6.1 Características fisicoquímicas.....	47
7.6.1.1 Color .....	48
7.6.1.2 Acidez titulable .....	48
7.6.1.3 Sólidos solubles (°Brix) .....	48
7.6.1.4 pH .....	49
7.6.2 Fenoles totales.....	49

7.6.3 Betalaínas .....	49
7.6.4 Actividad Antioxidante .....	50
7.6.4.1 Ensayo del equivalente de capacidad antioxidante Trolox (TEAC).....	50
7.6.5 Análisis de resultados .....	51
<b>VIII RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>52</b>
8.1 Pérdida de peso .....	52
8.2 pH .....	53
8.3 Sólidos solubles totales (°Brix).....	55
8.4 Acidez titulable .....	57
8.5 Color .....	59
8.6 Betalaínas .....	62
8.7 Vulgaxantinas .....	64
8.8 Fenoles Totales.....	66
8.9 Actividad antioxidante .....	67
<b>IX CONCLUSIONES .....</b>	<b>70</b>
<b>X BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>72</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Planta de xoconostle. ....	16
<b>Figura 2.</b> Corte longitudinal del xoconostle.....	17
<b>Figura 3.</b> Imágenes de las características de las <i>Opuntias</i> . ....	19
<b>Figura 4.</b> Estructura básica del esqueleto flavonóico. ....	29
<b>Figura 5.</b> Estructura química de la betalaina. ....	31
<b>Figura 6.</b> Cation diazaheptametina.....	32
<b>Figura 7.</b> Estructura de las betacianinas. ....	33
<b>Figura 8.</b> Estructura de las betaxantinas. ....	34

## Índice de cuadros

<b>Cuadro 1.</b> Características del xoconostle <i>Opuntia joconostle</i> .....	18
<b>Cuadro 2.</b> Composición nutricional de la cascara de la tuna del xoconostle ( <i>Opuntia spp.</i> ).....	20
<b>Cuadro 3.</b> Comparación morfológica de especies tuneras y xoconostle ( <i>Opuntia spp.</i> ).....	22
<b>Cuadro 4.</b> Algunos atributos químicos en base seca de especies tuneras y xoconostle. ....	23
<b>Cuadro 5.</b> Efecto de años e índices de cosecha y temperatura de almacenamiento en pérdida de peso de frutos de xoconostle “Ulapa”. ....	53
<b>Cuadro 6.</b> Efecto de índices de cosecha y temperatura de almacenamiento en pH de frutos de xoconostle “Ulapa”.....	54
<b>Cuadro 7.</b> Efecto de años e índices de cosecha y temperatura de almacenamiento en sólidos solubles totales (°Brix) de frutos de xoconostle “Ulapa”.....	56
<b>Cuadro 8.</b> Efecto de años e índice de madurez de cosecha y temperatura de almacenamiento en acides titulable de frutos de xoconostle “Ulapa”.....	58
<b>Cuadro 9.</b> Efecto de años e índice de madurez de cosecha y temperatura de almacenamiento en color de frutos de xoconostle “Ulapa”.....	61



**Cuadro 10.** Efecto de años e índice de madurez de cosecha y temperatura de almacenamiento en el contenido de betalaínas de frutos de xoconostle “Ulapa”.. 63

**Cuadro 11.** Efecto de años e índice de madurez de cosecha y temperatura de almacenamiento en el contenido de Vulgaxantínas de frutos de xoconostle “Ulapa” ..... 65

**Cuadro 12.** Efecto de índices de cosecha y temperatura de almacenamiento en el contenido de Fenoles Totales de frutos de xoconostle “Ulapa” ..... 67

**Cuadro 13.** Efecto de índices de cosecha y temperatura de almacenamiento en equivalente TROLOX de frutos de xoconostle “Ulapa” ..... 68

## RESUMEN

Los frutos de xoconostle “Ulapa” (*Opuntia oligacantha* C.F. Först) fueron cosechados en febrero del 2011 y 2012 en el Estado de Hidalgo, México, en un huerto semicomercial con dos índices de madurez; Índice 1 (verde incipiente) e Índice 2 (completamente coloreado) y fueron almacenados a 5°C y 20°C; teniendo un total de 8 tratamientos; T1, Índice 1+5°C+2011; T2, Índice 2+5°C+2011; T3, Índice 1+20°C+2011; T4, Índice 2+20°C+2011, T5, Índice 1+5°C+2012; T6, Índice 2+5°C+2012; T7, Índice 1+20°C+2012; T8, Índice 2+20°C+2012. Para cada tratamiento se tuvieron cinco tiempos de almacenamiento, 0, 8,16, 24 y 32 días. Las variables evaluadas fueron pérdida de peso, color, acidez titulable, sólidos solubles totales, pH, fenoles totales, betalaínas, vulgaxantíνας y actividad antioxidante. Al final del periodo de almacenamiento 32 días, el menor porcentaje de pérdida de peso y acidez titulable se observó en los frutos de xoconostle con índice de cosecha 1 (verde incipiente) y almacenados a 5°C. En el pH no se observaron diferencias significativas ( $P>0.05$ ) en los dos años de cosecha, en los frutos de xoconostle “Ulapa” con índice de madurez 1 (verde incipiente) y 2 (completamente coloreados) y almacenados a 5°C y 20°C, sin embargo a medida que se incrementó el tiempo de almacenamiento se incrementó el pH, aunque no significativamente ( $P>0.05$ ). En el porcentaje de sólidos solubles totales influyó el año de cosecha, índice de madurez y temperaturas de almacenamiento y al final del periodo de almacenamiento, 32 días, los frutos de xoconostle “Ulapa” que presentaron el mayor porcentaje de °Brix fueron los frutos cosechados en el año 2012 con índice de madurez 2 (completamente coloreados) y almacenados a 20°C y no se observó una tendencia a aumentar o disminuir el contenido de °Brix con respecto al tiempo de almacenamiento. Los frutos de xoconostle “Ulapa” que presentaron una mayor brillantes fueron aquellos frutos cosechados en el 2012, con índice de madurez 1 y almacenados a 20°C, mientras que la mayor coloración de los frutos se observó en aquellos cosechados en el 2011, con índice de madurez 2 y almacenados a 5°C, mientras que los frutos que presentaron una mayor intensidad de color fueron los frutos cosechados en el 2011, con índice de madurez 1 y almacenados a 5°C. No se observaron diferencias significativas

( $P > 0.05$ ) en el contenido de betalaínas en los dos años de cosecha, de los frutos de xoconostle "Ulapa" con índice de madurez 1 y 2, almacenados a 5°C y 20°C, excepto al final del periodo de almacenamiento ya que los frutos de xoconostle "Ulapa" cosechados en el 2011, con índice de madurez 1 y almacenados a 20°C presentaron el mayor incremento en el contenido de betalaínas. En general las variaciones en el contenido de betalaínas no fueron marcadas conforme aumento el tiempo de almacenamiento. Al final del periodo de almacenamiento los frutos de xoconostle "Ulapa" cosechados en el año 2011, con índice de madurez 1 y almacenados a 20°C presentaron el mayor contenido de vulgaxantínas, sin embargo no se observó una tendencia a aumentar o disminuir el contenido de vulgaxantínas con respecto al tiempo de almacenamiento. Se observaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en el contenido de fenoles totales en los frutos de xoconostle "Ulapa" al final del periodo de almacenamiento, con los índices de cosecha 1 y 2, y almacenados a 5°C y 20°C, y los frutos de xoconostle "Ulapa" con índice de madurez 1, almacenados a 5°C presentaron el mayor incremento en el contenido de fenoles totales. No se observaron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) en actividad antioxidante en los frutos de xoconostle "Ulapa" con índice de madurez 1 y 2 y almacenados a 5°C y 20°C, sin embargo si se observó un ligero incremento en la actividad antioxidante a medida que se incrementó el tiempo de almacenamiento.

Es importante potenciar el cultivo de xoconostle "Ulapa" por sus características en contenido de sólidos solubles totales, acidez titulable, pH, color, betalaínas, vulgaxantínas, fenoles totales y actividad antioxidante.

## I INTRODUCCIÓN

Las cactáceas han sido motivo de investigación en nuestro país debido a sus múltiples usos, hoy en día son una opción para las comunidades de zonas áridas y semiáridas de nuestro país como fuente de ingresos para los productores. La gran importancia que presentan se visualiza desde diversos puntos de vista, como el ecológico, por su resistencia a la sequía debido a su fácil adaptación y tipo de metabolismo. La mayoría de frutos de tuna y xoconostle persisten sobre los cladodios, en algunos casos, hasta un año o más, sin caer ni deteriorarse, pero otros una vez que maduran caen. Sus frutos son utilizados en la elaboración de mermeladas, productos deshidratados y conservas, entre otros (Sepúlveda *et al.*, 2000).

El género *Opuntia* abarca alrededor de 1500 especies de cactus y muchos de ellos producen frutos dulces (tunas) o ácidos (xoconostles), los cuales crecen en un clima árido o semiárido, siendo considerados alimentos vegetales valiosos en Latinoamérica. Los frutos de xoconostle son periformes y exhiben una depresión apical. Está compuesta por un epicarpio (piel), un mesocarpio (pulpa) y un endocarpio (donde se alojan las semillas que están en una estructura mucilagínosa).

El mesocarpio (pulpa) es la parte comestible de esta fruta y es la que contiene la mayor concentración de azúcares, fibra dietaria, ácido ascórbico, polifenoles, carotenoides y pigmentos de betacianina, los cuales han sido relacionados con sus beneficios saludables, tales como acción hipoglucémica y propiedades antioxidantes. Por otra parte, las semillas de del fruto de xoconostle son consideradas un alimento potencial, debido a que presentan un alto contenido de ácidos grasos insaturados, especialmente ácidos grasos poliinsaturados, los cuales están asociados con una reducción en el riesgo de enfermedades cardiovasculares, inflamatorias y autoinmunes (Morales *et al.*, 2012)

El xoconostle ha sido usado como medicina alternativa, como un tratamiento para la diabetes, hipertensión, obesidad y padecimientos respiratorios. Recientemente se ha reportado que el consumo del pericarpio de *Opuntia joconostle* causa la reducción en los niveles de colesterol, un decremento gradual en los niveles de

glucosa sérica y un incremento en los niveles de insulina sérica. Los frutos de *O. jocos* son consumidos desde la época prehispánica, especialmente en las regiones semiáridas del área central de México (Osorio *et al.*, 2011).

Las propiedades del xoconostle van desde su uso para reducir el nivel de colesterol, como laxante, problemas de colitis, pérdida de peso corporal y para reducir la presión de la sangre (Gurrieri *et al.*, 2000; Scheinvar 1999). Algunas aplicaciones probadas científicamente son: el tratamiento de gastritis, aterosclerosis, diabetes e hipertrofia prostática, disminuye el estrés oxidativo y la circulación de lipoproteínas de baja densidad (LDL) y triglicéridos (Herwood, 1990; Frati *et al.*, 1990; Palevitch *et al.*, 1993; Tesoriere *et al.*, 2005; Stintzing *et al.*, 2005). Se utiliza en tratamientos patológicos severos como dolor reumático, fragilidad capilar, vejez del hígado y úlceras (Muños de Chávez *et al.*, 1995; Domínguez-López 1995). Por lo cual lo hacen ser una excelente alternativa para promover su cultivo y conocer el tiempo de vida de anaquel que puede tener el fruto sin que se afecten sus propiedades iniciales de calidad.

Sin embargo presenta problemas en poscosecha por ser un fruto perecedero. En el área de los alimentos se han empleado principalmente las betalaínas encontradas en los frutos, los cuales son compuestos solubles en agua, derivados del ácido betalámico, los cuales dan la coloración roja que se aplica en la formulación de helados de crema, yogurt de fresa, bebidas deshidratadas, bebidas frías y gelatinas (Vitoria-Matos y Corbelli-Moreno, 2001).

## II ANTECEDENTES

A la fecha se han realizado diferentes estudios al fruto del xoconostle, algunos de ellos como los estudios botánicos realizados por Bravo (1978) que detallan sus características morfológicas y distribución geográfica. Mayorga *et al* (1988) realizaron un estudio agronómico y de composición del xoconostle en el estado de Querétaro, donde determinaron pH, sólidos solubles, porcentaje de pectina y contenido de ácido ascórbico en frutos de *Opuntia joconostle*; Sánchez y Figueroa (1994) analizaron 14 formas físicas (ovalado, periforme, etc.) de xoconostle de esta misma especie en Zacatecas, a las cuales determinaron pesos del fruto, piel (epidermis ), semillas y pulpa; longitud y anchura del fruto; número de semillas y pH. Sánchez y Ortega (1996) realizaron análisis de la epidermis y semillas de xoconostle cuaresmeño en tres etapas de maduración del fruto y en dos épocas de muestreo; estos autores determinaron pH, humedad, proteína, ácidos grasos, hidratos de carbono solubles y ácidos orgánicos.

Pimienta-Barrios, *et al.*, (2008) Realizaron la investigación “Efecto de la ingestión del fruto de xoconostle (*Opuntia joconostle* web) sobre la glucosa y lípidos séricos”, evaluando el efecto de indigestión de la cascara en 23 personas sanas en niveles séricos de glucosa e insulina, y 14 personas se analizaron los niveles de colesterol y triglicéridos, usando como dosis 250 gramos de cascara, tomando 12 muestras de sangre en periodos de 20 minutos.

Después se evaluaron a 10 personas con Diabetes como parte de la dieta los cuales presentaban un nivel de 140 a 200 mg al menos en los últimos 3 meses.

Demostrando que tuvieron una descendencia en las concentraciones de glucosa, colesterol, triglicéridos, aumento de insulina, en personas diabéticas por lo que recomiendan el consumo de la cascara de xoconostle en la dieta de dichas personas.

Guzmán-Maldonado *et al.*, (2010), contribuyeron con análisis nutricionales y fisicoquímicos y características funcionales de frutos de xoconostle (*Opuntia matudae*) de la región centro de México. Encontraron variaciones en: pH 3.0 a 3.1, Brix 1.10 a 1.35, acidez de 0.13 a 0.14 del xoconostle cuaresmeño en 3 regiones de producción en México: Guanajuato, Estado de México y Puebla.

Osorio-Esquivel *et al.*, (2011), realizaron determinaciones en el contenido de fenoles, betacianinas y actividad antioxidante en frutos de *Opuntia joconostle*, el contenido total

fenoles expresado como mg GAE (equivalentes de ácido gálico) fue de  $2.07 \pm 0.01$  mg/g para pericarpio fresco (aproximadamente 19.9 mg GAE/g base peso seco, (DWB)),  $1.48 \pm 0.01$  mg/g para todo el fruto de xoconostle fresco ( $15.01 \pm 0.11$  mg/g DWB),  $1.38 \pm 0.03$  mg/g para mesocarpio fresco (aproximadamente 17.03 mg GAE/g DWB), y  $1.02 \pm 0.03$  mg/g para endocarpio fresco (17.28 mg/g DWB), El contenido de betacianinas más alto fue encontrado en endocarpo ( $23.03 \pm 0.029$  mg betacianinas/100 g peso fresco, FW), seguido por mesocarpo ( $7.25 \pm 0.005$ ) y pericarpio ( $4.56 \pm 0.004$ ). La concentración en el fruto entero era  $7.57 \pm 0.015$  mg betanin/100 g FW. La actividad antioxidante la reportan como porcentaje de inhibición de DPPH, en las tres regiones del xoconostle que varió de un 40 a 85 %.

### III MARCO TEÓRICO

#### 3.1 Xoconostle (*Opuntia joconostle*)

Esta especie, conocida comúnmente como tuna acida, es una cactácea resistente a la sequía. Desde el punto de vista económico, es de gran importancia en la gastronomía mexicana al utilizarse en ensaladas, mermeladas, dulces cristalizados, jugos, refrescos caseros, vinos entre otros. Este tipo de cactácea tiene también importancia en la alimentación animal, tanto por sus cladodios como por sus frutos que son sumamente nutritivos (Frati *et al.*, 1990; Herwood, 1990 y Fernández *et al.*, 1992).

El fruto de xoconostle presenta una cáscara muy gruesa de 1.5 cm de espesor, es comestible ácido y con poca pulpa (Bravo, 1978; Colunga *et al.*, 1986 y Reyes-Agüero *et al.*, 2005). Su nombre común se deriva del náhuatl "Xococnuchtli" que significa tuna ácida (Santamaría, 1992). Se han identificado ocho especies diferentes de esta cactácea. Estas nopaleras crecen de forma silvestre, en regiones semiáridas de México, pero otras especies son cultivadas en jardines y plantaciones comerciales (Scheinvar, 1999; Vigueras y Portillo, 2001; Casas y Barbera, 2002; Reyes Agüero *et al.*, 2005).

El xoconostle (*Opuntia joconostle*) se cultiva en gran parte del centro del estado de Jalisco, en el bosque tropical caducifolio y en el matorral xerófilo en los municipios de San Juan de los Lagos, Tepatitlán y Valle de Guadalupe y en menor abundancia en el

bosque tropical caducifolio que ocupa la Zona Central y gran parte de la Costa de Jalisco y en el bosque espinoso hacia la región del Sureste a su vez se localiza también en el estado de San Luis Potosí en la Pila, en el suelo de origen ígneo (Arias y Martínez, 1988), en los municipios de Pachuca y Zempoala y en el Valle del Mezquital y en la zona árida Queretana Hidalguense (Scheinvar, 1988). En la región del Valle del Mezquital, estado de Hidalgo, el *Opuntia joconostle* c.v. (Burro), es el xoconostle más utilizado por los pobladores, mientras que el *O. matudae* c.v. (Rosa y Blanco) son poco aprovechados (Mayorga *et al.*, 1988).

En México se cultivan 1,031 hectáreas anualmente de xoconostle y su producción es de 10,148 toneladas totales. En Pachuca, su producción es de 184 toneladas, lo que representa 1.87 % de xoconostle total (SAGARPA, 2005).

### **3.2 Características del xoconostle**

Las cactáceas productoras de xoconostle, son arbóreas de 4.1 a 8 m de alto, arbustivas altas de 4 m de alto, subarbustivas de 1 m de alto rastreras (Figura 1).

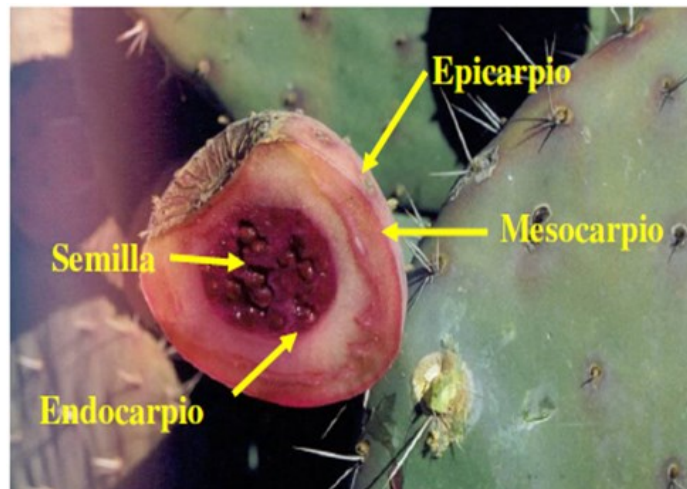


**Figura 1. Planta de xoconostle.**



Morfológicamente el xoconostle se caracteriza por su forma ovoide o esférica, con una depresión en el extremo distal, llamado también “cicatriz umbilical”, (Bravo, 1978).

En la figura 2, se presenta un corte longitudinal del xoconostle, donde se observa que está constituido por el epicarpio formado por la cascara; el mesocarpio y endocarpio, conformados por la pulpa y las semillas, que se encuentran unidas y compactas firmemente por un compuesto mucilaginoso, se caracteriza por un alto desarrollo de la pared del fruto y poco contenido de pulpa (Scheinvar, 2001).



**Figura 2. Corte longitudinal del xoconostle.**

En el cuadro 1 se presentan las características principales del xoconostle *Opuntia matudae* Scheinvar, especie que se cultiva en el estado de Hidalgo.

**Cuadro 1. Características del xoconostle *Opuntia joconostle***

<b>Atributo</b>	<b>Características</b>
Habito	Arbustiva, de 1.5 a 4 metros de altura.
Tronco	Definido y ancho.
Cladodio o artículo	Angosto y abovados, de 20 a 25 cm de largo y de 10 a 15.5 cm de ancho, verde azulado algo grisáceo, generalmente con manchas purpúreas alrededor de las aréolas.
Epidermis	Con tricomas y papilas microscópicas. A simple vista.
Aréolas	De 13 a 14 cm series espiralazas, distantes aproximadamente 2 cm entre sí. Filtro grisáceo-negruzco. Glóquidas de 2-3 mm de largo, castaño-rosado.
Espinas	De 1 a 8 cm generalmente en todas las aréolas, son desiguales, de 0.7 a 3.5 cm de largo, muy delgadas, flexibles, de color blanco grisáceo o amarillento, con el ápice traslúcido.
Flor	De 5 a 7 cm de largo y hasta 8 cm de diámetro en las antesis, amarilla brillante con manchas rojas, pasando con el tiempo a rosado y rojo.
Fruto	Elipsoide a periforme, de 2.5 a 4 cm de largo y 1.5 a 2.5 cm de ancho, externamente verde-purpura y pulpa rosa-rojiza, con cicatriz umbilical profunda; aréolas sin espinas, con lana grisáceo y glóquidas castaño-rojizos.
Semillas	Discoideas, de 4 mm de largo y 3 mm de ancho y 2 mm de espesor, blanquecinas con tonos rosados; arilo lateral de ancho irregular, bien marcado; taza de hilo lateral poco profundo.

Fuente: Filardo *et al.*, 2006.

En la figura 3, se muestran imágenes de las características mencionadas anteriormente.

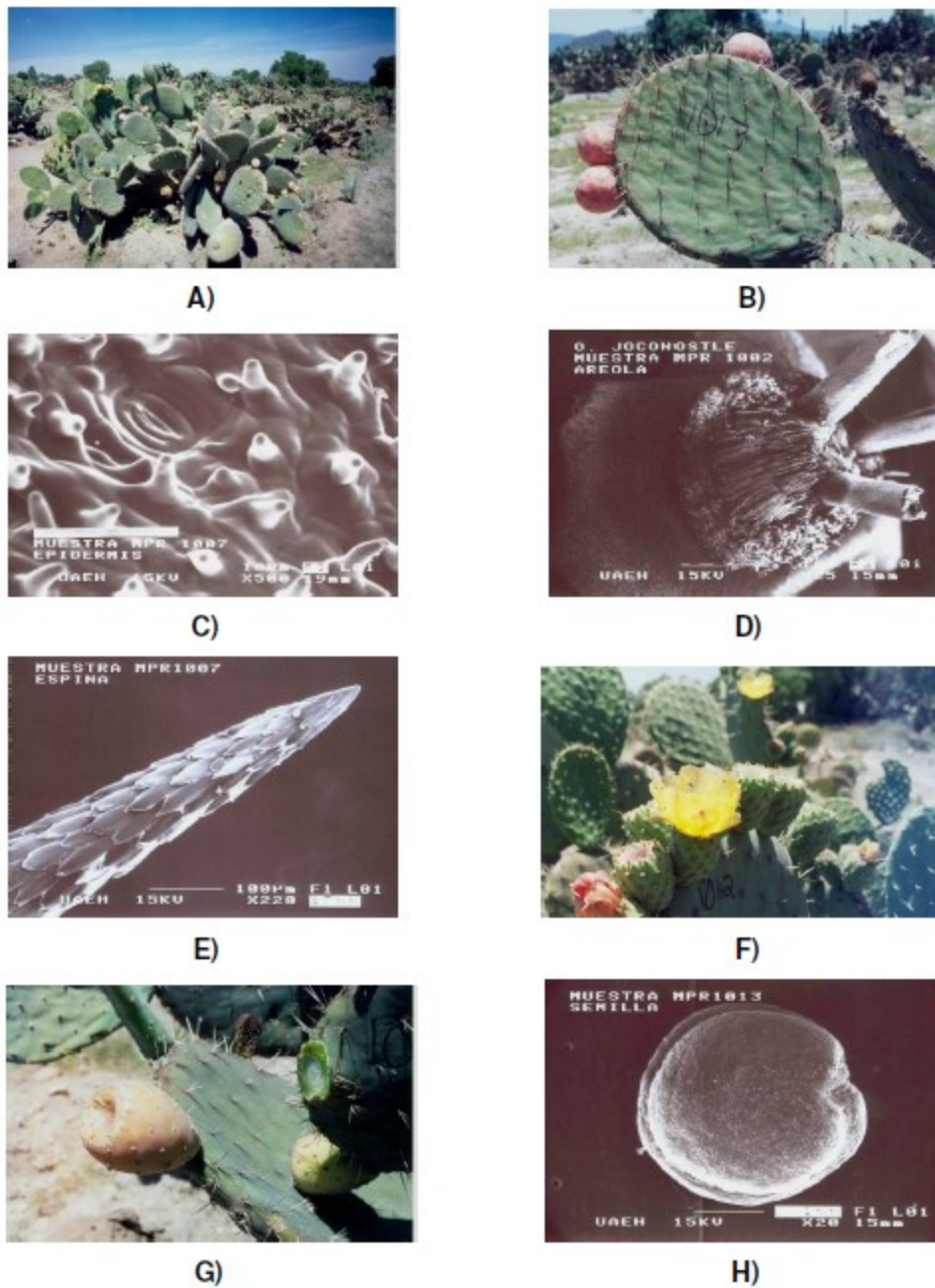


Figura 3. Imágenes de las características de las *Opuntias*.

A) hábito, B) cladodio, C) epidermis, D) aréola, E) espina, F) flor, G) fruto y H) semilla. Fuente: Sánchez, 2006.

### 3.3 Propiedades del fruto del xoconostle

Entre las características fisicoquímicas del fruto destacan su acidez, el pH se encuentra entre 3.7 a 4.5, de ahí su nombre, lo que restringe su consumo, este pH permite que el fruto del xoconostle pueda almacenarse por periodos más largos sin presentar descomposición (Bravo, 1978). Este factor también favorece que el fruto permanezca más tiempo en la planta, incluso varias semanas después de que el fruto ha madurado. Las características nutricionales de la cascara del fruto en polvo se encuentran entre 2.9 a 4.5 (Cuadro 2) (Bedolla *et al.*, 2003).

**Cuadro 2. Composición nutricional de la cascara de la tuna del xoconostle (*Opuntia spp.*)**

Atributo	<i>O. duranguensis</i>	<i>O. joconostle Colorado</i>	<i>O. joconostle Xoconostle</i>	<i>O. leucotricha</i>	<i>O. matudae cv. Blanco</i>	<i>O. matudae cv. Cuaresmeño</i>
pH	3.3	3.1	3.2	4.5	2.9	3.1
Proteína (%)	2.9	3.1	3.2	3.2	3.4	2.2
Lípidos (%)	0.8	0.9	1.0	1.2	0.8	0.8
Carbohidratos (%)	12	9.1	10.7	15	9.3	14.9
Fibra (%)	14.4	11.6	16.7	13.5	14.4	14.4
Na(mg/100g)	14.4	5.9	12.1	10.9	4.8	10.5
K (mg/100g)	1746.8	1943.3	3328.7	3277	1742.2	1451.8

Fuente: García-Pedraza *et al.*, 2005

En la medicina tradicional, el xoconostle se utiliza para reducir el nivel de colesterol, como laxante, problemas de colitis, pérdida de peso corporal y para reducir la presión arterial (Gurrieri *et al.*, 2000; Scheinvar, 1999). Algunas aplicaciones probadas científicamente son: el tratamiento de gastritis, aterosclerosis, diabetes e hipertrofia prostática, disminuye el estrés oxidativo y la circulación de lipoproteínas de baja densidad (LDL) y triglicéridos (Herwood, 1990; Frati *et al.*, 1990; Palevitch *et al.*, 1993; Tesoriere *et al.*, 2005; Stintzing *et al.*, 2005). Se utiliza en tratamientos patológicos severos como dolor reumático, fragilidad capilar, vejez del hígado y úlceras (Muños de Chávez *et al.*, 1995; Domínguez-López, 1995).

### 3.4 Generalidades del xoconostle

La planta de xoconostle tolera la sequía, debido a que presenta adaptaciones fisiológicas tales como la apertura de estomas durante la noche para evitar la transpiración por altas temperaturas que suelen presentarse en zonas áridas y semiáridas en donde crecen. Las pencas están recubiertas por una capa cerosa, lo que le protege de la pérdida de agua, además la planta es capaz de almacenar grandes cantidades de agua, debido a que durante las escasas lluvias tiende a extender sus raíces para absorber y almacenar agua que le permita resistir los climas extremos (Nobel, 2002).

Existe una gran dificultad para la diferenciación de especies debido a que se pueden presentar colores similares en diferentes especies. Existen 8 especies de xoconostle (*O. duranguensis* Britton & Rose, *O. heliabravoana* Scheinvar, *O. imbricata* DC., *O. joconostle* A. Web., *O. Leucotricha* DC., *O. matudae* Scheinvar, *O. velutina* F.A.C. Weber y *O. zamudioi* Scheinvar). Éstas crecen en nopales silvestres en regiones semiáridas de México, pero algunas de esas especies son también cultivadas en jardines domésticos y plantaciones comerciales (Scheinvar, 1999; Casas y Barbera, 2002).

Entre las características fisicoquímicas del fruto de xoconostle destaca su acidez, la cual se encuentra entre un pH de 3.7 a 4.5, lo que restringe su consumo, a diferencia de la tuna dulce, que presenta valores entre 5.2 a 6.0 (Bravo, 1978).

Los frutos de xoconostle tienen un tamaño menor que los de *O. ficus-indica* (Cuadro 3); estos últimos, aunque presentan grandes variaciones pueden llegar a los 250 g por fruto, lo que puede depender del cultivar, del número de frutos por cladodio y de las condiciones ambientales, aunque se considera que un fruto comercial no debiera pesar menos de 120 g (Sudzuki *et al.*, 1993; Barbera e Inglese, 1992).

**Cuadro 3. Comparación morfológica de especies tuneras y xoconostle (*Opuntia spp.*).**

Atributo	Xoconostle	Tuna
Peso del fruto (g)	48.25	178.25
Peso de piel (g)	8.65	66.7
Peso de pulpa (g)	40.15	107.75
Peso de semillas (g)	1.6	7.0
Longitud del fruto (cm)	4.8	9.1
Anchura del fruto (cm)	4.225	6.1

Fuente: Peralta (1983), Sánchez y Figueroa (1994).

Sin duda, entre *O. joconostle* (*xoconostle*) y *O. ficus-indica* (*tuna dulce*) existe una diferencia significativa en el contenido de sólidos solubles, que es notablemente menor (cerca de 5%) en frutos de xoconostle y en la acidez y contenido de ácido ascórbico (76.8 mg/100g), valores que son superiores en xoconostle respecto a los valores que presenta *Opuntia ficus-indica* (Cuadro 4). Estas características hacen que el destino industrial de los frutos difiera entre las especies (Villegas y de Gante, 1997).

**Cuadro 4. Algunos atributos químicos en base seca de especies tuneras y xoconostle.**

Atributo	Pulpa y semilla de tuna	Cáscara y semilla de xoconostle
pH	5.8	3.3
Proteína (%)	0.8	5.1
Lípidos (%)	1.1	5.2
Carbohidratos totales	49.1	-----
Fibra cruda (%)	0.4	12.0
Pectina (%)	1.1	12.7
Ácido cítrico (mg/ 100g)	1.2	23.6
Ácido ascórbico (mg/100g)	186.7	49.1
Cenizas (%)	2.6	17.0

Fuente: Sawaya et al (1983), Barbera e Inglese (1992), Sánchez y Ortega (1996) y Scheinvar et al., (2003)

### **3.5 Descripción Botánica de algunas especies de xoconostle**

#### **3.5.1 *Opuntia matudae***

El xoconostle, de variedad cuaresmeño es la fruta o tuna del nopal; sus características principales destacan que el fruto está compuesto por: pericarpio blanco y ligeramente transparente, mesocarpio firme y carnosos, de sabor ácido, endocarpio escaso e insípido y las semillas, presentes en el endocarpio, que son de color café oscuro, de forma ligeramente esférica. Este fruto no entra en estado de putrefacción tan rápidamente como la tuna dulce y puede permanecer hasta un año en la planta en estado de madurez sin que se deteriore (Mena, 2003).

La planta es típicamente xerófila, crece en forma silvestre y cultivada, en clima árido y semiárido. La planta de acuerdo con Bravo, (1987) mide de 3 a 4 metros de altura, tiene el tronco bien definido, con pencas de 20cm grisáceas, con ramificaciones abundantes, la flor es amarilla.

Los frutos del Cuaresmeño son de mayor tamaño, con valores promedio para peso de fruto (60.14 g) y peso del pericarpio (50.56 g), números de semillas (164.22) y área fotosintética (421.31 cm), supera casi al doble a la mayoría de las formas en estos parámetros. La proporción relativa de los tres componentes principales del fruto, indica que el pericarpio constituye la porción más prominente (Sánchez, 1987); los promedios generales son: pericarpio 81.4%, pulpa 16.37% y semillas 2.23%.

Se localiza principalmente en los estados de Hidalgo, Querétaro, y el Estado de México (Bravo, 1978; González *et al.*, 2001).

### **3.5.2 *Opuntia duranguensis***

Planta arborescente de hasta 4.0 m de alto, de tronco bien definido. Sus cladodios son obovados. Miden hasta 27.0 cm de longitud y 20.0 cm de anchura; epidermis pubescente de color verde claro amarillento y en invierno presenta manchas púrpuras bajo las areolas. Tienen frutos redondeados, ligeramente alargados; de 3.0 a 4.5 cm de longitud y 4.0 cm de diámetro; color verde amarillento a rojizo; con cáscara de sabor ácido. Se localiza principalmente en los estados de Aguascalientes, Durango, Jalisco, San Luis Potosí, Zacatecas y Estado de México (Bravo, 1978; González *et al.*, 2001)

### **3.5.3 *Opuntia oligacantha* C.F. Först (Ulapa)**

Planta arbustiva de hasta 2.0 m de altura de tronco bien definido. Sus cladodios son obovados, ovados o romboides; miden hasta 28.0 cm de longitud y 21.0 cm de anchura; epidermis glabra (en ocasiones cerosa) color verde claro (ligeramente amarillento), en invierno presenta manchas púrpuras bajo las areolas. Tiene frutos globosos, subglobosos o cilíndricos; de 3.5 cm de longitud y hasta 5.5 cm de diámetro con cicatriz floral (ombligo) hundida; color verde-amarillo a rojo; con cascara gruesa y de consistencia y sabor ácido agradable (Bravo, 1978; Sánchez y Figueroa, 1994; González *et al.*, 2001).



Se localiza principalmente en los estados de Guanajuato, Jalisco, Querétaro, San Luis Potosí, Valle de México, Zacatecas (Bravo, 1978; González *et al.*, 2001)

#### **3.5.4 *Opuntia leucotricha* de Candolle**

Planta arborescente de hasta 5.0 m de altura, con un tronco bien definido. Sus cladodios son oblongos abovados; miden hasta 30.0 cm de longitud y 17.0 cm de anchura; epidermis pubescente, de color verde claro a oscuro. Tiene frutos obovados a subglobosos; de 4.0 a 6.0 cm de longitud y 3.0 a 3.5 cm de diámetro, ligeramente umbilicado; color verde amarillento; con cascara gruesa, ácida, aromática y comestible (Bravo, 1978; González *et al.*, 2001).

Se localiza principalmente en los estados de Coahuila, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Querétaro, San Luis Potosí y Zacatecas (Bravo, 1978; González *et al.*, 2001).

#### **3.5.5 *Opuntia matudae* Scheinvar**

Planta arbustiva, de 1.5 m a 4.50 m de altura, con tronco bien definido. Sus cladodios son abovados; de 20 a 25 cm de longitud y de 10 cm de anchura; epidermis de color verde azulado-grisáceo, con manchas purpuras alrededor de las areolas. Tiene fruto elipsoides o piriformes; de 2.5 a 4.0 cm de longitud y 1.5 a 2.5 cm de anchura; color verde, amarillo o rojo; cascara muy gruesa (Scheinvar, 1999).

Se localiza principalmente en los estados de Hidalgo, Querétaro y el estado de México (Bravo, 1978; González *et al.*, 2001).

#### **3.5.6 *Opuntia joconostle***

Son plantas arborescentes de hasta 3 a 4 m de altura, con un tronco bien definido de unos 20 cm de diámetro, grisáceo, con ramificaciones abundantes y cladodios

pequeños, ovales, de espinas blancas de longitud desigual, flor amarilla, frutos subgloboso de 3 a 5 cm de diámetro y de 3 a 4.5 cm de altura, con la pulpa ácida rosácea, ligeramente perfumada, el pericarpio es delgado y de consistencia fibrosa.

Este tipo de planta son plantas descuidadas, susceptibles a plagas, enfermedades, maltratos físicos por animales y hasta del propio hombre, ocasionándoles problemas de alteraciones físicas y malformaciones (Domínguez, 1991).

### **3.6 Adaptabilidad del xoconostle a zonas áridas y semiáridas**

Las plantas xerófitas presentan una gran adaptabilidad a las zonas semiáridas sabido a sus características, ya que son plantas suculentas, que debido a su cutícula blanquecina no permiten la evaporación rápida, y disminuye aún más la evaporación debido a que presentan espinas en lugar de hojas facilitando la retención de líquidos.

Debido a que sus raíces son superficiales, presentan una gran capacidad de absorción de líquidos, cuando las lluvias son ligeras y escasas (Bravo, 1977).

### **3.7 Efectos ecológicos del xoconostle.**

Desgraciadamente, es un hecho de que la tierra árida se está extendiendo en el mundo. Las fluctuaciones climáticas, cambios ecológicos y la presión de la población son las causas que aceleran el proceso de desertificación en la tierra útil cada año. El hombre inconscientemente trata de sacar el mayor provecho a la tierra sin tener en cuenta las repercusiones negativas que puede ocasionar su actividad. El cultivo de xoconostle es una alternativa que se puede prestar a este juego. Así pues se concluye que el manejo de este cultivo brinda a estos tipos de suelos, la clave para el problema ecológico que solo el hombre es responsable de la erosión que se puede ocasionar (Mena, 2003).

### **3.7.1 Valor nutrimental**

El fruto del xoconostle cuaresmeño pesa 53 g en promedio. De su peso total, el 23% corresponden a la piel, 62% a la cáscara y 15% a la pulpa. Se considera como piel la porción que se desecha al pelar el fruto; sin embargo, hay quienes consumen tanto la piel como la cáscara.

La cáscara aporta 0.12 g de proteína, 0.64 g de fibra, 0.34 g de lípidos, 0.60 g de ceniza y 4.92 g de carbohidratos. Sin embargo si se consumiera la piel y la pulpa, el aporte de proteína y fibra se incrementaría en 33 y 43% respectivamente. En el caso de la fibra, este incremento es significativo dado que la piel y la pulpa aportan el 6% del requerimiento diario recomendado.

En el fruto del xoconostle el contenido de lípidos es similar al de la tuna y otros frutos de consumo común. Por su parte los carbohidratos son compuestos complejos que al no ser digeridos por el tracto digestivo superior no contribuyen a la ganancia de peso o de glucosa en la sangre

Con respecto al contenido de minerales, el xoconostle Cuaresmeño aporta cantidades similares a los de la tuna. Si se consume la piel y la cáscara de un xoconostle de 53 g aporta un 0.28 mg de hierro, 0.09 mg de zinc, 0.20 mg de calcio, 0.24 mg de potasio y 0.08 mg de magnesio, lo que representa el 2% del requerimiento mínimo diario, por lo que se puede considerar una fuente moderadamente aceptable de este mineral.

### **3.7.2 Fenoles**

Los compuestos fenólicos o polifenoles constituyen un amplio grupo de sustancias químicas, con diferentes estructuras y propiedades químicas y actividad biológica, englobando más de 8000 compuestos distintos. Químicamente, los compuestos fenólicos son sustancias que poseen un anillo aromático, con uno o más grupos hidróxidos.

Los compuestos fenólicos presentan un numeroso grupo ampliamente distribuido en la naturaleza. Son componentes importantes en la dieta humana, el consumo promedio de fenoles en los países europeos se estima en 23 mg/día. Existe un

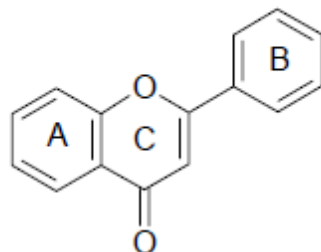
interés creciente en los compuestos fenólicos debido a su efecto contra algunas enfermedades como ciertos cánceres y desordenes cardíacos derivados de su poderosa actividad antioxidante.

Como antioxidantes, los polifenoles pueden proteger las células contra el daño oxidativo y por lo tanto limitar el riesgo de varias enfermedades degenerativas asociadas al estrés oxidativo causado por los radicales libres. El estrés oxidativo se define comúnmente como el desequilibrio entre las especies oxidantes y reductoras a nivel celular en un organismo.

Los compuestos fenólicos poseen una estructura química especialmente adecuada para ejercer una acción antioxidante actuando como captores de radicales libres neutralizando peligrosas especies reactivas de oxígeno e iones metálicos quelantes. Además, debido a su reactividad, se encuentran en la mayoría de los casos combinadas con un ácido orgánico, un azúcar o bien, con ellas mismas para formar un polímero.

Entre los compuestos fenólicos más importantes se encuentran los flavonoides los cuales, además de su comprobada actividad antioxidante, se les ha atribuido una gran diversidad de efectos terapéuticos, tales como actividades cardiotónica, antiinflamatoria, hepatoprotectora, antineoplástica, antimicrobial, etc. De aquí la importancia del estudio de las propiedades antioxidantes de los vegetales utilizados en la alimentación humana y animal y uno de los objetivos de este trabajo (Gutiérrez *et al.*, 2008).

Los flavonoides, uno de los dos grandes grupos de compuestos fenólicos junto con los ácidos fenólicos, son un grupo extenso de compuestos derivados del benzo-pirano. Poseen varios grupos hidroxilos enlazados a estructuras anulares, C6-C3-C6, designadas como A, B y C (Figura 4.). Dependiendo del grado de oxidación y de sustitución del anillo pirano central pueden subdividirse en flavonas, flavonoles, flavononas, isoflavonas, flavanos y antocianinas. El anillo pirano puede ser abierto (chalconas) y reciclado en un anillo furano (auronas).



**Figura 4. Estructura básica del esqueleto flavonóico.**  
**Fuente: Cartaya 2001.**

Está comprobado que los flavonoides son importantes para el desarrollo y buen funcionamiento de las plantas al protegerlas contra agentes agresores externos, como la radiación UV, microorganismos, animales herbívoros y del medio ambiente. Pueden actuar como señalizadores químicos, indicando a los insectos que planta es apropiada para su alimentación, oviposición o simplemente guiándolos y facilitando así la polinización.

En su relación con el hombre, se utilizan para tratar enfermedades relacionadas con procesos inflamatorios y desordenes cardiovasculares debido a la actividad que ejercen sobre el sistema circulatorio mejorando la circulación periférica, la movilización del colesterol y disminuyendo la fragilidad capilar. Algunos flavonoides pueden presentar actividad hepática protectora, antialérgica, antitrombótica, anticancerígena, antibacteriana, antifúngica, e incluso pueden ejercer efectos inhibidores sobre algunas enzimas.

Otra de las propiedades de los flavonoides es su capacidad para contribuir a las propiedades de los alimentos, como el sabor o la dulzura. Utilizados en la industria de los cosméticos por su actividad desodorante y reductora de la hiperpigmentación causada por la vejez.

La extracción de los diferentes flavonoides se realiza a partir del material fresco o incluso seco, siempre y cuando no se altere su composición. Se utilizan inicialmente disolventes no polares o ligeramente polares para separar las clorofilas gomas y agliconas de flavonoides altamente metoxiladas. Los flavonoides, que poseen un gran número de grupos hidroxilos insustituídos o

azúcares, son considerados polares, por lo que son ligeramente solubles en disolventes polares, como el metanol, etanol, acetona, o agua. El filtrado final se concentra y todo el disolvente se remueve. Este proceso es favorable para la extracción de la mayoría de los flavonoides pero no para antocianidinas o flavonoides de baja polaridad los cuales aparecen en la superficie de las plantas.

El contenido de fenoles y flavonoides totales en siete extractos naturales fueron determinados mediante espectrofotometría. Los resultados se reportaron en equivalentes de ácido gálico y de catequina (Cartaya *et al.*, 2001).

Los compuestos fenólicos son efectivos donadores de hidrógenos. Su potencial antioxidante depende del número y la posición de los grupos hidroxilos, así como de la presencia de electrones donadores en su anillo aromático estructural. Las antocianinas poseen una estructura química adecuada para actuar como antioxidantes, ya que pueden donar hidrógenos o electrones a los radicales libres o bien, atraparlos y desplazarlos en su estructura aromática.

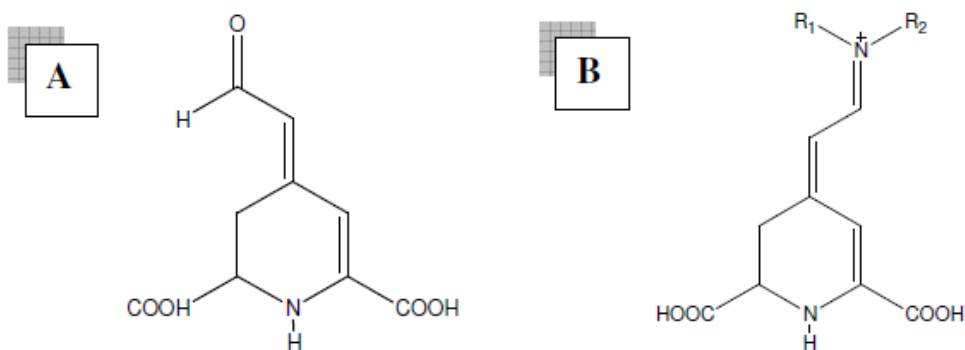
Los compuestos fenólicos constituyen una gran familia de metabolitos secundarios con distintas características químicas y propiedades biológicas, sin embargo, comparten algunas de ellas; una de las más importantes es la de neutralizar la acción de radicales libres, que evita o retarda los procesos de lipoperoxidación y, consecuentemente, el daño celular; Por esto, desde hace un tiempo se ha venido estudiando el impacto en la salud de la población, del consumo de alimentos y suplementos que los contienen; se ha observado una disminución en la mortalidad y morbilidad por causa de enfermedades degenerativas, sobre todo al nivel cardiovascular.

A pesar de los efectos benéficos que presentan los agentes antioxidantes para la salud, su aplicación comercial está limitada, ya que factores como la luz, la humedad, el oxígeno y la temperatura afectan su estabilidad. Por esta razón, el uso de tecnologías para preservar estos compuestos, se vuelve una herramienta útil para obtener productos estables (Kuskoski *et al.*, 2004).

### 3.7.4 Betalaínas

El término "betalaínas" fue establecido por Mabry y Dreiding en 1968, basado en consideraciones estructurales y biogénicas. En un sentido estricto, las Betalaínas no pertenecen a los alcaloides porque son de naturaleza ácida debido a la presencia de varios grupos carboxilo. Las betalaínas son pigmentos hidrosolubles y existen como sales en las vacuolas de las células vegetales. Las plantas que contienen estos pigmentos se limitan a 10 familias del orden Centrospermae.

Químicamente, la definición de betalaínas abarca a todos los compuestos con estructuras basadas en la fórmula general mostrada en la figura 5; por lo tanto, son derivados de la condensación de una amina primaria o secundaria con el ácido betalámico. El cromóforo de la betalaína se puede describir como un compuesto protonado 1,2,4,7,7-pentasustituido y el sistema 1,7-diazaheptametina.



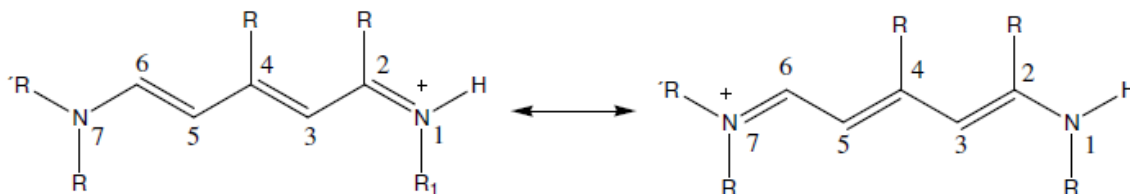
**Figura 5. Estructura química de la betalaína.**

**(A) Ácido betalámico presente en todas las moléculas de las betalaínas. (B) La estructura representa una betacianina o una betaxantina, dependiendo de los sustituyentes R<sub>1</sub> y R<sub>2</sub>.**

**Fuente: Sánchez 2006.**

Se conocen más de 50 betalaínas, y todas tienen la misma estructura básica, en la cual R<sub>1</sub> y R<sub>2</sub> puede ser un hidrógeno o un sustituyente aromático. Su color se le

atribuye a los dobles enlaces conjugados en resonancia del núcleo aromático-R sustituido con el cromóforo del 1,7-diazoheptametina (Figura 6).

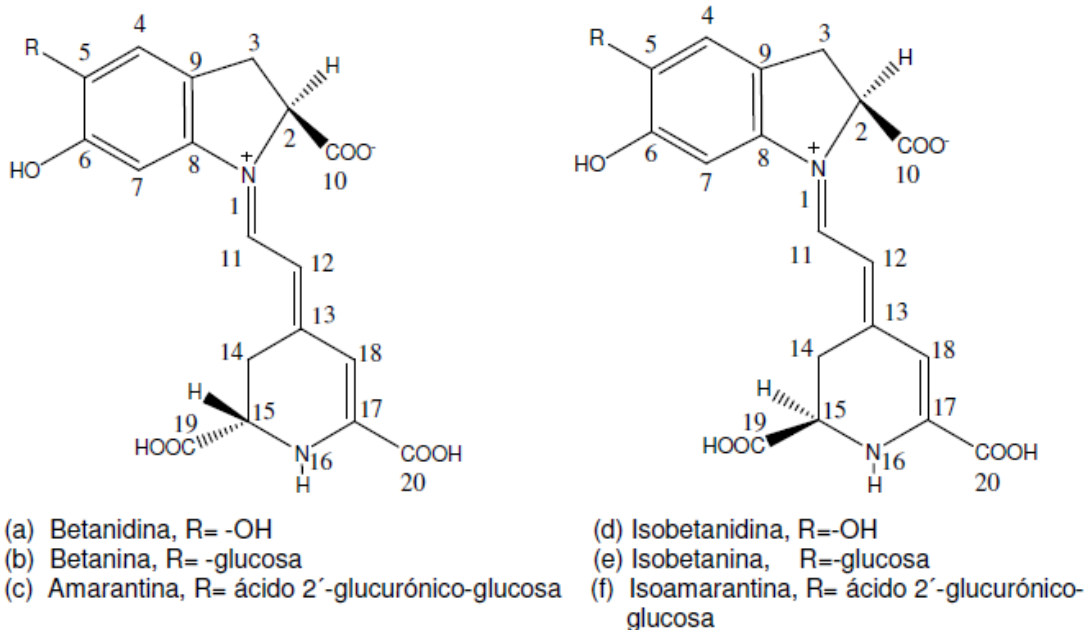


**Figura 6** Cati3n diazaheptametina.

Fuente: S3nchez 2006.

Cuando 'R no amplía la conjugaci3n del sistema 1,7-diazaheptametina, el compuesto exhibe un m3ximo de absorci3n de luz a aproximadamente 480 nm, característico de las betaxantinas amarillas. Si la conjugaci3n se amplía a 'R, el m3ximo de absorci3n de luz se desplaza aproximadamente a 540 nm, característico de las betacianinas rojas. Las betacianinas son 3pticamente activas porque tienen 2 carbonos quirales C-2 y C-15 (figura 7). La hidr3lisis de la betacianina produce la betanidina (figura 7) o el epímero en C-15 isobetanina (Figura 7d) o una mezcla de las dos agliconas isómeras. Las diferencias entre betacianinas se deben a su residuo gluc3sido. Entre las principales hortalizas que contienen betalaínas se encuentran: el betabel (*Beta vulgaris*) y el amaranto (*Amaranthus tricolor*). Las principales betacianinas del betabel son la betanina y la isobetanina (Figura 7b, e), en tanto que el amaranto contiene amarantina e isoamarantina (Figura 7c, f). Las betalaínas m3s estudiadas han sido las del betabel.

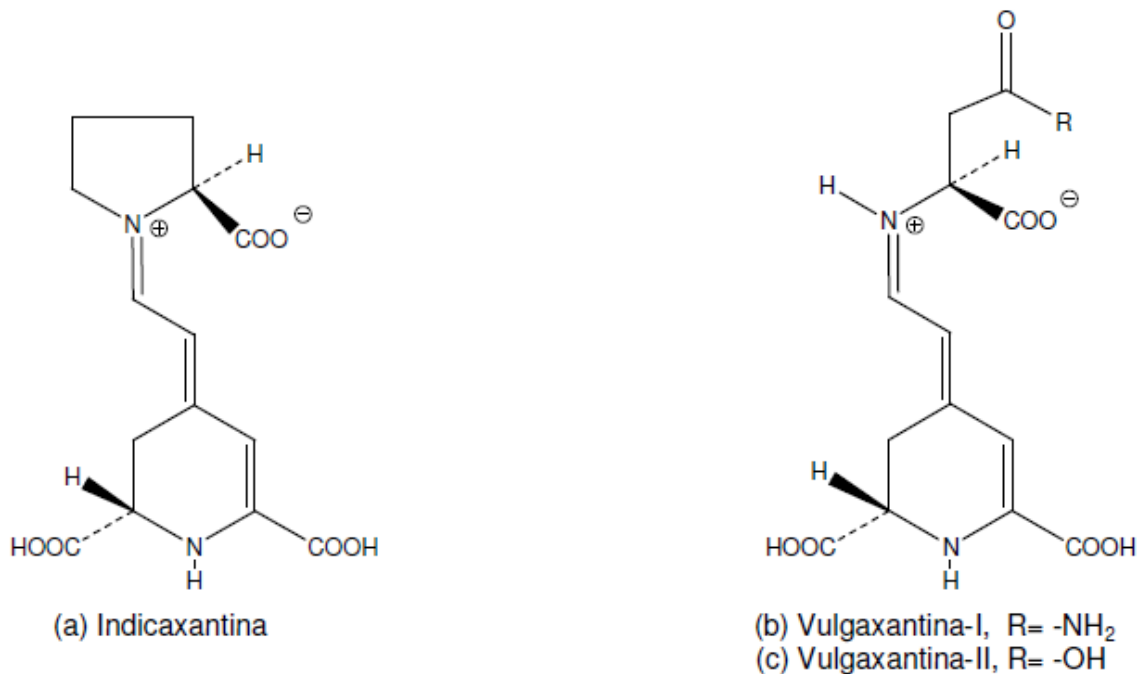




**Figura 7 Estructura de las betacianinas.**

**Fuente: Sánchez 2006.**

La primera betaxantina aislada y caracterizada fue la indicaxantina (figura 8a). Estructuralmente, estos pigmentos son muy similares a las betacianinas. Las betaxantinas difieren de las betacianinas en que el grupo indol es sustituido por un aminoácido. En el caso de la indicaxantina el aminoácido es la prolina. Del betabel se han aislado dos betaxantinas, vulgaxantina I y II (figura 8b, c). Ambas difieren de la indicaxantina en que la prolina ha sido sustituida por glutamina o ácido glutámico, respectivamente.



**Figura 8 Estructura de las betaxantinas.**  
Fuente: Sánchez 2006.

Aunque hasta la fecha se han caracterizado pocas betaxantinas, considerando el número de aminoácidos existente, es probable que exista un gran número de betaxantinas diferentes (Sanchez, 2006).

### 3.7.5 Antioxidantes

Un antioxidante biológico es definido como “cualquier sustancia que cuando está presente en bajas concentraciones comparado con el substrato oxidable, reduce o previene significativamente la oxidación de este sustrato” (Benzie y Strain, 1996). Es así como los radicales libres y las EOR (especie oxigenada reactiva) usualmente son removidas o inactivadas *in vivo* por enzimas antioxidantes endógenas, como la superóxido dismutasa, la peroxidasa y por compuestos de bajo peso molecular como el tocoferol, el ácido ascórbico y por polifenoles, reduciendo de esta forma los posibles daños inducidos por el estrés oxidativo. Sin embargo, las EOR se tornan dañinas cuando se producen en exceso bajo ciertas condiciones anormales, como inflamación, isquemia y en presencia de iones

catalíticos, por ejemplo  $\text{Fe}^{2+}$ , (Adelman, 2005). Por ello, el consumo de alimentos funcionales está asociado con la disminución de enfermedades crónicas, debido a la presencia de compuestos bioactivos, entre los que se encuentran antioxidantes tales como vitaminas C y E, carotenoides, flavonoides, taninos y otros compuestos fenólicos (Dasgupta y De, 2007). Esto sumado a la tendencia de los consumidores de incluir en sus dietas alimentos saludables y utilizar extractos de plantas y sus componentes activos para curar y prevenir enfermedades; ha conducido a la búsqueda de antioxidantes de origen natural que prevengan el estrés oxidativo en el cuerpo humano, y detengan la peroxidación lipídica que conduce al deterioro de los alimentos.

Los antioxidantes más importantes son:

- La Vitamina C
- Los Beta-carotenos
- La Vitamina E

El selenio, cobre, zinc y manganeso juegan también un papel muy importante al formar parte de metaloenzimas imprescindibles en el sistema redox del organismo. El selenio forma parte de la glutatión peroxidasa, y los restantes minerales están involucrados con el centro catalítico de la familia de las superóxido dismutasas, todas ellas vitales dentro del sistema metabólico como agentes antioxidantes por excelencia.

Fuentes de Vitamina C

Los frutos que contienen vitamina C son: guayaba (400 a 500 mg/100 g); naranja y toronja (30 a 50 mg/100 g); piña, papaya, col y tomate (25 a 30 mg/100 g); espinacas, repollo y chiles (18 a 25 mg/100 g); papa (15 a 20 mg/100 g); manzanas (8 a 10 mg/100 g).

## Fuentes de Beta-Carotenos

Los frutos que contienen beta-carotenos (como vitamina A) son: zanahoria (9500 U.I./100 g); espinacas (7800 U.I./100 g); calabaza (7100 U.I./100 g); papaya (3500 U.I./100 g); brócoli (3000 U.I./100 g); aguacate (900 U.I./100 g); chiles y pimientos (300 U.I./100 g).

## Fuentes de Vitamina E

Los frutos que contienen vitamina E son: aceite de girasol (75 mg/100 g); aceite de soya (68 mg/100 g); aceite de oliva (30 mg/100 g); almendras (29 mg/100 g); cacahuates (19 mg/100 g); mantequilla (3 mg/100 g); huevos (1 mg/100 g) y leche entera (0.1 mg/100 g).

### **3.7.6 Actividad antioxidante**

Se ha establecido que la exposición de los organismos a factores exógenos y endógenos, genera diversas EOR tales como los radicales superóxido ( $O_2^-$ ) e hidroxilo (OH) y otras especies radicalarias no libres como  $H_2O_2$  y el oxígeno singulete ( $^1O_2$ ), que inducen alteraciones en las células, 51 citotoxicidad y/o indirectamente genotoxicidad; favoreciendo la aceleración del envejecimiento y la aparición de cáncer, enfermedades cardiovasculares y degenerativas (Dasgupta y De, 2007; Tripathi *et al.*, 2007).

### **3.7.7 Mecanismos de reacción de los antioxidantes**

En general los antioxidantes pueden ser clasificados dentro de dos categorías respecto a su mecanismo:

1. Antioxidantes preventivos: inhiben la formación de especies de oxígeno reactivo. Dentro de estos antioxidantes se encuentran el peróxido dismutasa, catalasa, peroxidasa y transferrin.

2. Antioxidantes de rompimiento de cadena: son compuestos que eliminan el oxígeno radical y por lo tanto rompen la secuencia en cadena del radical. Ellos incluyen vitamina C, vitamina E, ácido úrico, bilirrubina y polifenoles, entre otros. Para el rompimiento de la cadena, se presenta:
  - a) Una transferencia del átomo de hidrógeno (TAH), donde el radical oxigenado captura un hidrógeno del antioxidante, resultando en la formación de un radical estable del antioxidante.

### **3.7.8 Radicales Libres**

Los radicales libres son átomos o moléculas que poseen un electrón extra no apareado en su órbita externa, generando una alta inestabilidad, los cuales son tóxicos y generadores de enfermedades, activando reacciones en cadena que culmina en la destrucción total de la célula. Actualmente es evidente que existe una relación entre alimentación y las enfermedades crónico – degenerativas, las cuales también se relacionan directamente con los radicales libres, esto es debido en gran parte al estrés oxidativo generado, contribuyendo de manera significativa el estilo de vida, tipo de alimentos que se ingieren y la manipulación o exposición a sustancias químicas que contribuyeron a la disminución de la resistencia a las enfermedades (Reyes, 2007).

Los radicales libres pueden afectar varios sustratos como: lípidos, ácidos nucleicos y las proteínas, siendo los más susceptibles los ácidos grasos poliinsaturados y los ésteres de colesterol (Speisky 2000).

Los antioxidantes neutralizan la acción de los radicales libres; éstos al interactuar con el radical libre ceden un electrón y se oxidan. Por lo que la reposición de ellos debe ser continua mediante la ingestión de alimentos que los contienen (Yanishlieva, 2001).

### **3.8 Perdidas poscosecha en tuna en México**

En México se cultivan cerca de 45,000 hectáreas de nopal tunero, con 20,000 productores, concentrándose el 90 por ciento en los estados de México, Zacatecas, San Luis Potosí, Hidalgo y Puebla (ASERCA, 1999 y Ventura y Pimentel, 1994) La superficie anterior cubre cerca del 90 por ciento de lo cultivado a nivel mundial. La tuna se puede industrializar para consumo humano en forma de fermentados, jugos, queso de tuna, mermeladas entre otros (Higareda, 1994 y Sáenz, 1999). Sin embargo, la tuna se consume y comercializa en fresco en el país o se exporta a muchas partes del mundo (Castellanos *et al.*, 1999). Por lo anterior, el manejo adecuado de la tuna para aumentar su tiempo de conservación repercute en mayores beneficios económicos para los productores (Corrales, 1997). Todo esto ha provocado una serie de investigaciones encaminadas a prolongar la vida del fruto en fresco.

Las pérdidas poscosecha es uno de los principales problemas que enfrentan los productores de tuna, debido a que las operaciones de cosecha, manejo y distribución envuelven numerosas operaciones mecánicas produciendo daños por compresión e impacto; estas lesiones se vuelven muy evidentes después de algunos días, siendo factores de deterioro y dando un mal aspecto.

Por lo tanto, la calidad y presentación de la tuna juegan un papel importante para su comercialización, siendo un fruto altamente perecedero, que si no se refrigera, se pierde rápidamente en poscosecha (Mondragón, 1993).

En México se presentan dos problemas relacionados con la época de producción de tuna, el primero es que la mayor parte, casi el 90 por ciento se cosecha en tres meses: Julio, Agosto y Septiembre, y el segundo problema reside en que la tuna debe competir con las otras frutas (uva, manzana, durazno, naranja y guayaba) que se cosechan en México en la misma época, lo que provoca que a finales de Julio bajen los precios de la tuna, por lo cual se hace énfasis nuevamente de abordar el tema de la evaluación de la vida de anaquel y mejoras en las diferentes variedades de xoconostle, para poder incrementar su competitividad en los mercados durante tiempos más prolongados que los que se tienen (Mercado *et al.*, 2010).

De ahí el interés de evaluar las propiedades fisicoquímicas de este producto bajo almacenamiento refrigerado, para determinar su respuesta en tales condiciones debido a que en un momento dado pueden ser consideradas al aplicar cualquier tecnología de procesamiento.

Actualmente se ha buscado la combinación de tecnologías alternativas y/o tradicionales para la conservación de alimentos. El almacenamiento a bajas temperaturas es el método de conservación más utilizado para productos en fresco. Este ayuda a mantener una adecuada apariencia, reducir la respiración y reacciones enzimáticas, así como disminuir el ablandamiento y crecimiento microbiano (Aguayo, 2003).

### **3.9 Conservación de la tuna bajo diferentes manejos poscosecha**

González *et al.*, (2001) evaluaron la conservación de la tuna “Burróna” bajo diferentes manejos poscosecha. Las variables que evaluaron durante tres meses de almacenamiento en periodos de 15 días fueron: densidad, peso relativo de la cáscara, peso relativo del lóculo, pH, °Brix y cenizas. Además, midieron el cambio en la apariencia del fruto, durante su almacenado y la incidencia de microorganismos. Los resultados mostraron la presencia principalmente de levaduras al principio del trabajo, y de hongos filamentosos en la cutícula al final del trabajo. En los resultados no se manifestó efecto alguno, debido al tratamiento de asoleado por ocho horas de las tunas o el mantenerlas en la sombra. Resultados similares se observaron bajo el tratamiento de desespinado, comparado con las tunas sin desespinar. Sin embargo, observaron la presencia de un mayor daño físico en el manejo de las tunas desespinaadas, lo que favorecía la entrada de microorganismos. El utilizar un corte manual o con cuchillo no mostró diferencias significativas en las variables evaluadas. Sin embargo, en cuanto al mayor tiempo de almacenamiento de las tunas se conservaron mejor las cortadas con cuchillo, porque sufrieron menos daño en la base. El encerado, aunque ayudó a mantener el peso del fruto, fue un factor que promovió la descomposición de la fruta, por las condiciones anaeróbicas que favorecieron el desarrollo de levaduras

y hongos. Los resultados mostraron que el almacenamiento bajo refrigeración es más indicado que el de temperatura ambiente. Las tendencias de acuerdo al conjunto de los resultados obtenidos, indican que el manejo más adecuado de la cosecha y poscosecha de la tuna es el de realizar un corte con cuchillo, sin recubrimiento de parafina y almacenado en refrigeración (4°C), ya que más del 60 por ciento de las tunas se mantuvieron aceptables bajo estas condiciones hasta después de los 75 días.

### **3.10 Efecto del almacenamiento a diferentes temperaturas sobre la calidad de Tuna Roja**

Ochoa y Guerrero, (2011) estudiaron el efecto del almacenamiento a diferentes temperaturas sobre la calidad de tuna roja (*Opuntia ficus indica* (L.) Miller), variedad San Martín. El fruto se almacenó a 4, 9 y 28°C para determinar su vida útil. Se realizó semanalmente la caracterización fisicoquímica, enzimática, antioxidante y microbiológica durante el almacenamiento, hasta observar características no aptas para el consumo. Se observó que el tiempo y la temperatura de almacenamiento son factores que afectan de manera significativa ( $P < 0,05$ ) a la pérdida de peso, la textura y la actividad de la polifenoloxidasas en cáscara de tuna. El contenido de compuestos fenólicos, la capacidad antioxidante y la actividad de la enzima pectinesterasa en pulpa de tuna no presentaron diferencia significativa ( $P > 0,05$ ) a las diferentes temperaturas de almacenamiento. Sin embargo, la actividad antioxidante presentó un aumento significativo con el tiempo.

Las bajas temperaturas de almacenamiento ayudaron a aumentar la vida útil de la tuna roja San Martín, disminuyendo la pérdida de peso, resistencia a la penetración, el oscurecimiento enzimático y la actividad microbiana. Sin embargo, no tienen efecto sobre la pectinesterasa y los compuestos antioxidantes. Por otra parte, el tiempo de almacenamiento es el factor más determinante en la calidad de la tuna. Estos estudios pudieron ayudar a seleccionar la temperatura de



almacenamiento de la tuna roja San Martín, ya que la tuna se mantuvo con buen aspecto físico hasta los 28 días de almacenamiento.

### **3.11 Estudio de propiedades Fisicoquímicas de tuna bajo almacenamiento refrigerado**

Mercado *et al.*, (2010) evaluaron las características fisicoquímicas de cuatro variedades de Tuna (*Opuntia spp.*) bajo condiciones de almacenamiento refrigerado. De la evaluación de las propiedades mecánicas (Relajación, Penetración y Análisis de Perfil de Textura (TPA) de las cuatro variedades de tuna bajo almacenamiento refrigerado (6 a 8 °C) con y sin cáscara, concluyeron que las variedades de Xoconostle y Esmeralda son las que presentaron mayor resistencia, y las variedades Roja y Morada presentaron menor resistencia. Además la mayoría de estas propiedades se mantuvieron durante el almacenamiento refrigerado durante 60 días entre 6 a 8 °C. De la evaluación de las Propiedades Fisicoquímicas (°Brix, pH, Acidez, Color, Peso) de las cuatro variedades de tuna bajo las mismas condiciones, concluyeron que la variedad de tuna xoconostle presentó los mayores valores de acidez, pH y pérdida de peso, y por el contrario las variedades Esmeralda, Roja y Morada valores menores.

Respecto al Color tanto de la cáscara, como de la pulpa, las variedades Xoconostle y Esmeralda presentaron mayores valores de luminosidad y color, por el contrario, las variedades Roja y Morada presentaron menores valores. En general la luminosidad de la cáscara tiende a conservarse, y en el caso de la luminosidad en la pulpa se mantiene solamente en la variedad Xoconostle, aumenta en la Roja y Morada; y disminuye en la Esmeralda. De la evaluación del efecto Temperatura-Tiempo sobre las características de calidad de las tunas, concluyen que tienden a mantenerse la mayoría de las propiedades, pero aumenta en el caso de pérdida de peso, y disminuye la dureza de la pulpa; módulo de la elasticidad y energía para penetración de la cáscara en la posición del florete. También observaron que la mayoría de las tunas de las variedades estudiadas son muy resistentes y su vida de anaquel es larga, por lo que representan una

oportunidad para aumentar su mercado tanto en fresco, como mínimamente procesado.

### **3.12 Evaluación de la vida de anaquel de diferentes variedades de xoconostle en fresco**

Mercado *et al.*, (2010) estudiaron las propiedades reológicas (resortividad, cohesividad, masticabilidad, gomosidad, adhesividad y dureza), las cuales definen el concepto de “textura” en doce variedades de frutos de xoconostle de la región suroeste del estado de Guanajuato; además estudiaron: el efecto de usar refrigeración, el efecto de aplicar una película semipermeable, el efecto protector natural de su cáscara y el efecto del tiempo de conservación en los cambios de la textura, con el propósito de obtener criterios para aumentar la vida de anaquel de estos frutos. Logrando determinar que para conservar mejor las propiedades reológicas que describen la textura de las tunas xoconostle, conviene usar refrigeración, aplicar películas semipermeables, y además conviene evitar que su cáscara sufra daños físicos; dando como resultado la obtención de una ecuación para estimar la cinética de la pérdida de masa de los xoconostles con la cual el productor puede estimar el tiempo límite de almacenamiento para evitar pérdidas en sus ingresos.

$$M_0^t / M_0 - M = (1/ab) + (1/a)t$$

Dónde:

a=pérdida de masa (en tanto por uno).

(1/b)=tiempo en el que se pierde la mitad de la pérdida total de masa.

#### IV JUSTIFICACIÓN

Los frutos y hortalizas modifican, alteran o ajustan su comportamiento fisiológico como respuesta obligada de sus células, tejidos y órganos a las nuevas condiciones, tratamientos y manipulación a las que son sometidas, a partir del momento de cosecha, siendo retiradas de su fuente y medio naturales de producción. Esta respuesta se manifiesta a través del cambio, en los procesos bioquímicos normales (Rodríguez *et al.*, 2005). Se ha estimado que entre el 25 y el 80% de los frutos se pierden tras la recolección, (Hill *et al.*, 1977), debido a un manejo y una manipulación defectuosa. Al igual que otras frutas, el xoconostle presenta un carácter perecedero, lo que provoca problemas para su manejo en fresco, como el mal corte, índice de cosecha, daños mecánicos, deshidratación de la piel y el ataque de patógenos causantes de pudriciones; adicionalmente se presenta el problema debido a la estacionalidad de la producción, afectándose con ello la rentabilidad de los sistemas de producción (Flores y Gallegos, 1994; Citado por: González *et al.*, 2001).

El xoconostle Ulapa (*Opuntia oligacantha* C.F. Först), solo se cosecha en los meses: octubre a febrero y una vez madurado el fruto se cae de la planta, esto representa un problema de estacionalidad de producción y de almacenamiento, ya que no es posible almacenarlo en la planta como es el caso para otro tipo de xoconostles.

Por lo anterior es necesario realizar investigaciones encaminadas a prologar la vida poscosecha del fruto de xoconostle “Ulapa”, en fresco que permitan conservar sus características iniciales de calidad por un mayor tiempo.

## **V OBJETIVOS**

### **5.1 Objetivo general**

- El objetivo general es evaluar el comportamiento fisicoquímico y funcional en frutos de xoconostle por efecto de años de cosecha, índices de madurez y tiempo de almacenamiento.

### **5.2 Objetivo específico**

- Determinar el comportamiento de color, pérdida de peso, sólidos solubles totales y acidez titulable por efecto de años de cosecha, índice de madurez y tiempo de almacenamiento.
- Evaluar el comportamiento de fenoles totales, betalainas, vulgaxantinas y actividad antioxidante por efecto de años de cosecha, índices de madurez y tiempo de almacenamiento.

## **VI HIPÓTESIS**

Al cosechar los frutos de xoconostle “Ulapa” con un índice de cosecha adecuado y almacenarlos en temperaturas de refrigeración adecuadas se incrementa la vida de anaquel conservando sus características iniciales de calidad.

## VII MATERIALES Y MÉTODOS

### 7.1 Material vegetal

El xoconostle Ulapa (*Opuntia oligacantha* C.F. Först) fue cosechado en febrero de 2012 en Tezontepec de Aldama, Hidalgo; México. Los frutos fueron cosechados de un huerto semi-comercial. Un lote de 50 kg fue cosechado con dos índices de madurez; Índice 1 (verde incipiente) e Índice 2 (rojo completamente coloreado). Los frutos fueron lavados y almacenados con dos temperaturas; temperatura de refrigeración:  $5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  y temperatura ambiente:  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , hasta que se analizaron las muestras. Solamente el mesocarpio (pulpa) fue usada para las determinaciones.

El xoconostle Ulapa presentó un peso promedio de fruto de 50.4 g, peso de cascara de 8.56 g, peso de pulpa de 40.15 g, peso de semilla de 1.6 g, longitud de fruto de 8.6 cm y diámetro de fruto de 5.4 cm.

### 7.3 Reactivos

2,2-Azinobis(3-ethylbenzothianoline-6-sulphonic acid) diammonium salt (ABTS), Ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromo-2-carboxil, Ácido cítrico, Antróna y Persulfato de potasio fueron comprados a Sigma Aldrich, Sigma Aldrich Co. Spruce Streer, St Louis, MO, 63103, USA. Acetato de sodio y Ácido metafosfórico fueron comprados a Merck, Merck KGaA, 64271, Danstadt, Germany. Ácido acético, Ácido bórico, Arseniato de sodio heptahidratado, Bicarbonato de sodio, Carbonato de sodio, Carbonato de sodio anhidro, Hidróxido de sodio, Molibdato de amonio tetrahidratado cristal, Sulfato cúprico pentahidratado, Sulfato de potasio, Sulfato de sodio anhidro y Tartrato de sodio potasio fueron comprados a J.T.Baker, Avator™ Performance Materials S.A. de C.V., 55320, Xalostoc, Edo. De Méx., México. Ácido sulfúrico, Etanol, Follin-Ciocalteu y Metanol fueron comprados a Meyer, Química Suater S.A. de C.V., Pámpano #7 Col. Del Mar, Del. Tlahuac, 13720, D.F. México. Ácido tricloroacético fue comprado a Macron, Avator™ Performance Materials, Inc. 3477, Corporate Parkway, Surte 200, Center Valley, PA., 18034, USA. Cinc y Fenolftaleína fue comprada a HYCEL, HYCEL de México S.A. de C.V. Av. Chapultepec, 06700, D.F. México.

## **7.4 Establecimiento del experimento**

Una vez cosechados los frutos de xoconostle, se llevaron al laboratorio de poscosecha del Centro de Investigaciones en Ciencia y Tecnología de los Alimentos del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, en donde se seleccionaron en base a sus índices de madurez, Índice 1 (verde incipiente) e Índice 2 (rojo completamente coloreado) y que estuviera libre de daños mecánicos y patológicos.

## **7.5 Diseño de tratamientos**

Se tuvieron tres factores, 1) el factor año con 2 niveles (2011 y 2012); 2) el factor índice de madurez con 2 niveles (índice 1 verde incipiente e índice 2 completamente coloreado) y 3) el factor temperatura con 2 niveles ( $5^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$  y  $20\pm 1^{\circ}\text{C}$ ). T1, Índice1 +  $5^{\circ}\text{C}$  + año 2011; T2, Índice2 +  $5^{\circ}\text{C}$  + año 2011; T3, Índice1 +  $20^{\circ}\text{C}$  + año 2011; T4, Índice2 +  $20^{\circ}\text{C}$  + año 2011; T5, Índice1 +  $5^{\circ}\text{C}$  + año 2012; T6, Índice2 +  $5^{\circ}\text{C}$  + año 2012; T7, Índice1 +  $20^{\circ}\text{C}$  + año 2012; T8, Índice2 +  $20^{\circ}\text{C}$  + año 2012. Teniéndose un total de 8 tratamientos. Para cada tratamiento se tuvieron cinco tiempos de almacenamiento, 0, 8, 16, 24 y 32 días de almacenamiento.

## **7.6 Variables de estudio**

### **7.6.1 Características fisicoquímicas**

Los parámetros de color del epicarpio  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  de los frutos de xoconostle fueron determinados usando un colorímetro Hunter Lab marca Minolta CM5080. Por otro lado los sólidos solubles totales ( $^{\circ}\text{Brix}$ ) fueron determinados usando jugo del fruto en un refractómetro digital (ATAGO, PR-101). El pH fue medido con un potenciómetro digital (HANNA, modelo pH 209) y la acidez titulable fue determinada mediante la metodología de la AOAC, 2005.

### **7.6.1.1 Color**

El color se evaluó mediante un equipo Hunter Lab Marca Minolta (modelo CM5080) en escala CIE L\*a\*b\*, mediante lectura directa en dos puntos diferentes del diámetro ecuatorial de cada fruto.

### **7.6.1.2 Acidez titulable**

La acidez titulable se determinó por el método de la AOAC, 2005, por medio de una titulación ácido-base con una solución de álcali estandarizado, expresando los resultados de la acidez titulable como el equivalente en masa de ácido cítrico. Se homogenizó la muestra (10 g) con agua destilada (50 mL), se midió el volumen en una probeta y se aforó (100 mL) con agua destilada, se procedió a colar y se le agregó a la muestra (10 mL) fenolftaleína (2 a 3 gotas) para proceder a titular con hidróxido de sodio (0.1 N) y se midió el gasto. El cálculo del porcentaje se realizó con base a la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Acidez (g ácido cítrico)/100 mL} = (\text{gasto} \times \text{normalidad} \times \text{meq} \times 100) / (\text{peso} \times \text{alícuota})$$

Dónde:

gasto = mL NaOH 0.1 N usados en la titulación

normalidad = Normalidad química del NaOH igual a 0.1 N

meq: miliequivalente del ácido cítrico igual a 0.006404

peso = peso de la muestra utilizada igual a 10 g

alícuota = alícuota del jugo igual a 10 mL

### **7.6.1.3 Sólidos solubles (°Brix)**

Los sólidos solubles totales se expresaron como °Brix y se determinaron con un refractómetro digital PR-101 ATAGO a temperatura ambiente (20 °C ±2 °C). Se colocó una gota de jugo de pulpa de xoconostle.



#### **7.6.1.4 pH**

El potencial hidrogeno se determinó por un potenciómetro digital (HANNA, modelo), previa calibración del potenciómetro, se enjuago con agua destilada y se secó cuidadosamente, el potenciómetro se calibró con solución amortiguadora pH 7 y pH 4, posteriormente el electrodo se introdujo en la muestra y se realizó la lectura, las determinaciones se hicieron por triplicado (Flores, 2004).

#### **7.6.2 Fenoles totales**

Los fenoles totales se determinaron por el método de Osorio *et al.*, 2011 con las siguientes modificaciones: se mezcló la muestra (0.1 g) con etanol (5 mL), se maceró y dejó reposar (12 horas), después se tomó la muestra (500 µl) y se le adiciono agua destilada (500 µL), a esta dilución se le agrego agua destilada (7 mL) y reactivo de Follin (1:10; 500 µL); se le agregó carbonato de sodio al 20% (1.5 mL), se pasó por vortex 30 segundos, se dejó reposar en obscuridad (2 horas). Después se procedió a la medición a 760nm, en un espectrofotómetro (marca JENWAY, modelo G715). Los resultados son expresados como mg EAG (equivalente ácido gálico) por gramo de muestra.

#### **7.6.3 Betalaínas**

Las Betalaínas se determinaron por el método propuesto por Guzmán *et al.*, (2009) con las siguientes modificaciones: la muestra (0.1 g) de fruto liofilizado se mezcló con metanol al 50% (10 mL) y se agitó por 1 hora a temperatura ambiente. Se recuperó el sobrenadante después de ser centrifugado (5000xg); el residuo fue extraído con metanol hasta la perdida de color de la muestra. Las muestras se midieron a 476, 538 y 600 nm, las Betalaínas y las vulgaxantinas se determinaron con la ecuación de Nilsson (1970):

% betalainas=  $((a/1129) \times FD \times 100)$

% vulgaxantinas=  $((y/750) \times FD \times 100)$

Dónde:

$a = 1.095(A538 - A600)$

$y = A476 - (A538 - a) - (a/3.1)$

FD = factor de dilución

## 7.6.4 Actividad Antioxidante

### 7.6.4.1 Ensayo del equivalente de capacidad antioxidante Trolox (TEAC)

Para el análisis del equivalente de la capacidad antioxidante se empleó el método propuesto por Guzmán *et al.*, (2010) con las siguientes modificaciones: la solución radical catión (ABTS<sup>+</sup>) de ABTS 7 mM fue preparado con persulfato de potasio 2.45 mM y la mezcla se dejó reposar en obscuridad de 12 a 16 horas a temperatura ambiente antes de ser usado. El radical (ABTS<sup>+</sup>) fue diluido con amortiguador de acetatos, ajustando hasta obtener una absorbancia de  $0.700 \pm 0.002$  nm, midiendo a 754 nm. Para la medición de la capacidad antioxidante, se mezclaron 100 µL de muestra con 3.9 mL de solución de radical (ABTS<sup>+</sup>). La absorbancia se realizó a 754 nm después de 2 horas de reposo en obscuridad. El decremento de la absorbancia a 754 nm tras la adición de la muestra, fue usado para calcular el valor del equivalente de capacidad antioxidante Trolox. Se preparó una curva de calibración a diferentes concentraciones de Trolox diluido en etanol. Al medir el  $\Delta Abs$  se empleó la siguiente formula:

$$\Delta A_{Trolox \text{ o muestra}} = (A_{t=0 \text{ Trolox o muestra}} - A_{t=2hrs \text{ Trolox o muestra}}) - \Delta A_{solvente(0-2hrs)}$$

Donde A = absorbancia a 754 nm. Los resultados fueron expresados en términos de mmol equivalentes Trolox/100 g de muestra (mmol ET/100 g), (Guzmán-Maldonado *et al.*, 2010).

### 7.6.5 Análisis de resultados

Para el análisis estadístico e interpretación de los resultados se usó el paquete estadístico de computación SAS, se utilizó un diseño completamente al azar, se realizó un análisis de varianza y pruebas de comparaciones múltiples de medias con una prueba de Tukey a un nivel de  $P \leq 0.05$ . Para determinar cada variable se tuvieron tres repeticiones por tratamiento y diez para color y pérdidas de peso, tomando como unidad experimental un fruto.

Para el diseño completamente al azar se utilizó el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = M + T_i + E_{ij}$$

Dónde:

$Y_{ij}$  = es el resultado por efecto de los tratamientos.

$M$  = es la media general.

$T_i$  =  $i$ -ésimo tratamiento.....8

$E_{ij}$  = Error del  $i$ -ésimo tratamiento en la  $j$ -ésima Unidad Experimental.

$l = 1 \dots \dots 4$

## VIII RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 8.1 Pérdida de peso

Se observaron diferencias estadísticas significativas  $P \leq 0.05$  en pérdidas de peso de los frutos de xoconostle “Ulapa” cosechados en el año 2011 y 2012 con índice de madurez 1 (verde incipiente) e índice de madurez 2 (completamente coloreados) y almacenados a los 8, 16, 24 y 32 días, tanto en condiciones ambientales a 20°C, como de refrigeración a 5°C (Cuadro 5).

A los 8 días de almacenamiento los frutos de xoconostle “Ulapa” cosechados en el año 2011 completamente coloreados (índice de madurez 2) y almacenados a 5°C presentan el menor porcentaje de pérdida de peso (1.75%), sin embargo a los 16 días de almacenamiento los frutos de xoconostle que presentan el menor porcentaje de pérdida de peso fueron los frutos con una coloración verde incipiente (índice de madurez 1) y almacenados a 5°C, este mismo comportamiento se observó a los 24 días de almacenamiento en los dos años de cosecha evaluados, sin embargo al final del periodo de almacenamiento a los 32 días, no se observan diferencias estadísticas significativas  $P \leq 0.05$ , excepto en los frutos cosechados en el 2012 con una coloración roja y almacenada en condiciones ambientales a 20°C y presentan el mayor porcentaje de pérdida de peso (Cuadro 5).

En general los frutos de xoconostle con índice de madurez 1 (verde incipiente) presentaron el menor porcentaje de pérdida de peso (2.16 a 11.51%) con respecto a los frutos de xoconostle con índice de madurez 2 (completamente coloreados, 1.75 a 28.42%).

A medida que se incrementó el tiempo de almacenamiento se incrementaron las pérdidas de peso. Grierson y Wardowski, (1978) mencionan que las pérdidas de peso son debidas a la salida del agua del fruto por efecto de la transpiración y pueden concluir en daños irreversibles por marchitamiento a medida que las pérdidas se incrementan. Además de que conducen a los frutos a cambiar relacionados con el envejecimiento, debido a las modificaciones en el balance hormonal del estado juvenil al de senescencia. Hardenburg *et al.*, (1988) describe que la pérdida de humedad en productos hortofrutícolas a diferentes temperaturas y misma humedad relativa, son mayores donde la temperatura es mayor, de igual forma el estado de madurez del fruto puede afectar la pérdida de agua debido a la transpiración.

López (2001), menciona que las condiciones de frigoconservación empleadas favorecen la creación de una microatmósfera saturada alrededor de los frutos que impide que se desarrollen diferencias de presión de vapor de agua entre las tunas y su entorno.

**Cuadro 5. Efecto de años e índices de cosecha y temperatura de almacenamiento en pérdida de peso de frutos de xoconostle “Ulapa”.**

Índices de madurez y temperatura de almacenamiento	Pérdida de peso (%)				
	Tiempo de almacenamiento (días)				
	0	8	16	24	32
<b>Año 2011</b>					
Índice 1+5°C	0.0a	2.17 ± 0.40d	5.07 ± 0.92cd	9.26 ± 1.56ab	10.83 ± 1.78 b
Índice 1+20°C	0.0a	4.92 ± 1.10bcd	10.32 ± 4.37abc	9.05 ± 14.03ab	7.34 ± 14.02b
Índice 2+5°C	0.0a	1.75 ± 0.29d	4.20 ± 0.76d	8.00 ± 1.36b	9.51 ± 1.63b
Índice 2+20°C	0.0a	5.49 ± 3.21bc	11.52 ± 6.47ab	12.72 ± 11.92ab	14.23 ± 13.14b
<b>Año 2012</b>					
Índice 1+5°C	0.0a	2.48 ± 0.43cd	3.17 ± 0.53d	4.78 ± 0.69b	8.87 ± 6.65b
Índice 1+20°C	0.0a	6.23 ± 1.31b	7.22 ± 1.61bcd	9.20 ± 2.17ab	11.51 ± 3.44b
Índice 2+5°C	0.0a	4.45 ± 2.96bcd	4.92 ± 3.30d	7.20 ± 3.39b	9.77 ± 3.67b
Índice 2+20°C	0.0a	10.31 ± 4.77a	12.82 ± 6.60a	20.31 ± 13.34a	28.42 ± 18.80a
CV (%)	0.0	50.23	52.20	81.41	79.50
DMS	0.0	3.31	5.39	11.44	13.94

<sup>Z</sup> Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una P≤0.05. Índice 1: verde incipiente; Índice 2: completamente coloreado. DMS: Diferencia mínima significativa; CV: Coeficiente de variación.

## 8.2 pH

No se observan diferencias estadísticamente significativas en el potencial hidrogeno en los frutos de xoconostle “Ulapa” cosechados en el año 2011, con índice de madurez 1 (verde incipiente) e índice de madurez 2 (completamente coloreados) y almacenadas a los 0, 8, 16, 24 y 32 días, tanto en condiciones de refrigeración a 5°C como en condiciones ambientales 20°C (Cuadro 6).

Al inicio del almacenamiento aunque no se observan diferencias significativas P≤ 0.05, los frutos de xoconostle “Ulapa” con índice de cosecha 1 (verde incipiente) presentaron el menor incremento con respecto a los frutos de xoconostle con un índice de madurez 2 (completamente coloreados), este mismo comportamiento se observó a los 8, 16, 24 y 32 días de almacenamiento.

A medida que se incrementó el tiempo de almacenamiento se incrementó el potencial hidrogeno, lo cual concuerda con los resultados obtenidos por Camargo y Moya (1995), en frutos de pitaya, que al igual que el xoconostle pertenece a las cactáceas, este patrón corresponde al proceso bioquímico de la maduración del fruto, durante el cual el pH aumenta hasta alcanzar el grado de madurez de consumo, aportando así el sabor característico del fruto, según la especie. Pinedo-Espinoza *et al.*, (2010), menciona que no se sabe si el pH aumenta como consecuencia de los efectos del CO<sub>2</sub> sobre el metabolismo natural o es una reacción directa por el tejido vegetal a contrarrestar los efectos de acidificación ocasionado por el CO<sub>2</sub> (Kader 1986; Citado por García, 2003). Aunque se sugiere, que las razones del incremento del pH durante el almacenamiento podría ser efecto de la disminución en la actividad respiratoria, aumento en la fijación de CO<sub>2</sub> o debido a la presencia de una enzima menos activa que convierte el ácido málico en piruvato oxalacetato (Pantastico, 1979); Citado por Pinedo-Espinoza *et al.*, (2010).

**Cuadro 6. Efecto de índices de cosecha y temperatura de almacenamiento en pH de frutos de xoconostle “Ulapa”.**

Índices de madurez y temperatura de almacenamiento	pH				
	Tiempo de almacenamiento (días)				
	0	8	16	24	32
<b>Año 2011</b>					
Índice 1+5°C	2.10 ± 0.59a	2.16 ± 0.05a	3.35 ± 0.17a	3.54 ± 0.18a	3.72 ± 0.18a
Índice 1+20°C	2.10 ± 0.59a	1.91 ± 0.14a	3.54 ± 0.14a	3.10 ± 0.42a	3.20 ± 0.74a
Índice 2+5°C	2.37 ± 0.26a	2.28 ± 0.23a	3.42 ± 0.12a	3.08 ± 0.18a	3.44 ± 0.26a
Índice 2+20°C	2.37 ± 0.26a	2.09 ± 0.12a	3.39 ± 0.29a	3.51 ± 0.07a	3.95 ± 0.24a
CV (%)	20.38	7.08	5.55	7.45	11.71
DMS	1.19	0.39	0.49	0.64	1.09

<sup>Z</sup> Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una P≤0.05. Índice 1: verde incipiente; Índice 2: completamente coloreado. DMS: Diferencia mínima significativa; CV: Coeficiente de variación.

### 8.3 Sólidos solubles totales (°Brix)

En los frutos de xoconostle “Ulapa” se observaron diferencias significativas  $P \leq 0.05$  en el contenido de sólidos solubles totales (°Brix) en los años de cosecha 2011 y 2012, con índice de madurez 1 (verde incipiente) e índice de madurez 2 (completamente coloreados) tanto en condiciones de refrigeración a 5°C como en condiciones ambientales a 20°C, a los 0, 8, 16, 24 y 32 días de almacenamiento (Cuadro 7).

El mayor contenido de sólido solubles totales ( 5.83%) al inicio del almacenamiento se observó en los frutos de xoconostle “Ulapa” cosechados en el año 2012 y con índice de madurez 2 (completamente coloreados), mientras que el menor porcentaje de °Brix (4.33) lo presentaron los frutos de xoconostle “Ulapa” cosechados en el año 2011 y con un índice de madurez 1 (verde incipiente).

A los 8 días de almacenamiento el mayor incremento en el contenido de sólidos solubles totales se observó en los frutos de xoconostle “Ulapa” cosechados en el año 2012, con un índice de madurez 1 (verde incipiente) con un valor de 6.0%.

Sin embargo los frutos de xoconostle “Ulapa” con índice de madurez 2 (completamente colorados) almacenados a 20°C presentan el menor incremento de °Brix con 4.20%, mientras que a los 16 días de almacenamiento los frutos de xoconostle “Ulapa” cosechados en el año 2012 y con índice de madurez 1 (verde incipiente) almacenados a 20°C presentaron el mayor incremento de sólidos solubles totales con un valor de 5.23%, mientras que el menor incremento en °Brix lo presentaron los frutos de xoconostle “Ulapa” cosechados en el año 2011, con índice de madurez 1 y almacenados a 20°C.

Los frutos de xoconostle “Ulapa” cosechados en el año 2012, con índice de madurez 1 (verde incipiente) y almacenados a 5°C presentaron el mayor incremento en el porcentaje de sólidos solubles totales (5.30%), mientras que los frutos de xoconostle “Ulapa” con índice de madurez 1 (verde incipiente) almacenados a 20°C y cosechados en el año 2011 presentaron el menor incremento en el porcentaje de °Brix (3.73%).

Al final del periodo de almacenaje a los 32 días los frutos de xoconostle “Ulapa” que presentan el mayor incremento en el porcentaje de °Brix corresponden a los frutos de xoconostle con índice de madurez 2 (completamente coloreados), almacenados a 20°C y cosechados en el año 2012, con un valor de 5.26%, sin embargo los frutos de

xoconostle “Ulapa” cosechados en el año 2011, con índice de madurez 2 (verde incipiente) almacenados a 20°C presentaron el menor incremento en el porcentaje de °Brix con 3.9%.

En general se observó un mayor incremento (3.90 a 5.83%) en el porcentaje de sólidos solubles totales en los frutos de xoconostle con índice de madurez 2 (completamente coloreados).

**Cuadro 7. Efecto de años e índices de cosecha y temperatura de almacenamiento en sólidos solubles totales (°Brix) de frutos de xoconostle “Ulapa”.**

Índices de madurez y temperatura de almacenamiento	Sólidos solubles Totales (°Brix)				
	Tiempo de almacenamiento (días)				
	0	8	16	24	32
<b>Año 2011</b>					
Índice 1+5°C	4.33 ± 0.32b	4.60 ± 0.35ab	4.60 ± 0.36ab	4.70 ± 0.26b	4.06 ± 0.65bc
Índice 1+20°C	4.33 ± 0.32b	4.33 ± 1.14b	4.40 ± 0.20ab	3.73 ± 0.15d	4.10 ± 0.56bc
Índice 2+5°C	5.13 ± 0.90ab	4.23 ± 0.85b	4.56 ± 0.25ab	4.56 ± 0.12bc	4.30 ± 0.35abc
Índice 2+20°C	5.13 ± 0.90ab	4.20 ± 0.53b	3.90 ± 0.36b	4.10 ± 0.36cd	3.90 ± 0.36c
<b>Año 2012</b>					
Índice 1+5°C	5.30 ± 0.00ab	6.00 ± 0.36a	5.20 ± 0.10ab	5.30 ± 0.10a	5.06 ± 0.15ab
Índice 1+20°C	5.30 ± 0.00ab	4.30 ± 0.10b	5.23 ± 1.08 <sup>a</sup>	4.63 ± 0.15bc	5.10 ± 0.26ab
Índice 2+5°C	5.83 ± 0.25a	5.66 ± 0.40ab	4.60 ± 0.17ab	4.96 ± 0.21ab	5.06 ± 0.25ab
Índice 2+20°C	5.83 ± 0.25a	4.73 ± 0.21ab	5.00 ± 0.44ab	4.96 ± 0.21ab	5.26 ± 0.21a
CV (%)	9.56	12.35	9.99	4.56	8.34
DMS	1.39	1.66	1.32	0.59	1.08

<sup>Z</sup> Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una P≤0.05. Índice 1: verde incipiente; Índice 2: completamente coloreado. DMS: Diferencia mínima significativa; CV: Coeficiente de variación.

No se observó una tendencia a aumentar o disminuir el porcentaje de sólidos solubles con respecto al tiempo de almacenamiento ya que al inicio se observó un mayor porcentaje de sólidos solubles totales, a los 8 días de almacenamiento disminuyó y se incrementó a los 16 días y nuevamente disminuyó a los 24 días, y al final del periodo de almacenamiento se incrementó nuevamente.



Estos resultados concuerdan con lo reportado por Gallo (1993), en otra cactácea, (frutos de pitaya), en los que indico que estas características no contribuye a la identificación del grado de maduración del fruto, teniendo en cuenta que los sólidos solubles totales (°Brix), varían con el tamaño del mismo.

#### **8.4 Acidez titulable**

En el contenido de acidez titulable se observaron diferencias significativas  $P \leq 0.05$  entre los años de cosecha 2011 y 2012, en los frutos de xoconostle con madurez 1 (verde incipiente) y 2 (completamente coloreado) y almacenados a los 0, 8, 16, 24, y 32 días tanto en condiciones de refrigeración como en condiciones ambientales (Cuadro 8). Al inicio del almacenamiento los frutos de xoconostle "Ulapa" cosechados en el año 2012, con índice de madurez 1 (verde incipiente) y temperatura de almacenamiento 5°C presentaron un mayor incremento en el porcentaje de acidez titulable (0.48%), el menor incremento lo presentaron los frutos de xoconostle "Ulapa" con índice de madurez 2 (completamente coloreados) almacenados a 5°C y cosechados en el año 2012 (0.42%). Los frutos de xoconostle "Ulapa" con 8 días de almacenamiento a 20°C y cosechados en el año 2011, e índice de madurez 2 (completamente coloreados) presentaron el mayor incremento en el porcentaje de acidez titulable (2.73%), los frutos de xoconostle "Ulapa" cosechados en el año 2012, con índice de madurez 2 (completamente coloreados) y temperatura de almacenamiento a 20°C, presentaron el menor incremento en el porcentaje de acidez titulable (1.17%).

A los 16 días de almacenamiento los frutos de xoconostle "Ulapa" cosechados en el año 2011, con índice de madurez 2 (completamente coloreados) y almacenados a 5°C presentaron el mayor incremento en el porcentaje de acidez titulable (2.90%), el menor incremento en el porcentaje de acidez titulable lo presentaron los frutos de xoconostle "Ulapa" con índice de madurez 1 (verde incipiente), almacenados a 5°C y cosechados en el año 2012 (1.50%).

Los frutos de xoconostle "Ulapa" almacenados durante 24 días a 5°C y cosechados en el año 2011, con índice de madurez 2 (completamente coloreados) presentaron el mayor incremento en el porcentaje de acidez titulable (2.83%) y los frutos de xoconostle

“Ulapa” con índice de madurez 2 (completamente coloreados), temperatura de almacenamiento a 5°C y cosechados en el año 2012 (Cuadro 8)., presentaron el menor incremento en el porcentaje de acidez titulable (1.31%)

**Cuadro 8. Efecto de años e índice de madurez de cosecha y temperatura de almacenamiento en acidez titulable de frutos de xoconostle “Ulapa”.**

Índice de madurez de madurez y temperatura de almacenamiento	Acidez titulable (%ácido cítrico)				
	Tiempo de almacenamiento (días)				
	0	8	16	24	32
<b>Año 2011</b>					
Índice 1+5°C	3.40 ± 0.17a	2.43 ± 0.15a	2.26 ± 0.49abc	2.76 ± 0.78a	2.56 ± 0.25a
Índice 1+20°C	3.40 ± 0.17a	2.53 ± 0.32a	2.70 ± 0.66ab	2.33 ± 0.49ab	2.53 ± 0.15ab
Índice 2+5°C	3.36 ± 0.57a	1.93 ± 0.31b	2.90 ± 0.62a	2.83 ± 0.15a	2.16 ± 0.21b
Índice 2+20°C	3.36 ± 0.57a	2.73 ± 0.15a	2.70 ± 0.44ab	2.40 ± 0.17a	2.26 ± 0.12ab
<b>Año 2012</b>					
Índice 1+5°C	0.48 ± 0.02b	1.40 ± 0.05c	1.50 ± 0.04c	1.32 ± 0.01c	1.59 ± 0.04cd
Índice 1+20°C	0.48 ± 0.02b	1.41 ± 0.03c	1.74 ± 0.20bc	1.32 ± 0.04c	1.37 ± 0.05cd
Índice 2+5°C	0.42 ± 0.03b	1.25 ± 0.03c	1.60 ± 0.06bc	1.31 ± 0.09c	1.70 ± 0.09c
Índice 2+20°C	0.42 ± 0.03b	1.17 ± 0.05c	1.63 ± 0.06bc	1.40 ± 0.15bc	1.27 ± 0.06d
CV (%)	15.52	9.49	18.92	17.37	7.28
DMS	0.84	0.49	1.14	0.96	0.39

<sup>Z</sup> Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una P≤0.05. Índice de madurez 1: verde incipiente; Índice de madurez 2: completamente coloreado. DMS: Diferencia mínima significativa; CV: Coeficiente de variación.

Al final del tiempo de almacenamiento a los 32 días los frutos de xoconostle “Ulapa” cosechados en el año 2011 con índice de madurez 1 (verde incipiente) y almacenados a 5°C presentaron el mayor incremento en el porcentaje de acidez titulable (2.56%), y el menor incremento en el porcentaje de acidez titulable, a los 32 días de almacenamiento, lo presentaron los frutos de xoconostle “Ulapa” con índice de madurez 2 (completamente coloreados) almacenados a 20°C y cosechados en el año 2012 (0.42%).

En general las variaciones en el contenido de acidez titulable no fueron tan marcadas, conforme aumentó el tiempo de almacenamiento, pudiendo estar relacionado con la

poca variación del pH. La acidez titulable siguió un patrón de maduración de acuerdo al descrito por Rodríguez *et al.*, (2005) para frutos de pitaya, con índices de madurez (verde y amarillo), temperaturas (5 y 19°C) y dependiendo del grado de madurez al que fueron recolectados los frutos.

### **8.5 Color**

Se observaron diferencias estadísticas significativas  $P \leq 0.05$ , en los frutos de xoconostle cosechados en los años 2011 y 2012 con índice de madurez 1 (verde incipiente) e índice de madurez 2 (completamente coloreado) en los valores de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , excepto en los valores de  $L^*$  al inicio del almacenamiento.

El mayor valor de  $a^*$  se observó en los frutos de xoconostle “Ulapa” al inicio del almacenamiento con índice de madurez 2 (completamente coloreados), presentando una coloración más roja mientras que el valor mayor de  $b^*$  se observó en los frutos de xoconostle con índice de madurez 1 (verde incipiente), presentando una mayor intensidad de color.

A los 8 días de almacenamiento, los frutos que presentaron una mayor brillantes fueron los frutos de xoconostle cosechados en el 2012, con índice de madurez 2 (completamente coloreados) y almacenados a 20°C.

Sin embargo los frutos con una mayor coloración fueron aquellos cosechados en el año de 2011, con un índice de cosecha 2 (completamente coloreados) y almacenados a 5°C. La mayor intensidad de color se observó en los frutos de xoconostle cosechados en el 2011, con índice de madurez 1 (verde incipiente) y almacenados a 20°C. No obstante a los 16 días de almacenamiento los frutos de xoconostle cosechados en el 2012 con un índice de madurez 2 (completamente coloreados) y almacenados a 20°C presentaron el mayor valor de  $L^*$ , mayor brillantes y los frutos cosechados en el año 2012 con índice de madurez 2 (completamente coloreados) y almacenados a 5°C presentaron el mayor valor de  $a^*$ , mayor coloración y la mayor intensidad del color lo presentaron los frutos de xoconostle con un índice de madurez 1 (verde incipiente) y almacenados a 20°C (Cuadro 9).

La mayor intensidad de color se observó en los frutos de xoconostle cosechados en el año 2011, con índice de madurez 1 (verde incipiente) y almacenados a 20°C, con respecto a los frutos de xoconostle “Ulapa” cosechados en el 2012.

A los 24 y 32 días de almacenamiento los frutos de xoconostle que presentan una mayor brillantes fueron los frutos cosechados en el año 2012, con un índice de madurez 1 (verde incipiente) y almacenados a 20°C y la mayor coloración se observó en los frutos de xoconostle cosechados en el año 2011 con índice de madurez 2 (completamente coloreados) y almacenados a 5°C, y los que presentan una mayor intensidad de color se observó en los frutos cosechados en el 2011 con un índice de madurez 1 (verde incipiente) y almacenados a 5°C, con respecto a los frutos de xoconostle “Ulapa” cosechados en el 2012.

**Cuadro 9.- Efecto de años e índice de madurez de cosecha y temperatura de almacenamiento en color de frutos de xoconostle “Ulapa”.**

Índice de madurez de madurez y temperatura de almacenamiento	Color														
	Tiempo de almacenamiento (días)														
	0			8			16			24			32		
	L	A	B	L	a	b	L	a	b	L	a	B	L	a	b
<b>Año 2011</b>															
Índice de madurez 1+5°C	42.20 ± 1.93a	-1.45 ± 1.41d	14.80 ± 1.48ab	42.09 ± 2.04b	-1.45 ± 1.54d	14.56 ± 1.21ab	43.52 ± 1.36bc	-0.89 ± 1.50c	14.47 ± 1.35a	42.37 ± 2.51bc	-0.15 ± 2.05c	13.25 ± 1.19 <sup>a</sup>	42.28 ± 1.59bcd	-0.16 ± 1.91c	13.20 ± 1.06a
Índice de madurez 1+20°C	42.61 ± 2.84a	-0.86 ± 1.49d	15.40 ± 1.07a	41.89 ± 2.04b	-0.72 ± 1.70d	15.39 ± 0.84a	39.65 ± 2.08d	-0.55 ± 1.48c	14.51 ± 1.01a	40.88 ± 21.23c	3.57 ± 2.23b	13.16 ± 6.84a	41.18 ± 19.92cd	2.70 ± 1.63b	12.52 ± 6.06ab
Índice de madurez 2+5°C	43.81 ± 2.14a	5.32 ± 1.93ab	12.51 ± 1.62bc	43.83 ± 1.87b	6.34 ± 2.15a	12.21 ± 1.53b	46.01 ± 2.37ab	6.68 ± 2.06a	12.43 ± 1.31a	44.61 ± 2.04abc	6.35 ± 1.70a	11.25 ± 1.77abc	44.98 ± 1.91abc	7.36 ± 1.94a	11.48 ± 2.41abc
Índice de madurez 2+20°C	41.57 ± 2.25a	3.18 ± 2.09bc	13.60 ± 2.06ab	41.70 ± 3.87b	3.00 ± 1.94b	14.23 ± 1.96ab	40.15 ± 12.84cd	2.76 ± 1.83b	13.42 ± 4.55a	40.74 ± 21.09c	-0.48 ± 0.69c	12.82 ± 6.71ab	40.00 ± 20.72d	-0.69 ± 0.77c	12.75 ± 6.72ab
<b>Año 2012</b>															
Índice de madurez 1+5°C	45.61 ± 3.62a	1.43 ± 0.67cd	10.75 ± 1.74cd	47.66 ± 3.24a	0.50 ± 1.32cd	9.25 ± 2.37c	48.25 ± 3.59a	0.38 ± 1.44c	9.18 ± 2.84b	47.13 ± 2.64ab	0.96 ± 1.22bc	9.60 ± 1.98bcd	47.93 ± 2.99a	1.15 ± 1.22bc	9.11 ± 2.76bcd
Índice de madurez 1+20°C	45.65 ± 3.62a	1.43 ± 0.67cd	10.75 ± 1.74cd	48.79 ± 2.11a	-0.56 ± 1.87d	9.76 ± 2.17c	48.48 ± 2.36a	-0.52 ± 1.94c	9.11 ± 2.11b	48.95 ± 2.47a	-0.53 ± 1.70c	9.39 ± 2.29cd	48.71 ± 2.30a	-0.36 ± 1.79c	8.43 ± 2.29cd
Índice de madurez 2+5°C	43.84 ± 3.23a	6.72 ± 3.93a	9.79 ± 2.15d	47.71 ± 2.60a	2.65 ± 1.59bc	8.75 ± 2.00c	47.90 ± 2.03a	2.97 ± 1.17b	8.24 ± 2.40b	47.08 ± 2.21ab	2.71 ± 1.36b	8.85 ± 2.52cd	46.13 ± 2.47ab	3.46 ± 1.51b	8.62 ± 2.39cd
Índice de madurez 2+20°C	43.84 ± 3.23a	6.72 ± 3.93a	9.79 ± 2.15d	50.88 ± 1.69a	3.68 ± 1.61b	9.32 ± 1.08c	48.77 ± 3.86a	3.28 ± 1.24b	7.96 ± 2.45b	47.47 ± 5.20a	2.08 ± 2.09bc	7.18 ± 3.14d	47.15 ± 3.46a	2.63 ± 1.23b	7.71 ± 2.47d
CV (%)	6.69	78.15	14.65	5.56	103.14	14.76	5.70	90.89	17.95	6.61	94.11	20.65	5.47	76.24	21.93
DMS	4.08	3.00	2.49	3.53	2.42	2.40	3.64	2.23	2.81	4.76	2.67	3.38	4.09	2.63	3.66

<sup>Z</sup> Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una P≤0.05. Índice de madurez 1: verde incipiente; Índice de madurez 2: completamente coloreado. DMS: Diferencia mínima significativa; CV: Coeficiente de variación.

## 8.6 Betalaínas

En el contenido de betalaínas no se observaron diferencias significativas  $P \leq 0.05$  entre los años de cosecha 2011 y 2012, en los frutos de xoconostle “Ulapa” con índice de madurez 1 (verde incipiente) y 2 (completamente coloreado) y almacenados a los 0, 16, 24, y 32 días tanto en condiciones de refrigeración como en condiciones ambientales, excepto en los frutos de xoconostle “Ulapa” almacenados a los 8 días (Cuadro 10). Al inicio del almacenamiento los frutos de xoconostle “Ulapa” cosechados en el año 2012, con índice de madurez 1 (verde incipiente) y temperatura de almacenamiento 5°C y 20°C presentaron el mayor incremento de betalaínas (26.39 mg/kg), el menor incremento se observó en los frutos de xoconostle “Ulapa”, con índice de madurez 1 (verde incipiente) e índice de madurez 2 (completamente coloreados), temperatura de almacenamiento 5°C y 20°C y cosechados en el año 2011 (15.63 mg/kg).

Los frutos de xoconostle “Ulapa” cosechados en el año 2012, con índice de madurez 1 (verde incipiente) y almacenados a 5°C presentaron el mayor incremento en el contenido de betalaínas (42.52 mg/kg), mientras que los frutos de xoconostle “Ulapa” cosechados en el año 2012, con índice de madurez 1 (verde incipiente) y temperatura de almacenamiento de 20°C, presentaron el menor incremento en el contenido de betalaínas (6.94 mg/kg).

A los 16 días de almacenamiento los frutos de xoconostle “Ulapa” cosechados en el año 2011, con índice de madurez 1 (verde insipiente) y almacenados a 5°C presentaron el mayor incremento en el contenido de betalaínas (28.02), y el menor incremento en el contenido de betalaínas lo presentaron los frutos de xoconostle “Ulapa” con índice de madurez 2 (completamente coloreados), almacenados a 20°C y cosechados en el año 2012 (9.77).

Los frutos de xoconostle “Ulapa” cosechados en el año 2011, con índice de madurez 1 (verde incipiente) y almacenados durante 24 días a 20°C presentaron el mayor incremento de betalaínas (29.98 mg/kg) con respecto a los frutos de xoconostle “Ulapa”, con índice de madurez 1 (verde incipiente) y temperatura de almacenamiento de 5°C cosechados en el año 2012, que fueron los que presentaron el menor incremento en el contenido de betalaínas (6.55 mg/kg).

**Cuadro 10. Efecto de años e índice de madurez de cosecha y temperatura de almacenamiento en el contenido de betalaínas de frutos de xoconostle “Ulapa”.**

Índice de madurez de cosecha y temperatura de almacenamiento	Betalaínas (mg/kg)				
	Tiempo de almacenamiento (días)				
	0	8	16	24	32
<b>Año 2011</b>					
Índice 1+5°C	15.63a	19.55 ± 10.89abc	28.02 ± 1.13a	29.33 ± 7.82a	6.52 ± 2.99a
Índice 1+20°C	15.63a	11.08 ± 2.26bc	11.08 ± 4.92a	29.98 ± 1.13a	31.29 ± 5.87a
Índice 2+5°C	15.63a	13.03 ± 2.99bc	10.42 ± 2.99a	9.77 ± 3.39a	13.69 ± 7.05a
Índice 2+20°C	15.63a	33.24 ± 3.99ab	12.38 ± 13.02a	24.11 ± 21.54a	9.13 ± 1.13ba
<b>Año 2012</b>					
Índice 1+5°C	26.39 ± 9.86a	42.52 ± 5.50a	20.14 ± 12.45a	6.55 ± 5.58a	5.57 ± 3.10a
Índice 1+20°C	26.39 ± 9.68a	6.94 ± 5.82c	9.97 ± 9.19a	24.93 ± 8.95a	11.83 ± 9.06a
Índice 2+5°C	19.16 ± 3.96a	35.78 ± 17.90ab	14.56 ± 3.27a	10.85 ± 7.61a	21.12 ± 34.04a
Índice 2+20°C	19.16 ± 3.96a	20.92 ± 10.06abc	9.77 ± 11.15a	11.14 ± 7.98a	11.83 ± 10.63a
CV (%)	27.64	38.76	58.45	53.52	97.31
DMS	15.01	25.08	24.03	27.74	38.15

<sup>Z</sup> Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una  $P \leq 0.05$ . Índice de madurez 1: verde incipiente; Índice de madurez 2: completamente coloreado. DMS: Diferencia mínima significativa; CV: Coeficiente de variación.

Al final del tiempo de almacenamiento a los 32 días, los frutos de xoconostle “Ulapa” cosechados en el año 2011 con índice de madurez 1 (verde incipiente) y almacenados a 20°C presentaron el mayor incremento en el contenido de betalaínas (31.29 mg/kg), y menor incremento en el contenido de betalaínas a los 32 días de almacenamiento, lo presentaron los frutos de xoconostle “Ulapa” con índice de madurez 1 (verde incipiente) almacenados a 5°C y cosechados en el año 2012 (5.57 mg/kg).

En general las variaciones en el contenido betalaínas no fueron marcadas conforme aumentó el tiempo de almacenamiento, a excepción de los 8 días de almacenamiento, pudiendo estar relacionado con el periodo de adaptabilidad de los frutos después de cosechados. El contenido de betalaínas es similar al descrito por Aquino-Bolaños *et al.*, (2012) para siete variedades de tuna roja (*Opuntia spp.*), donde los valores descritos van de 13.55 a 86.69 mg/100g peso fresco; coincidiendo con lo reportado por Guzmán-

Maldonado *et al.*, (2010), para los frutos de la cactácea *Myrtillocactus geometrizans* (garambullo), en el cual se reportan valores de 29.5 a 36.9 mg/kg peso fresco.

### **8.7 Vulgaxantinas**

En el contenido de vulgaxantinas se observaron diferencias significativas en los años de cosecha 2011 y 2012, en los frutos de xoconostle “Ulapa” con índice de madurez 1 (verde incipiente) y 2 (completamente coloreados) y almacenados a los 0, 8, 16, 24, y 32 días (Cuadro 11). Al inicio del almacenamiento los frutos de xoconostle “Ulapa” cosechados en el año 2011, con índice de madurez 2 (completamente coloreados) y temperatura de almacenamiento 5°C y 20°C presentaron el mayor valor de vulgaxantinas (2.92 mg/kg), los valores más bajos los presentaron los frutos de xoconostle “Ulapa”, con índice de madurez 1 (verde incipiente) y temperatura de almacenamiento 5°C y 20°C y cosechados en el año 2012 (0.93 mg/kg).

Los frutos de xoconostle “Ulapa” con 8 días de almacenamiento y cosechados en el año 2011, con índice de madurez 2 (completamente coloreados) y almacenados a 5°C presentaron el mayor contenido de vulgaxantinas (8.25 mg/kg), mientras que los frutos de xoconostle “Ulapa” cosechados en el año 2012, con índice de madurez 2 (completamente coloreados) y temperatura de almacenamiento de 5°C, presentaron menor contenido de vulgaxantinas (0.77 mg/kg).

A los 16 días de almacenamiento los frutos de xoconostle “Ulapa” cosechados en el año 2011, con índice de madurez 2 (completamente coloreados) y almacenados a 20°C presentaron el mayor contenido de vulgaxantinas (4.58), y el menor contenido en vulgaxantinas se observó en los frutos de xoconostle “Ulapa” con índice de madurez 2 (completamente coloreados), almacenados a 5°C y cosechados en el año 2012 (1.44).

Los frutos de xoconostle “Ulapa” almacenados durante 24 días y cosechados en el año 2011 con índice de madurez 2 (completamente coloreados) y almacenados a 20°C presentaron el mayor contenido de vulgaxantinas (7.10 mg/kg) y los frutos de xoconostle “Ulapa” con índice de madurez 1 (verde incipiente) y temperatura de almacenamiento de 5°C cosechados en el año 2012, presentaron el menor contenido de vulgaxantinas (0.99 mg/kg).



Al final del periodo de almacenamiento a los 32 días, los frutos de xoconostle “Ulapa” cosechados en el año 2011 con índice de madurez 1 (verde incipiente) y almacenados a 20°C presentaron el mayor contenido de vulgaxantinas (3.81 mg/kg), mientras que el menor contenido de vulgaxantinas se observó en los frutos de xoconostle “Ulapa” con índice de madurez 2 (completamente coloreados) almacenados a 20°C y cosechados en el año 2012 (1.23 mg/kg).

No se observó una tendencia a aumentar o disminuir el contenido de vulgaxantinas con respecto al tiempo de almacenamiento ya que al inicio se observó un menor contenido de vulgaxantinas, a los 8 días de almacenamiento se incrementó y disminuyó a los 16 días y nuevamente se incrementó a los 24 días, y al final del periodo de almacenamiento a los 32 días disminuyó nuevamente.

**Cuadro 11. Efecto de años e índice de madurez de cosecha y temperatura de almacenamiento en el contenido de Vulgaxantinas de frutos de xoconostle “Ulapa”.**

Índice de madurez de madurez y temperatura de almacenamiento	Vulgaxantinas (mg/kg)				
	Tiempo de almacenamiento (días)				
	0	8	16	24	32
<b>Año 2011</b>					
Índice 1+5°C	2.92a	7.81 ± 0.41a	3.99 ± 1.16ab	1.77 ± 0.94b	1.86 ± 0.27ab
Índice 1+20°C	2.92a	5.68 ± 0.67ab	3.37 ± 0.15abc	3.09 ± 1.07b	3.81 ± 0.81a
Índice 2+5°C	2.92a	8.25 ± 0.46a	1.51 ± 0.15d	1.95 ± 0.31b	2.13 ± 1.33ab
Índice 2+20°C	2.92a	5.93 ± 1.56ab	4.58 ± 0.98a	7.10 ± 1.32a	2.75 ± 0.41ab
<b>Año 2012</b>					
Índice 1+5°C	0.93 ± 0.29b	1.06 ± 0.51c	2.40 ± 0.11bcd	0.99 ± 0.28b	1.67 ± 0.65ab
Índice 1+20°C	0.93 ± 0.29b	1.12 ± 0.60c	1.67 ± 0.44dc	1.81 ± 0.56b	1.57 ± 0.53b
Índice 2+5°C	0.95 ± 0.79b	0.77 ± 0.21c	1.44 ± 0.77d	4.38 ± 2.95ab	2.37 ± 1.11ab
Índice 2+20°C	0.95 ± 0.79b	3.97 ± 1.78b	1.71 ± 0.21b	2.07 ± 0.43b	1.23 ± 0.58b
CV (%)	21.76	21.75	24.41	44.19	36.08
DMS	1.19	2.66	1.78	3.62	2.22

<sup>Z</sup> Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una P≤0.05. Índice de madurez 1: verde incipiente; Índice de madurez 2: completamente coloreado. DMS: Diferencia mínima significativa; CV: Coeficiente de variación.

Las variaciones en el contenido de vulgaxantínas entre los frutos de xoconostle “Ulapa” fueron ligeramente marcadas conforme aumentó el tiempo de almacenamiento, a excepción de los iniciales, donde solo se presentaron diferencias significativas entre los años de cosecha. El contenido de vulgaxantínas fue similar al reportado por Guzmán-Maldonado *et al.*, (2010), para *Myrtillocactus geometrizans*, (garambullo), en el cual se reportan valores de 2.41 a 2.89 mg/kg peso fresco.

### **8.8 Fenoles Totales**

Se observan diferencias estadísticamente significativas  $P \leq 0.05$  en el contenido de fenoles totales en los frutos de xoconostle “Ulapa” cosechados en el año 2012, con índice de madurez (verde incipiente) e índice de madurez 2 (completamente coloreados) y almacenados a los 16, 24 y 32 días de almacenamiento tanto en condiciones de refrigeración a 5°C como en condiciones ambientales 20°C, excepto a los 0 y 8 días de almacenamiento donde no se encontraron diferencias significativas (Cuadro 12). Al inicio del almacenamiento aunque no se observan diferencias significativas, los frutos de xoconostle “Ulapa” con índice de madurez 2 (completamente coloreados) presentaron el mayor valor (1.00 mg EAG/g) con respecto a los frutos de xoconostle con un índice de madurez 1 (verde incipiente), este mismo comportamiento se observó a los 8 y 24 días de almacenamiento, donde los frutos de xoconostle “Ulapa” que presentaron un mayor contenido de fenoles totales fueron aquellos con un índice de madurez 2.

A los 16 días de almacenamiento los frutos de xoconostle “Ulapa” con índice de madurez 1, (verde incipiente) almacenados a 20°C presentaron el mayor incremento en el contenido de fenoles totales (1.30 mg EAG/g), por otra parte, los frutos de xoconostle “Ulapa” con índice de madurez 1 (verde incipiente) almacenados a 5°C presentaron un decremento mayor (0.90 mg EAG/g).

Al final del periodo de almacenamiento a los 32 días, los frutos de xoconostle “Ulapa” con índice de madurez 1 (verde incipiente) y almacenados a 5°C presentaron el mayor incremento en el contenido de fenoles totales (1.60 mg EAG/g), mientras que los frutos de xoconostle “Ulapa” con índice de madurez 2 (completamente coloreados) presentaron el mayor decremento en el contenido de fenoles totales (0.90 mg EAG/g).

Los valores obtenidos concuerdan con los obtenidos por Osorio-Esquivel *et al.*, (2011), que reportan valores de 1.02 mg EAG/g. Estudios recientes reportados por Guzmán-Maldonado *et al.*, (2010) analizaron otra variedad de xoconostle (*Opuntia matudae*), y reportaron valores para fenoles totales de 1.28 a 1.68 mg EAG/g. Wu *et al.*, (2006), en *Hylocereus cacti* (pitaya), reportan valores de 0.42 mg EAG/g, y en otro trabajo Jaramillo-Flores *et al.*, (2003), reportaron valores de fenoles totales en *Opuntia ficus-indica* de 1.59 mg EAG/g, todos ellos similares a los encontrados en este trabajo.

**Cuadro 12. Efecto de índices de cosecha y temperatura de almacenamiento en el contenido de Fenoles Totales de frutos de xoconostle “Ulapa”.**

Índices de madurez y temperatura de almacenamiento	Fenoles Totales (g equivalentes ácido gálico/kg)				
	Tiempo de almacenamiento (días)				
	0	8	16	24	32
<b>Año 2012</b>					
Índice 1+5°C	0.90 ± 0.02a	1.10 ± 0.01a	0.90 ± 0.01b	0.80 ± 0.01c	1.60 ± 0.01a
Índice 1+20°C	0.90 ± 0.02a	1.10 ± 0.00a	1.30 ± 0.02a	0.90 ± 0.01bc	1.10 ± 0.00b
Índice 2+5°C	1.00 ± 0.01a	1.10 ± 0.01a	1.00 ± 0.01ab	1.20 ± 0.01a	0.90 ± 0.00c
Índice 2+20°C	1.00 ± 0.01a	1.20 ± 0.03a	1.00 ± 0.00ab	1.10 ± 0.01ab	1.00 ± 0.01bc
CV (%)	18.15	14.07	11.76	8.64	5.80
DMS	0.04	0.04	0.03	0.02	0.01

<sup>Z</sup> Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una  $P \leq 0.05$ . Índice 1: verde incipiente; Índice 2: completamente coloreado. DMS: Diferencia mínima significativa; CV: Coeficiente de variación.

### 8.9 Actividad antioxidante

No se observaron diferencias estadísticamente significativas  $P \leq 0.05$  en actividad antioxidante en los frutos de xoconostle “Ulapa” cosechados en el año 2012, con índice de madurez 1 (verde incipiente) e índice de madurez 2 (completamente coloreados) y almacenadas a los 0, 8, 16, 24 y 32 días, tanto en condiciones de refrigeración a 5°C como en condiciones ambientales 20°C (Cuadro 13).

Al inicio del almacenamiento aunque no se observan diferencias significativas  $P \leq 0.05$ , los frutos de xoconostle “Ulapa” con índice de cosecha 2 (completamente coloreados) presentaron la menor actividad antioxidante (5.60mmol ET/kg) con respecto a los frutos

de xoconostle con un índice de madurez 1 (verde incipiente), este mismo comportamiento se observó a los 8, 16, 24 y 32 días de almacenamiento.

A medida que se incrementó el tiempo de almacenamiento se incrementó actividad antioxidante, excepto al final del periodo de almacenamiento, donde los valores disminuyeron y los valores fueron similares a los iniciales.

**Cuadro 13. Efecto de índices de cosecha y temperatura de almacenamiento en equivalente TROLOX de frutos de xoconostle “Ulapa”.**

Índices de madurez y temperatura de almacenamiento	ABTS (mmol ET/kg)				
	Tiempo de almacenamiento (días)				
	0	8	16	24	32
<b>Año 2012</b>					
Índice 1+5°C	5.80 ± 0.02a	5.50 ± 0.01a	6.20 ± 0.02a	6.40 ± 0.01a	5.90 ± 0.01a
Índice 1+20°C	5.80 ± 0.02a	5.50 ± 0.02a	5.70 ± 0.03a	6.30 ± 0.01a	6.10 ± 0.02a
Índice 2+5°C	5.60 ± 0.01a	5.60 ± 0.01a	6.20 ± 0.02a	6.10 ± 0.01a	6.10 ± 0.03a
Índice 2+20°C	5.60 ± 0.01a	5.50 ± 0.04a	6.00 ± 0.02a	6.10 ± 0.01a	5.90 ± 0.01a
CV (%)	3.19	3.65	3.22	1.83	3.05
DMS	0.40	0.50	0.50	0.20	0.40

<sup>Z</sup> Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una  $P \leq 0.05$ . Índice 1: verde incipiente; Índice 2: completamente coloreado. DMS: Diferencia mínima significativa; CV: Coeficiente de variación.

Los frutos de xoconostle “Ulapa” presentan una actividad antioxidante similar a la obtenida por Pellegrini *et al.*, (2003) en los que se reporta una actividad antioxidante para frambuesa, fresa, mora azul y cereza de 16.70, 10.90, 7.40 y 2.60 mmol ET/100g, respectivamente, así como los resultados para garmabullo (*Myrtillocactus geometrizans*) obtenidos por Guzmán-Maldonado *et al.*, (2010) en los que obtuvieron valores de 12.0 a 33.0 mmol ET/100g. Morales *et al.*, (2012) reportaron valores para *Opuntia joconostle* por el método DPPH (radical 1,1-difenil-2-picrilhidrazil) de 5.14 mg/mL de extracto.

La actividad antioxidante de un alimento se debe a sus diversos compuestos, entre los cuales están los compuestos fenólicos, entre otros. Por lo tanto, se puede decir que a partir del contenido de fenoles totales de los frutos de xoconostle “Ulapa”, tienen un potencial antioxidante, el cual tiene un efecto sinérgico entre los diferentes compuestos

bioactivos que conforman el fruto. Debido a la capacidad antioxidante de los frutos de xoconostle “Ulapa” es un fruto sobresaliente que se puede potenciar para su cultivo y alimentación humana.

## **IX CONCLUSIONES**

Al final del periodo de almacenamiento 32 días el menor porcentaje de pérdida de peso y acidez titulable se observó en los frutos de xoconostle con índice de cosecha 1 (verde incipiente) y almacenados a 5°C.

En el potencial hidrogeno no se observaron diferencias significativas en los dos años de cosecha, en los frutos de xoconostle “Ulapa” con índice de madurez 1 (verde incipiente) y 2 (completamente coloreados) y almacenados a 5°C y 20°C, sin embargo a medida que se incrementó el tiempo de almacenamiento se incrementó el pH, aunque no significativamente.

En el porcentaje de sólidos solubles totales influyó el año de cosecha, índice de madurez y temperaturas de almacenamiento y al final del periodo de almacenamiento, los frutos de xoconostle “Ulapa” que presentaron el mayor porcentaje de °Brix fueron los frutos cosechados en el año 2012, con índice de madurez 2, almacenados a 20°C y no se observó una tendencia a aumentar o disminuir el contenido de °Brix con respecto al tiempo de almacenamiento.

Los frutos de xoconostle “Ulapa” que presentaron una mayor brillantes fueron aquellos frutos cosechados en el 2012, con índice de madurez 1 y almacenados a 20°C, mientras que la mayor coloración de los frutos se observó en aquellos cosechados en el 2011, con índice de madurez 2 y almacenados a 5°C, mientras que los frutos que presentaron una mayor intensidad de color fueron los frutos cosechados en el 2011, con índice de madurez 1 y almacenados a 5°C.

No se observaron diferencias significativas en el contenido de betalaínas en los dos años de cosecha, de los frutos de xoconostle “Ulapa” con índice de madurez 1 y 2, almacenados a 5°C y 20°C, excepto al final del periodo de almacenamiento ya que los frutos de xoconostle “Ulapa” cosechados en el 2011, con índice de madurez 1 y almacenados a 20°C presentaron el mayor incremento en el contenido de betalaínas.

En general las variaciones en el contenido de betalaínas no fueron marcadas conforme aumento el tiempo de almacenamiento.

Al final del periodo de almacenamiento los frutos de xoconostle "Ulapa" cosechados en el año 2011, con índice de madurez 1 y almacenados a 20°C presentaron el mayor contenido de vulgaxantínas, sin embargo no se observó una tendencia a aumentar o disminuir el contenido de vulgaxantínas con respecto al tiempo de almacenamiento.

Se observaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en el contenido de fenoles totales en los frutos de xoconostle "Ulapa" al final del periodo de almacenamiento, con los índices de cosecha 1 y 2 y almacenados a 5°C y 20°C y los frutos de xoconostle "Ulapa" con índice de madurez 1 y almacenados a 5°C presentaron el mayor incremento en el contenido de fenoles totales.

No se observaron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) en actividad antioxidante en los frutos de xoconostle "Ulapa" con índice de madurez 1 y 2 y almacenados a 5°C y 20°C, sin embargo si se observó un ligero incremento en la actividad antioxidante a medida que se incrementó el tiempo de almacenamiento.

Es importante potenciar el cultivo de xoconostle "Ulapa" por sus características en contenido de sólidos solubles totales, acidez titulable, pH, color, betalaínas, vulgaxantínas, fenoles totales y actividad antioxidante.

## X BIBLIOGRAFÍA

Adelmann, J. Própolis: variabilidade composicional, correlação com a flora e bioatividade antimicrobiana/antioxidante. Dissertação de Mestre em Ciências Farmacêuticas do Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas, Setor de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Paraná. 2005.

Aguayo, E, Innovaciones tecnológicas en la conservación de melón y tomate procesado en fresco, Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Cartagena, España (2003).

AOAC (1975). Official Methods of Analysis, 12th Ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.

AOAC (1980). Official methods of analysis. 13a. Ed. George Santa Company Inc., Menasha, Wisconsin. 1018 p.

AOAC (1990). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, Published by AOAC, Inc. Helrich K (editor), 15th Ed, Arlington, I&II: 17-18, 40-62, 69-83, 1012.

AOAC (1997a). Official methods of analysis of Association of Official Analytical Chemists. 16th ed. Maryland.

AOAC (1997b). Official methods of analysis of Association of Official Analytical Chemists 15thEd. Washington

Arias, M. C. G. y Martínez, C. M. A. 1988. Jardín de introducción de procedencia de Nopal (*Opuntia sp.*). En: Memoria de la III Reunión Nacional y I Reunión Internacional. El nopal. 10-14 de octubre. Saltillo. Coah. México pp: 81-86.

ASERCA (Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria). 1999. Producción mundial de tuna. En: La tuna testigo de nuestra historia, de Claridades Agropecuarias N° 71. Editor Barreiro, P.M. pp. 31-34.



Bedolla, B. S., Dueñas, G. C., Esquivel, I. I., Favela, T. T., Guerrero, H. R., Mendoza, E., Navarrete, L. A., Olgún, M. L. E., Ortiz, G. J., Pacheco, P. O., Quiroz, B. M., Ramírez, S. A. y Trujillo, C. M. 2003. Introducción a la Tecnología de los Alimentos 2da. Ed. Ed. Limusa, México D. F. pp 43-75.

Benzie, I-F-F., Strain J-J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*. 1996, 239, 70-76.

Beyer Jr W. F. and Fridovich I., “Assaying for superoxide dismutase activity: some large consequences of minor changes in conditions,” *Analytical Biochemistry*, vol. 161, no. 2, pp. 559–566, 1987.

Blackwell, R. D., Murray, A.J.S., Lea, P.J. 1990. Enzymes of photorespiratory carbon pathway. pp 129-144. In Lea, P.J. *Methods in Plant Biochemistry*. Academic Press. USA.

Borrego, E. F. y Burgos, V. N. 1986. El Nopal. Ed. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, México, p.145.

Bravo, H. H. 1978. Las Cactáceas de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Volumen I.

Camargo, A. y Moya, O. M., Estudio preliminar de la influencia del choque térmico en la inhibición de daños por frío en la pitaya amarilla (*Acanthocereus pitaya*). Bogotá, 1995. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de ciencias.

Cartaya, O., E., Reynaldo Inés. (2001). Flavonoides: Características químicas y aplicaciones. *Cultivos tropicales*. 22. No 2. 5-14.

Casas, A. and Barberá, G. 2002. Mesoamerican domestication and diffusion. In P. S. Nobel (Ed), *Cacti. Biology and uses* (pp. 143-162) Berkeley/Los Angeles/ London: University of California Press.

Castellanos, C. P., I. E. López Ch., J.M. De Luna E y C.A. Flores V. 1999. Costos de producción y comercialización de tuna (*Opuntia* spp.) en la región de San Martín de la

Pirámides. En Aguirre R., J. R. Y Reyes A., J. A. (Editores). Conocimiento y aprovechamiento del nopal. Memorias del VIII Congreso Nacional y VI Internacional. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México. pp. 54-55.

Centurion Y. A; Solis P. S; Saucedo V. C; Báez S. R; Sauri D. E. 2008. Cambios físicos, químicos y sensoriales en frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) durante su desarrollo. Revista Fitotecnia Mexicana. México. 31, 001, 2.

Chávez Q.C., 2000. Inocuidad de frutas y hortalizas, efectos del agua contaminada. Boletín informativo. Departamento de Inocuidad Alimentaria. Centro de investigación y desarrollo en Culiacán, Sinaloa, México.

Colunga, G. M. S., Hernández, X. E., y Castillo, M. A. 1986. Variación morfológica, manejo agrícola tradicional y grado de domesticación de *Opuntia* spp. En el Bajío Guanajuatense. Agrociencia. 65, 7.

Corrales G., J. 1997. Poscosecha de la tuna y del nopal verdura. En Vásquez- A., R. E., C. Gallegos Vázquez, N. Treviño- Hernández y I. Díaz-Torres (Comp.). Conocimiento y aprovechamiento del nopal. Memorias del 7º Congreso Nacional y 5º Internacional. Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey Nuevo León, México. pp. 88-94.

Dasgupta, N., DE, B. Antioxidant activity of some leafy vegetables of India: A comparative study. Food Chemistry. 2007, 101, 471–474.

Dominguez-Lopez., A. 1995. Review: Use of the Fruits and Steam of the Prickly Pear Cactus (*Opuntia* spp.) into Human Food. Food Sci. Technol. Int. 1, 65-74.

Duckworth, R. B. 1968. Frutas y Verduras. Editorial Acribia Zaragoza, España. Pp.74-78.

Fernández, M. L., Lin, E. C., Trejo, A., McNamara, D. J. 1992. Prickly Pear (*Opuntia* sp) Pectin Reverses Low-density Lipoprotein Receptor Suppression Induced by a Hypercholesterolemia Diet in Guinea Pigs. J. Nutr., 122, 2330-2340.

Filardo, K. S., Peña, R. M., Scheinvar, L., Cruz M., B. R., Tapia A., J. T., y Estrada, Z. 2006. Validación de una mermelada elaborada con xoconostle (*Opuntia matudae* scheinvar). Tecnología. Enero/Febrero. 18-29.

Flores Avila E. 2004. Desarrollo de una bebida funcional de maracuyá (*Passiflora edulis f. flavicarpa*). Tesis. Universidad de las Américas Puebla. Puebla, Mexico. 47 pp.

Flores Tena Francisco J., Muñoz Salas Edna M. y Morquecho Buendía Ofelia, 1999. Absorción de cromo y plomo por alfalfa y pasto ovillo. Agrociencia, octubre-diciembre, Volumen 33. Número 4, pp 381-388.

Flores, A. V. y C. Gallegos V. 1994. Chapingo, México Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), Subsecretaria de Agricultura Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y de la Agricultura Mundial (CIESTAAM). Pp. 47.

Frati, A. C., Jiménez, E., Ariza, C. R. 1990. Hypoglycemic Effect of *Opuntia ficus indica*

Gallegos-Vazquez, C., Cervantea-Herrera J., Barrientos-Priego A. F., 2005, ISBN 968-02-0132-5. Manual gráfico para la descripción varietal del nopal tunero y xoconostle (*Opuntia* spp).pp 70-109.

García-Pedraza, L. G., Reyes-Agüero, J. R., Pinos-Rodríguez, J. M. 2005. Preliminary Nutritional and Organoleptic Assesment of Xoconostle Fruit (*Opuntia* spp.) as a Condiment or Appetizer. Italian J. Food Sci. 17(3), 333-340.

Garnica, G. y Quintero, E., Estudio preliminar de la influencia de las bajas temperaturas sobre algunas características de la maduración de las pitaya amarilla (*Acanthocereus pitajaya*). Bogotá, 1994. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de ciencias.

González A. Gustavo. A., Peregrino A., Ayala Z. F., Fortiz J., Ruiz C. S., Cruz V. Reynaldo. 2003. Physiological response of different maturity pepper to application of methyl jasmonate and individual wrapping. Simiente; 73(1-2): 43-52.

González G. R., Morales O. T., Olivares S. E., Aranda R. J., Gallegos V. C. 2001. Conservación de una variedad de tuna (Burrona) bajo diferentes manejos poscosecha. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Agronomía. Nuevo León. México. pp. 322-329.

Gurrieri, S., Miceli, L. C., Lanza, M., Tomaselli, F., Bonomo, R. P., and Rizzarelli, E. 2000. Chemical Characterization of Sicilian Prickly Pear (*Opuntia ficus indica*) and Perspectives for the Storage of Its Juice. *J. Agric Food Chem.* 48, 5424-5431.

Gutiérrez, A. D., Ortiz, G. C., Mendoza, C. A. (2008). Medición de Fenoles y Actividad Antioxidante en Malezas Usadas para Alimentación Animal. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México.

Guzmán-Maldonado, S.H; Morales-Montelongo, A.L., Mondragón-Jacobo, C.,Herrera-Hernández, G.,Guevara-Lara, F.,and Reynoso-Camacho, R. 2010.Physicochemical, Nutritional, and FunctionalCharacterization of Fruits Xoconostle (*Opuntia matudae*) Pears from Central-México Region. *Journal of Food Science.*Vol. 75, N. 6,Pp 485-492.

Hahn-Shlam Federico, Miranda Salgado Genaro, Pérez López Francisco, Mayo Díaz Obdulio, Rojas Serrano Freddy y Coras Merino Pablo, 2006. Monitoreo de la calidad del agua en el río Texcoco mediante sensores selectivos. *Agrociencia*, mayo-junio, Volumen 40, número 003. Colegio de Posgraduados. pp. 277-287.

Hardenburg, R.E., Watada, A.E., Wang, c. Y. 1988. Almacenamiento comercial de frutos y existencia de frutas, legumbres y existencia de floristerías y viveros. IICA, San José de Costa Rica.

Herwood, D. A. 1990. Human healthy discoveries with *Opuntia* sp. (Prickly pear). *Hort. Sci.* 25, 1515-1516.

Higareda R., A. 1994. Industrialización integral del nopal y de la tuna. En Esparza F., G y Méndez G. S. de J. (comp.) Aportaciones técnicas y experiencias de la producción de tuna en Zacatecas. Memorias Colegio de Postgraduados, COCCAM, Morelos Zac., México. pp. 83-86.

Hill R. H., W. B. McGlasson, E. G. Hall, D. Graham y Lee T. H. 1977. Fisiología y Manipulación de Frutas y Hortalizas Postrecolección. Editorial Acribia. Zaragoza, España. Pp. 75.

Juárez Soto Henry Saúlm, 2006. Contaminación del Río Rímac por metales pesados y efecto en la agricultura en el cono este de lima metropolitana. Tesis de Maestría. Reporte final de investigación para Agropolis - Programa Internacional de becas de investigación en Agricultura Urbana. Maestría en Ciencias Ambientales. Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima-Perú

Justin Cajuste Lenom, Vázquez Alarcón Antonio, Siebe Grabach Christina, Alcantar González Gabriel y De la Isla Bauer María de Lourdes, 2001. Cadmio, Níquel y Plomo en agua residual, suelo y cultivos en el valle del mezquital Hidalgo, México. Agrociencia, mayo-junio. Volumen 35, número 3. pp 267-274.

Kelly A. Reynolds, 2002. Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica, Identificación del problema. Agua Latinoamérica, septiembre-diciembre 2002.

Mayorga, V. M. C., M. Urbiola, L., G. Suárez R. y H. M. Escamilla S. 1988. Estudio agronómico de Xoconostle *Opuntia* spp. En la Zona Semiárida del Estado de Querétaro. En: Memoria de la III Reunión Nacional y I Reunión Internacional. El nopal. 10-14 de octubre. Saltillo. Coah. México pp: 239-245.

Mercado-Flores J., López-Orozco M., Martínez-Soto G., García-Mosqueda C. Mendoza-González S. 2010. Evaluación de la vida de anaquel de diferentes variedades de xoconostle en fresco (*Opuntia* spp.) del suroeste del estado de Guanajuato. XII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad de Guanajuato, México. pp: 1-11.

Mondragón Jacobo Candelario. Cuadernos de Nutrición Volumen 16 No.4 Julio-Agosto 1993. La Tuna: Fruta que Ofrece Mucho más que Ahuates y Semillas.

Muñoz de Chavez, M., Chavez, A. Valles, V., Roldan, J. A. 1995. A plant of Mainfold Qualities. En: World Review of Nutrition and Dietetics, Simpoulos, A. P., Ed., Karger: Basel, Switzerland. 77, 109-134.

Nastschu, J.1997.Application and Development of contaminated site remediation technologies in Australia. ANZAC Fellowship report to Department of internal Affairs, Wellington, New Zeland and Department of Foreign Affairs and Trade, Canberra Australia.

Nelson, N. A PHOTOMETRIC ADAPTATION OF THE SOMOGYI METHOD FOR THE DETERMINATION OF GLUCOSE. J. Biol. Chem. 1944, 153:375-380 pp.

Nilsson, I. 1970.Studies into the pigments in beet root. Lantbrukshoegshoeeegskolans anal. 36:pp.179-83.

Nobel, P.S., 1989.Phisicochemical and Enviromental Plant Physiology. Academic Pres. San Diego.

Ochoa E. C. y Guerrero A. J. 2011. Efecto del almacenamiento a diferentes temperaturas sobre la calidad de Tuna Roja (*Opuntia ficus indica* (L.) Miller). En: Información tecnológica. 23(1). pp. 117-128.

Osorio-Esquivel, O., Ortiz-Moreno, A., Álvarez, B. V., Dorantes-Álvarez, L., and Giusti, M. M., 2011. Phenolics, betacyanins and antioxidant activity in *Opuntia joconostle* fruits.Food Research International, doi:10.1016/j.foodres.2011.02.011

Palevitch, D., Earon, G., Levin, I., 1993. Treatment of Benign Protatic Hypertrophy with *Opuntia ficus indica* (L) Miller. J. Herbs. Spices Med. Plants. 2, 45-49.

Pinedo E. J. M., Franco B. A., Hernández F. A. D. 2010. COMPORTAMIENTO POSCOSECHA DE CULTIVARES DE TUNA POR EFECTO DEL MANEJO DEL HUERTO Y TEMPERATURA DE FRIGOCONSERVACIÓN. 2010. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, vol. 11, núm. 1, 2010, pp. 43-58, Asociación Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, S.C. México.

Reyes-Agüero J. A. Aguirre R. J. R. and Valiente B. A. 2005. Reproductive biology of *Opuntia*: a review. *J. Arid Environ.* In press.

Rodríguez R. D., Patiño G. M., Miranda L. D., Fischer G., Galvis V. J. 2005. Efecto de dos índices de madurez y dos tipos de temperaturas de almacenamiento sobre el comportamiento en poscosecha de la pitaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* Haw). Universidad nacional de Colombia. Facultad de agronomía, Bogotá, Colombia.

Sáenz H., C. 1999. Alternativas tecnológicas para el proceso de tuna y nopal. En Aguirre R., J. R. Y Reyes A., J. A. (Editores). Conocimiento y aprovechamiento del nopal. Memorias del VIII Congreso Nacional y VI Internacional. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México. pp. 228-239.

Sanchez, G. N., 2006. Extracción y caracterización de los Principales pigmentos del *Opuntia joconostle* c.v. (xoconostli). Instituto politécnico Nacional. México D. F. pp 2-12

Santamaría F. J. 1992. Diccionario de Mejianismos 5 ed. Porrúa, México Distrito Federal.

Scheinvar, L. 1988. Los nopales silvestres del estado de Querétaro en sus tipos de vegetación. En: memoria de la III Reunión Nacional y I Reunión Internacional. El nopal. 10-14 de octubre. Saltillo. Coah. México pp: 39.

Scheinvar, L. 1999. Biosistemática de los Xoconostles Mexicanos y su Potencial Económico. En: Memoria del VIII Congreso Nacional y VI Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. 6-10 de septiembre. San Luis Potosí, México. pp: 255-274.

Scheinvar, L. 2001. Estudio Biosistemático de los Xoconostles Mexicanos y su Potencial Económico. En: Memoria del XV Congreso Mexicano de Botánica. 13-21 de Octubre. San Luis Potosí, México. pp: 255-274.

Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación SAGARPA, 2005. Servicio de información y Estadística Agroalimentaria y Pesca. Resumen nacional DDR. Año agrícola 2005.

Sepúlveda, E., Sáenz C. and Álvarez, M. 2000. Physical, chemical and sensory characteristics of dried fruits sheets of cactus pear (*Opuntia ficus indica* (L.) Mill. and quince (*Cydonia oblonga* Mill.). *Ital. J. Food Sci.* 12, 47.

Silva Gómez Sonia Emilia, Muñoz Orozco Abel de la Isla de Bahuer, María Lourdes y Infante Gil Said, 2002. Contaminación Ambiental en la Región de Atlixco Pue. *Terra Latinoamericana*, julio-septiembre, volumen 20, número 3, pp 243-251.

Somogyi, M. NOTES ON SUGAR DETERMINATION *J. Biol. Chem.* 1952, 195:19-23 pp.

Stintzing, F. C., Herbach, K. M. Mosshammer, M. R., Carle R., Yi, W., Selleppan, S., Akoh, C. C., Bunch, R., and Felker, P. 2005. Color, Betalain Pattern, and Antioxidant Properties of Cactus Pear (*Opuntia* spp.) Clones. *J. Agric. Food Chem.* 53, 442-451.

Tesoriere, L., Butera, D., Allegra, M., Fazzari, M., and Livrea, M. A. 2005. Distribution of Betalains Pigments in Red Blood Cells After Consumption of Cactus Pear Fruits and Increased Resistance of the Cells to ex Vivo Induced Oxidative Hemolysis in Humans. *J. Agric. Food Chem.* 53, 1266-1270.

Tripathi, R., Mohan, H., Kamat, J-P. Modulation of oxidative damage by natural products. *Food Chemistry.* 2007, 100, 81–90.

Unión Europea, 2007. El Reglamento (CE) nº 466/2001. Contenido máximo de determinados contaminantes: nitratos, micotoxinas (aflatoxinas, ocratoxina A y patulina), metales pesados (plomo, cadmio y mercurio), 3-monocloropropano-1,2-diol (3-MCPD), dioxinas y PCB similares a las dioxinas, así como el estaño inorgánico.

Vázquez Alarcón Antonio, Justin Cajuste Lenon, Siebe Grabach Christina Alcántar Gonzalez y De la Isla de Bauer María de Lourdes, 2001. Cadmio, Níquel y Plomo en Agua Residual, Suelo y Cultivos en el Valle del mezquital, Hidalgo, México. *Agrociencia* 35: 267-274.

Ventura R., E. Y J Pimentel L 1994. Manejo de escurrimientos para la producción de nopal tunero. En Esparza F., G y Méndez G. S. de J. (comp.) *Aportaciones técnicas y*



experiencias de la producción de tuna en Zacatecas. Memorias Colegio de Postgraduados, COCCAM, Morelos Zac., México. pp. 87-95.

Vigueras G. A. L. and Portillo L. 2001. Uses of *Opuntia* species and the potencial impact of *Cactoblastis cactorum* (Lepidoptera: Pyralidae) in México. Fla. Entomol. 84, 493.

Vitoria-Matos A, Corbelli-Moreno D. 2001. Evaluación del contenido y estabilidad de betalaínas en pulpa de fruto *Opuntia boldinghii* Br. Et R. Tesis. Universidad Simón Rodríguez. Canoabo, Venezuela. 70 pp.

Witham F. H; Blaydes, D. F; Devlin, R. M. 1971. Experiments in Plant Physiology. Van Nostrand Reinhold Company. New York, USA. 245 pp.