



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

“Enseñar la explotación de la tierra, no la del hombre”

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

INSTITUTO DE HORTICULTURA

**CARACTERIZACIÓN QUÍMICA, FÍSICA Y FISIOLÓGICA DE
XOCOTUNA, TUNA Y XOCONOSTLE**

T E S I S

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:
DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

PRESENTA:

TERESA MONROY GUTIÉRREZ

CHAPINGO, ESTADO DE MÉXICO, MARZO DE 2016.



Instituto de Horticultura

**CARACTERIZACIÓN QUÍMICA, FÍSICA Y FISIOLÓGICA DE XOCOTUNA,
TUNA Y XOCONOSTLE.**

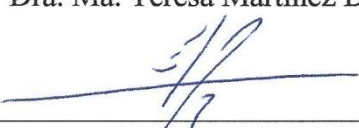
Tesis realizada por **Teresa Monroy Gutiérrez** bajo la dirección del Comité Asesor
indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado
de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR: _____


Dra. Ma. Teresa Martínez Damián

ASESOR: _____


Dr. Juan Enrique Rodríguez Pérez

ASESOR: _____


Dr. Alejandro F. Barrientos Priego

ASESOR: _____


Dr. Clemente Gallegos Vázquez

ASESOR: _____


Dra. Ma. Teresa B. Colinas León

LECTOR EXTERNO: _____


Dra. Margarita Gisela Peña Ortega

AGRADECIMIENTOS

Al pueblo de México, que a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), hizo posible el financiamiento para realizar mis estudios de Doctorado.

A la Universidad Autónoma Chapingo, especialmente al Instituto de Horticultura del Departamento de Fitotecnia por brindarme las herramientas necesarias para concluir satisfactoriamente mi formación académica.

A la Dra. Ma. Teresa Martínez Damián, Dr. Alejandro F. Barrientos Priego, Dr. Clemente Gallegos Vázquez, Dr. J. Enrique Rodríguez Pérez, Dra. Ma. Teresa B. Colinas León y Dra. Margarita Gisela Peña Ortega, por su apoyo incondicional y valiosas sugerencias para la realización del presente trabajo de investigación.

Al coordinador de posgrado, profesores del programa, personal administrativo y personal de laboratorio por todas las facilidades otorgadas.

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de manera especial a mi madre Sara Gutiérrez Mercado, quien a lo largo de este camino ha sido el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional, sentó en mi las bases de responsabilidad y deseos de superación, en ella tengo el espejo en el cual me quiero reflejar pues sus virtudes infinitas y su gran corazón me llevan a admirarla cada día más.

Gracias Dios por tantas bendiciones.....

“Aprendí que no se puede dar marcha atrás, que la esencia de la vida es ir hacia adelante”.

Agatha Christie.

DATOS BIOGRÁFICOS

La autora de la presente Tesis, nació en Jocotitlán, Estado de México, el 15 de Octubre de 1982. Realizó sus estudios de licenciatura y maestría en el Departamento de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Autónoma Chapingo. Se desempeñó como Tercero Especialista Fitosanitario de 2009 a 2011 para la Unidad de Verificación “Servicios Integrales para una Agricultura Rentable A.C.” en el estado de Michoacán, en los programas de aguacate y mango para exportación. En el 2012 ingresó al Doctorado en Ciencias en Horticultura, en el Instituto de Horticultura del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo.

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA, FÍSICA Y FISIOLÓGICA DE XOCOTUNA, TUNA Y XOCONOSTLE

CHEMICAL, PHYSICAL AND PHYSIOLOGICAL CHARACTERIZATION OF XOCOTUNA, PRICKLY PEAR AND XOCONOSTLE

Teresa **Monroy Gutiérrez**¹ and Ma. Teresa **Martínez Damián**²

RESUMEN GENERAL

El objetivo de este trabajo fue evaluar algunas características químicas, físicas y fisiológicas de 'xocotuna' en comparación con tuna y xoconostle. Las determinaciones se realizaron a partir de frutos frescos cosechados en madurez fisiológica en los meses de junio, agosto y octubre del año 2013. La evaluación comprendió 24 días en almacenamiento a temperatura ambiente (22 °C). Los resultados mostraron que la pérdida de peso fue similar entre tunas y xocotunas, y mayor a 8 % en los xoconostles. Los cultivares de xoconostle y xocotuna presentaron niveles de capacidad antioxidante entre 0.53 y 1.04 mg g⁻¹. La mayor concentración de vitamina C se observó en la variedad 'Cuaresmeño' a los 15 días con 125.22 mg 100 g⁻¹, a diferencia de 'Amarilla Montesa' con el menor valor (2.34 mg 100 g⁻¹) a los 12 días. La concentración de betalaínas, clorofila total y carotenos estuvo en función del color característico del fruto. Las xocotunas 'Cascarón' y 'Chinchilla' tuvieron los niveles más altos de respiración con valores de 26.30-31.63 a los 18 días y de 37.87-32.37 mL CO₂.kg⁻¹.h⁻¹ a los 12 días, respectivamente. La xocotuna 'Caidilla' presentó las concentraciones más altas de etileno (0.53-0.66 µL C₂H₄.kg⁻¹.h⁻¹) a los 15 días.

Palabras clave: capacidad antioxidante, vitamina C, betalaínas, respiración.

GENERAL ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate some chemical, physical and physiological characteristics of 'xocotuna' compared with prickly pear and xoconostle. Measurements were made from fresh fruits harvested at physiological maturity during June, August and October 2013. Fruits were stored for 24 days at room temperature (22 °C). The obtained results showed that weight loss was similar between prickly pears and xocotunas, and more than 8 % in xoconostles. Xoconostle and xocotuna cultivars showed antioxidant capacity levels between 0.53 and 1.04 mg g⁻¹. The highest concentration of vitamin C was observed at 15 days in 'Cuaresmeño' with 125.22 mg 100 g⁻¹, while the lowest was in 'Amarilla Montesa' (2.34 mg 100 g⁻¹) at 12 days. Betalain, total chlorophyll and carotenoid concentrations were related to fruit color. Xocotuna varieties 'Cascarón' and 'Chinchilla' had the highest levels of respiration with values of 26.30-31.63 at 18 days and of 37.87-32.37 mL CO₂.kg⁻¹.h⁻¹ at 12 days, respectively. The xocotuna 'Caidilla' presented the highest concentrations of ethylene (0.53-0.66 µL C₂H₄.kg⁻¹.h⁻¹) at 15 days.

Keywords: antioxidant capacity, vitamin C, betalains, respiration.

¹Tesista; ²Director.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	III
DEDICATORIA	IV
DATOS BIOGRÁFICOS.....	V
RESUMEN GENERAL, GENERAL ABSTRACT	VI
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	VI
ÍNDICE DE CUADROS.....	VIII
1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
2. CARACTERIZACIÓN DE XOCOTUNA, TUNA Y XOCONOSTLE EN POSTCOSECHA	3
2.1 RESUMEN.....	4
2.2 ABSTRACT.....	5
2.3 INTRODUCCIÓN	6
2.4 MATERIALES Y MÉTODOS	7
2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	10
2.6 CONCLUSIONES	53
2.7 LITERATURA CITADA	53
3. COMPUESTOS BIOACTIVOS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE XOCOTUNA, TUNA Y XOCONOSTLE EN POSTCOSECHA.....	63
3.1 RESUMEN.....	64
3.2 ABSTRACT.....	65
3.3 INTRODUCCIÓN	66
3.4 MATERIALES Y MÉTODOS	67
3.6 CONCLUSIONES	106
3.7 LITERATURA CITADA	106
4. RESPIRACIÓN, ETILENO Y CONTENIDO DE METABOLITOS ANAEROBIOS EN FRUTOS DE XOCOTUNA, TUNA Y XOCONOSTLE EN POSTCOSECHA....	114
4.1 RESUMEN.....	115

4.2 ABSTRACT	116
4.3 INTRODUCCIÓN	117
4.4 MATERIALES Y MÉTODOS	118
4.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	120
4.6 CONCLUSIONES	131
4.7 LITERATURA CITADA	132
5. CONCLUSIONES GENERALES	136
6. LITERATURA GENERAL CITADA	136

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
2. CARACTERIZACIÓN DE XOCOTUNA, TUNA Y XOCONOSTLE EN POSTCOSECHA.	
Cuadro 1. Material vegetal utilizado.....	8
Cuadro 2. Porcentaje de pérdida de peso evaluado en frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.....	13
Cuadro 3. Luminosidad (*L) de pulpa evaluada en frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.....	16
Cuadro 4. Pureza de color (*c) de pulpa en frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle	18
Cuadro 5. Ángulo de tono (°h) de pulpa en frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.....	21
Cuadro 6. Luminosidad (*L) de cáscara en frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.....	24
Cuadro 7. Pureza de color (*c) de cáscara en frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.....	26
Cuadro 8. Ángulo de tono (°h) de cáscara en frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.....	28
Cuadro 9. Grosor de cáscara (mm) en frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.....	31
Cuadro 10. Firmeza de pulpa (N) en frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.....	34
Cuadro 11. Firmeza de cáscara (N) en frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.....	37
Cuadro 12. Contenido de sólidos solubles totales (°Brix) en frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.....	41

Cuadro 13.	Valores de pH de pulpa en frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.....	44
Cuadro 14.	Valores de pH de cáscara en frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.....	46
Cuadro 15.	Valores de acidez titulable (% de ácido cítrico) de pulpa en frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.....	50
Cuadro 16.	Valores de acidez titulable (% de ácido cítrico) de cáscara en frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.....	52
3. COMPUESTOS BIOACTIVOS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE XOCOTUNA, TUNA Y XOCONOSTLE EN POSTCOSECHA.		
Cuadro 1.	Material vegetal utilizado.....	68
Cuadro 2.	Capacidad antioxidante (mg VCEAC g ⁻¹) evaluada en pulpa de frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.....	73
Cuadro 3.	Contenido de capacidad antioxidante (mg VCEAC g ⁻¹) en cáscara de frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle...	75
Cuadro 4.	Contenido de fenoles totales (mg GAE 100 g ⁻¹) en pulpa de frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.....	78
Cuadro 5.	Contenido de fenoles totales (mg GAE 100 g ⁻¹) en cáscara de frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.....	82
Cuadro 6.	Contenido de Vitamina C (mg 100 g ⁻¹) en pulpa de frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.....	86
Cuadro 7.	Contenido de vitamina C (mg 100 g ⁻¹) en cáscara de frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.....	88
Cuadro 8.	Contenido de betacianina (mg 100 g ⁻¹) en pulpa de frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.....	92
Cuadro 9.	Contenido de betaxantina (mg 100 g ⁻¹) en pulpa de frutos de	

	cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.....	95
Cuadro 10.	Contenido de betacianina (mg 100 g ⁻¹) en cáscara de frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.....	98
Cuadro 11.	Contenido de betaxantina (mg 100 g ⁻¹) en cáscara de frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.....	100
Cuadro 12.	Contenido de clorofila total (mg 100 g ⁻¹) en pulpa de frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.....	102
Cuadro 13.	Contenido de clorofila total (mg 100 g ⁻¹) en cáscara de frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.....	103
Cuadro 14.	Contenido de carotenos (mg 100 g ⁻¹) en pulpa de frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.....	105
Cuadro 15.	Contenido de carotenos (mg 100 g ⁻¹) en cáscara de frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.....	106
	4. RESPIRACIÓN, ETILENO Y CONTENIDO DE METABOLITOS ANAEROBIOS EN FRUTOS DE XOCOTUNA, TUNA Y XOCONOSTLE EN POSTCOSECHA.	
Cuadro 1.	Material vegetal utilizado.....	118
Cuadro 2.	Tasa de respiración (mL CO ₂ .kg ⁻¹ .h ⁻¹) en frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.....	123
Cuadro 3.	Producción de etileno (μL C ₂ H ₄ .kg ⁻¹ .h ⁻¹) en frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.....	126
Cuadro 4.	Producción de acetaldehído (mg/ 100mL) en frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.....	128
Cuadro 5.	Producción de etanol (mg/ 100mL) en frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.....	131

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La familia de las cactáceas en México se encuentra ampliamente representada. Es importante debido a la gran diversidad que existe así como la gama de usos que se le ha dado desde la época prehispánica, donde más de 40 especies silvestres y domesticadas han sido utilizadas en la medicina, la alimentación humana y animal. Como tal, *Opuntia* es un género complejo que incluye especies utilizadas para consumo de cladodios tiernos, conocidos como “nopalitos”, obtenidos principalmente de *O. ficus-indica*, o por sus frutos, llamados tunas y xoconostles (Hegwood, 1990; Bravo y Scheinvar, 1999; Gallegos-Vázquez *et al.*, 2011).

La mayoría de las especies producen frutos de sabor dulce denominadas tunas, mientras que una minoría produce frutos de sabor ácido, los cuales son conocidos como xoconostles, sin embargo también se reconocen otros frutos llamados “xocotunas”, los cuales probablemente son híbridos naturales entre los dos tipos anteriores, y pertenecen a las especies *O. chavena* Griffiths, *O. lasiacantha* Pfeiff, *O. megacantha* Salm-Dick, *O. streptacantha* Lem y *O. robusta* Wendl (Gallegos-Vázquez *et al.*, 2012). Como alimento funcional los frutos y los cladodios son una fuente importante de fibra, hidrocoloides (mucílagos), pigmentos (betalaínas y carotenoides), Ca, K y vitamina C; compuestos muy apreciados para una dieta saludable, y como ingredientes para preparar nuevos alimentos, lo cual los convierte en productos de alta calidad nutricional (Bravo-Hollis, 1978; Saénz, 2006; Gallegos-Vázquez y Mondragón-Jacobo, 2011).

A pesar de su importancia, los frutos de esta especie son altamente perecederos debido principalmente a los daños físicos que presentan en la epidermis y en la zona peduncular durante la cosecha y el manejo poscosecha, asimismo se han caracterizado

como frutos no climatéricos, debido a que su tasa de respiración en poscosecha es relativamente baja en comparación con la de otros frutos, ésta tiende a disminuir con el paso del tiempo, y no se presenta un incremento en la síntesis de etileno (Cantwell, 1995; Ávalos-Andrade *et al.*, 2006). Por tanto, el objetivo del presente trabajo de investigación fue comparar algunas características químicas, físicas y fisiológicas de “xocotuna” con las de tuna y xoconostle.

2. CARACTERIZACIÓN DE XOCOTUNA, TUNA Y XOCONOSTLE EN POSTCOSECHA

2.1 RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar algunas características físicas y químicas de xocotuna en comparación con tuna y xoconostle. Las determinaciones se realizaron a partir de frutos frescos cosechados en madurez fisiológica en los meses de junio, agosto y octubre del año 2013. La evaluación comprendió 24 días en almacenamiento a temperatura ambiente (22 °C). Durante este periodo se evaluaron cada 3 días los parámetros: pérdida de peso, color de pulpa y cáscara (L, croma, hue), grosor de la cáscara, firmeza (pulpa y cáscara), sólidos solubles totales, potencial de hidrógeno (pulpa y cáscara) y acidez titulable (pulpa y cáscara). Se encontró que la pérdida de peso fue similar entre tunas y xocotunas, mientras que fue mayor a 8 % en los xoconostles. El ángulo de tono tuvo una tendencia a disminuir y aumentar durante el periodo evaluado debido al incremento de color de la pulpa del fruto. El grosor de la cáscara fue diferente entre cultivares y disminuyó a través del tiempo de evaluación como consecuencia del proceso de maduración. Se observó que los xoconostles presentaron menor contenido de sólidos solubles totales (entre 4.80 y 5.92 °Brix) debido a que son frutos ácidos, a diferencia de las tunas y xocotunas que tuvieron valores más altos (entre 8.02 y 14.72 °Brix), y que son de sabor dulce o agridulce. Los valores de acidez titulable fueron similares entre los cultivares de tuna y xocotuna, y a su vez se diferenciaron de los xoconostles que presentaron los valores más altos.

Palabras clave: xocotuna, pérdida de peso, grosor de la cáscara, sólidos solubles totales.

2.2 ABSTRACT

The aim of this study was to determine some physical and chemical characteristics of xocotuna compared to prickly pear and xoconostle. Measurements were made from fresh fruits harvested at physiological maturity during June, August and October 2013. Fruits were stored for 24 days at room temperature (22 ° C). During this period parameters were evaluated every 3 days: weight loss, color of pulp and peel (L, chroma, hue), shell thickness, firmness (pulp and peel), total soluble solids, hydrogen potential (pulp and peel), and titratable acidity (pulp and peel). Fruit weight loss was similar between prickly pears and xocotunas, while it was higher for xoconostles (8 %). Tone angle decrease or increase during the evaluation period according to pulp color of the fruit. Shell thickness was different among cultivars and decreased over time as a result of the maturation process. It was observed that xoconostles had lower total soluble solids content (between 4.80 and 5.92 °Brix) because they are acidic fruits, unlike prickly pears and xocotunas that had higher values (between 8.02 and 14.72 °Brix), since they are sweet or bittersweet. Titratable acidity values were similar between cultivars of prickly pear and xocotuna, and in turn differed from xoconostles that present highest values.

Keywords: xocotuna, weight loss, shell thickness, total soluble solids content.

2.3 INTRODUCCIÓN

Una de las grandes ventajas que posee nuestro país es la riqueza genética del género *Opuntia* que por su diversidad de especies y cultivares es un recurso vegetal de gran importancia, que tiene la característica particular de que puede desarrollarse en terrenos áridos, donde pocas plantas pueden sobrevivir (COMENTUNA *et al.*, 2008). Desde el punto de vista económico-social, sus múltiples características nutritivas, terapéuticas, químicas, industriales, ecológicas y simbólicas, entre otras, hacen de éste un recurso natural importante para los habitantes de las zonas áridas (Esquivel, 2004; Méndez-Gallegos y García-Herrera, 2006).

Gallegos-Vázquez *et al.* (2006) mencionaron que desde la época prehispánica el aprovechamiento del nopal se realizó con base en el proceso de recolección de frutos y cladodios de “nopaleras” silvestres para luego transitar al establecimiento de plantaciones de especies deseadas o sobresalientes, lo que evidentemente facilitó la hibridación entre especies normalmente separadas por la naturaleza y la creación de nuevos cultivares. Este proceso ha permitido aprovechar lo más selecto de su riqueza genética que se ha venido cultivando en plantaciones comerciales.

Las especies del género *Opuntia* presentan por su clasificación dificultad taxonómica (Pimienta, 1990) debido a la hibridación interespecífica, poliploidía y la variabilidad morfológica que presentan. Las relaciones evolutivas de estas suculentas han sido estudiadas de manera insuficiente, por lo que la delimitación de las principales subfamilias, así como la historia biogeográfica de este enigmático grupo, siguen sin resolverse. *Opuntia* es un género complejo que incluye especies usadas para el consumo de cladodios tiernos, conocidos en México como “nopalitos”, obtenidos principalmente

de *O. ficus-indica*, o por sus frutos (muchas especies silvestres y domesticadas), llamadas tunas y xoconostles (Gallegos-Vázquez *et al.*, 2011; Majure *et al.*, 2012).

Se cree que las xocotunas son probablemente híbridos naturales entre tuna y xoconostle, y pertenecen a las siguientes especies: *O. chavena* Griffiths, *O. lasiacantha* Pfeiff, *O. megacantha* Salm-Dick, *O. streptacantha* Lem. y *O. robusta* Wendl. En general, sus frutos son pequeños, con mesocarpio carnoso, esponjoso y un paquete de semillas en el núcleo central. De tal manera que su tipo de fruto es parecido al de los xoconostles pero con pulpa semi-ácida o ligeramente dulce. Se diferencian de los xoconostles debido a que estos son tunas ácidas (*Opuntia* spp.), también son morfológicamente diferentes de las tunas que son dulces, jugosas y con semillas (Gallegos-Vázquez *et al.*, 2012). A la fecha, a pesar de que las xocotunas son un recurso fitogenético de gran potencial, no existen trabajos que las caractericen fisiológicamente, por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue determinar algunas características físicas y químicas de xocotuna en comparación con tuna y xoconostle.

2.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Se utilizaron frutos de xocotuna, tuna y xoconostle (Cuadro 1) frescos en madurez fisiológica de acuerdo con los parámetros visuales comerciales usados regionalmente de tamaño y llenado del fruto, uniformidad e intensidad de color característico para cada cultivar; así como la ausencia de defectos y pudriciones (Cantwell, 1995). Las determinaciones experimentales se realizaron a partir de frutos cosechados en los meses de junio, agosto y octubre del año 2013. El material vegetal provino del acervo genético del Depositario Nacional de *Opuntia* (Gallegos-Vázquez y Barrientos-Priego, 1999),

situado en las instalaciones del Centro Regional Universitario Centro Norte de la Universidad Autónoma Chapingo, localizadas en El Orito, Zacatecas, Zac, a los 22° 74' 6'' N y 102° 6' 07'' W, para futuras referencias.

Cuadro 1. Material vegetal utilizado.

Clave*DNO	Variante	Nombre científico
Tuna		
O-024	'Amarilla Montesa'	<i>O. megacantha</i> Salm-Dick
O-089	'Amarilla Plátano'	<i>O. megacantha</i> Salm-Dick
O-110	'Reyna'	<i>Opuntia albicarpa</i> Scheinvar
O-015	'Cristalina'	<i>Opuntia albicarpa</i> Scheinvar
O-050	'Rojo Pelón'	<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.
O-027	'Liso Forrajero'	<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.
Xocotuna		
O-076	'Cascarón'	<i>O. chavena</i> Griffiths
O-239	'Chinchilla'	<i>O. streptacantha</i> Lem.
O-291	'Coral'	<i>O. affinis lindheimeri</i>
O-294	'Nicolaita'	<i>Opuntia</i> sp.
O-232	'Caidilla'	<i>Opuntia</i> sp.
Xoconostle		
O-301	'Cuaremeño Blanco'	<i>O. matudae</i> Scheinvar
O-190	'Cuaremeño'	<i>O. matudae</i> Scheinvar

*Depositorio Nacional de Opuntia. El Orito, Zacatecas, México.

Diseño experimental

El diseño experimental fue completamente al azar, con cuatro repeticiones. Se consideró como unidad experimental a un fruto. La evaluación comprendió 24 días de almacenamiento (dda) de fruto en condiciones de temperatura ambiente, las determinaciones fueron realizadas cada 3 días a partir del día cero de almacenamiento.

Caracteres evaluados:

Pérdida de peso

Se utilizó una balanza digital portátil (OHAUS, USA). Se calculó el porcentaje acumulado de peso respecto al peso al inicio del almacenamiento, mediante la ecuación (1), donde %PP fue la pérdida de peso (%), *Pi* el peso inicial y *Pf* el peso al momento de la evaluación.

$$\%PP = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad (1)$$

Color

Se determinó brillantez (L), pureza de color (C) y ángulo de tono (h), los valores se obtuvieron directamente con un espectrofotómetro (X-Rite SP62); las lecturas se tomaron tanto en la cáscara como en la pulpa del fruto.

Grosor de la cáscara

La variable fue medida en la zona ecuatorial del fruto con un vernier o pie de Rey digital y el resultado se expresó en mm.

Firmeza

Se midió en la zona ecuatorial de los frutos en cáscara y pulpa, con un penetrómetro marca Chatillón AMETEK con una fuerza de penetración de 25 kgf, provisto de un puntal cónico. El resultado se expresó en Newtons (N).

Contenido de sólidos solubles totales

Se determinaron en el jugo del fruto, mediante un refractómetro digital marca ATAGO®, 0-53 % (Tokio, Japón); los resultados se expresaron en °Brix a 20 °C.

Potencial de hidrógeno (pH)

Obtenido a partir de 10 mL de jugo de pulpa y 10 mL de jugo de cáscara del fruto, realizado con potenciómetro marca CONDUCTRONIC PC 45.

Acidez titulable

Se determinó con el método de titulación de la AOAC (2003), mediante el cual se homogeneizaron 5 g de pulpa ó 5 g de cáscara con 25 mL de agua destilada. Posteriormente se tomó una alícuota de 5 mL que se tituló con NaOH 0.1 N y

fenolftaleína como indicador. Los resultados se expresaron en por ciento de ácido cítrico utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Ac. cítrico} = \frac{\text{ml NaOH} \times \text{N} \times \text{Meq. ácido} \times \text{V} \times 100}{\text{Peso muestra} \times \text{alícuota}}$$

Donde: N = Normalidad del NaOH; V = volumen total (mL después de homogeneizar) y Meq. Ácido = Miliequivalentes del ácido presente en mayor proporción (0.064 para el ácido cítrico).

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANAVA) y comparación de medias Tukey ($\alpha=0.05$) empleando el programa de análisis estadístico Statistical Analysis System, ver. 9.0 (SAS, 2002).

2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pérdida de peso

En esta variable se observó que al analizar el día 3 los cultivares ‘Reyna’, ‘Chinchilla’ y ‘Cuaresmeño Blanco’ fueron estadísticamente iguales (3.25, 3.31 y 3.26 %, respectivamente), pero diferentes de ‘Cristalina’, ‘Rojo Pelón’ y ‘Liso Forrajero’ (1.84, 0.96 y 1.91 %, respectivamente). A su vez a los 6 dda ‘Amarilla Montesa’, ‘Chinchilla’ y ‘Cuaresmeño Blanco’ fueron similares con valores de 5.12, 4.98 y 5.07 %, respectivamente, pero significativamente diferentes de ‘Cristalina’, ‘Rojo Pelón’ y ‘Liso Forrajero’ con 2.79, 1.41 y 2.13 %, respectivamente (Cuadro 2). Según Kader (2007) la pérdida de agua es la causa principal del deterioro de los frutos debido a que resulta no solamente en una pérdida cuantitativa directa (pérdida de peso), sino también en la pérdida de apariencia y frescura (marchitez y arrugamiento), calidad de textura (ablandamiento, falta de rigidez, pérdida de crujencia y jugosidad) y calidad nutritiva.

De la misma manera, a los 9 dda los cultivares ‘Amarilla Montesa’, ‘Chinchilla’ y ‘Cuaresmeño Blanco’ fueron iguales con los niveles más altos de pérdida de peso (6.61, 6.49 y 6.51 %, respectivamente) y significativamente diferentes de ‘Amarilla Plátano’, ‘Cristalina’, ‘Rojo Pelón’ y ‘Liso Forrajero’ que presentaron menor pérdida de peso con valores de 3.82, 3.46, 1.82 y 2.75 %, respectivamente; en otro estudio Corrales *et al.* (2006) afirmaron que en frutos de tuna variedad ‘Cristalina’, ‘Liso Forrajero’ y ‘Rojo Pelón’ las pérdidas de peso fueron menores con 2.86, 3.27 y 1.75 %, respectivamente a los 10 dda, lo cual podría estar estrechamente relacionado con las condiciones de almacenamiento (temperatura, humedad relativa y tiempo de exposición), estado de madurez y presencia de daños en el fruto, tal y como lo mencionan Pérez *et al.* (2004).

Después de 12 dda se observaron diferencias estadísticas significativas entre ‘Amarilla Plátano’, ‘Cristalina’, ‘Rojo Pelón’ y ‘Liso Forrajero’ (4.55, 3.96, 2.09 y 3.22 %, respectivamente) con ‘Amarilla Montesa’ siendo ésta última la que presentó mayor pérdida de peso con 7.69 %, estos valores fueron menores a los encontrados por Hernández-Pérez *et al.* (2005) para tuna ‘Naranjona’ con niveles máximos de pérdidas de peso de 8.5 % a los 14 dda.

Por otro lado, ‘Rojo Pelón’ (2.36 %) mostró diferencias significativas con ‘Reyna’, ‘Cascarón’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ (con niveles de 7.50, 7.60, 7.37, 8.76 y 7.68 %, respectivamente), mientras ‘Liso Forrajero’ (3.59 %) fue significativamente diferente de los cultivares mencionados excepto con ‘Caidilla’ a los 15 dda. También se observó que a los 18, 21 y 24 dda ‘Rojo Pelón’ fue significativamente diferente de los demás cultivares. Lo anterior puede estar estrechamente vinculado con la pérdida de agua por transpiración la cual se ve afectada por las condiciones de temperatura. Al mismo tiempo, cuanto mayor sea el déficit de

presión de vapor de agua (un mayor gradiente), las pérdidas de agua serán superiores, lo que se traduce en pérdidas de peso en el transcurso del tiempo (Ben-Yeshoshua y Rodov, 2003; Ávila *et al.*, 2007).

Cabe mencionar que el cultivar de tuna ‘Rojo Pelón’ presentó el menor porcentaje de pérdida de peso con 3.04 %, a diferencia de los frutos de xoconostle ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ donde la pérdida de peso fue de 12.59 y 10.70 %, respectivamente, a los 24 dda; en este sentido Wills *et al.* (2007) indicaron que una pérdida de peso superior a 5 % puede ser suficiente para disminuir la calidad en diferentes frutos, sin embargo para frutos de cactáceas se considera que una pérdida de alrededor de 8 % afecta negativamente su apariencia y textura (Rodríguez-Félix *et al.*, 1992; Corrales *et al.*, 2006).

La vida de anaquel fue distinta entre los materiales evaluados ya que ‘Amarilla Montesa’, ‘Cristalina’, ‘Chinchilla’ y ‘Coral’ tuvieron una vida de anaquel de 12 dda; a su vez para los cultivares ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Liso Forrajero’, ‘Nicolaita’ y ‘Caidilla’ ésta fue de 15 dda; para el cultivar ‘Cascarón’ de 18 dda y finalmente para ‘Rojo Pelón’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ de 24 dda. Por lo que el cultivar de tuna ‘Rojo Pelón’ y los cultivares de xoconostle ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’, así como el cultivar de xocotuna ‘Cascarón’ fueron los que presentaron mayor vida de anaquel. Este comportamiento puede estar estrechamente relacionado con las condiciones de almacenamiento, pero principalmente y en gran medida con la variedad tal y como lo mencionaron Corrales y Hernández (2005). Los resultados anteriores indicaron que no hay un comportamiento típico de los cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle para evitar mayor pérdida de peso.

Cuadro 2. Porcentaje de pérdida de peso evaluado en frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.

CULTIVAR	DÍAS DE EVALUACIÓN							
	3	6	9	12	15	18	21	24
Tuna								
‘Amarilla Montesa’	3.12 abc [†]	5.12 a	6.61 a	7.69 a	-	-	-	-
‘Amarilla Plátano’	1.97 abcd	3.06 abc	3.82 bcd	4.55 bcde	6.17 abc	-	-	-
‘Reyna’	3.25 a	4.85 ab	5.80 ab	6.49 abc	7.50 a	-	-	-
‘Cristalina’	1.84 cd	2.79 bc	3.46 bcd	3.96 cde	-	-	-	-
‘Rojo Pelón’	0.96 d	1.41 c	1.82 d	2.09 e	2.36 c	2.52 b	2.88 b	3.04 b
‘Liso Forrajero’	1.91 bcd	2.13 c	2.75 cd	3.22 de	3.59 bc	-	-	-
Xocotuna								
‘Cascarón’	3.24 ab	4.82 ab	6.02 ab	6.89 abc	7.60 a	8.35 a	-	-
‘Chinchilla’	3.31 a	4.98 a	6.49 a	7.40 ab	-	-	-	-
‘Coral’	2.14 abcd	3.31 abc	4.21 abcd	4.79 abcde	-	-	-	-
‘Nicolaita’	2.16 abcd	3.45 abc	4.34 abcd	5.18 abcde	6.00 abc	-	-	-
‘Caidilla’	2.85 abc	4.30 ab	5.11 abc	6.26 abcd	7.37 ab	-	-	-
Xoconostle								
‘Cuaresmeño Blanco’	3.26 a	5.07 a	6.51 a	7.46 ab	8.76 a	9.88 a	11.41 a	12.59 a
‘Cuaresmeño’	2.94 abc	4.56 ab	5.80 ab	6.65 abc	7.68 a	8.63 a	9.80 a	10.70 a
[†] DMSH	1.34	2.06	2.61	3.13	3.87	4.04	4.02	4.36

[†]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [†]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($P \leq 0.05$).

Color de la pulpa

Luminosidad

Los diferentes cultivares de *Opuntia* producen frutos que tienen una gama de colores tanto de cáscara como de pulpa que varía del verde a naranja y del rojo a púrpura, los cuales son producidos por la presencia de clorofila y pigmentos llamados betalaínas. A su vez el color es considerado un parámetro de calidad que hace que el fruto sea atractivo para el consumidor (Sáenz, 2000). Los 13 cultivares evaluados en este estudio variaron en color de verde claro a púrpura, de tal manera que al inicio de la evaluación los cultivares ‘Reyna’ y ‘Cuaresmeño Blanco’ tuvieron valores de luminosidad de 64.15 y 61.21 respectivamente (Cuadro 3), sin diferencias estadísticas, pero fueron estadísticamente diferentes de ‘Amarilla Plátano’ (45.24), ‘Rojo Pelón’ (36.20), ‘Liso

Forrajero' (32.73), 'Cascarón' (47.69), 'Chinchilla' (31.02), 'Coral' (29.07) y 'Caidilla'(37.07) con pulpa de coloración amarilla, roja y púrpura; al respecto, Sedki *et al.* (2013) evaluaron cultivares con pulpa verde y amarilla, y obtuvieron valores de brillantez de 50.41, 44.51 y 42.45 para 'Hawara', 'Imimkorn' y 'Achefri' (*O. megacantha*), respectivamente y de 44.27 y 44.35 para 'Aissa' y 'Moussa' (*O. ficus-indica*) los cuales fueron similares a los encontrados en este estudio.

Para el día 3 las variedades 'Reyna' y 'Cristalina' fueron iguales en luminosidad (64.65 y 64.21), y presentaron diferencias significativas con 'Rojo Pelón', 'Liso Forrajero', 'Chinchilla', 'Coral' y 'Caidilla' las cuales presentaron valores de 45.21, 41.52, 32.62, 34.81 y 37.44, respectivamente. A su vez, a los 6 dda las variedades 'Reyna' (66.75) y 'Cristalina' (65.30) permanecieron iguales y estadísticamente diferentes de 'Amarilla Montesa' (47.74), 'Amarilla Plátano' (47.97), 'Rojo Pelón' (38.99), 'Liso Forrajero' (42.42), 'Cascarón' (50.95), 'Chinchilla' (41.40), 'Coral' (41.24), 'Nicolaita' (50.46) y 'Caidilla'(37.08). Esta misma tendencia continuó para el día 9, excepto para el cultivar 'Amarilla Plátano'; estos resultados fueron semejantes a los mencionados por Yahia y Mondragón-Jacobo (2011) para tuna 'Reyna', 'Roja Lisa' y 'Naranjona' con valores de 58.00, 34.23 y 41.31, respectivamente.

La brillantez para el cultivar 'Reyna' fue de 73.57 a los 12 dda y tuvo diferencias significativas con 'Amarilla Montesa' (54.80), 'Amarilla Plátano' (54.95), 'Rojo Pelón' (40.50), 'Liso Forrajero' (44.13), 'Cascarón' (50.79), 'Chinchilla' (42.80), 'Coral' (35.77), 'Nicolaita' (49.19), 'Caidilla' (38.62) y 'Cuaresmeño' (58.90). Después de este periodo de almacenamiento algunos cultivares presentaron un estado inaceptable por lo que ya no se siguieron evaluando, es así que a los 15 dda el cultivar 'Reyna' (75.28) presentó diferencias estadísticas con 'Amarilla Plátano' (54.53), 'Rojo Pelón' (40.35),

‘Liso Forrajero’ (42.60), ‘Cascarón’ (47.71), ‘Nicolaita’ (49.29), ‘Caidilla’ (35.61), ‘Cuaresmeño Blanco’ (61.64) y ‘Cuaresmeño’ (62.09). Estos valores fueron aproximados a los encontrados por Stintzing *et al.* (2003) en los cultivares ‘Gialla’, ‘Rossa’ (*O. ficus-indica*) y para *Hylocereus polyrhizus* que fueron de 75.30 a 79.40, de 56.40 a 61.30 y de 60.90 a 67.20, respectivamente.

También se observó que para el día 18 ‘Rojo Pelón’ (39.35) y ‘Cascarón’ (46.56) fueron iguales y significativamente diferentes de ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ que no tuvieron diferencias estadísticas entre sí con valores de luminosidad de 65.60 y 60.82, respectivamente. A los 21 y 24 dda ‘Rojo Pelón’ mostró diferencias significativas respecto a ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’. Estos resultados contrastan con los obtenidos por Ochoa-Velazco y Guerrero-Beltrán (2013) quienes observaron que el parámetro de luminosidad se incrementó ligeramente a los 35 dda en tuna blanca ‘Villanueva’ (*O. albicarpa*) de 55 a 70, aproximadamente.

Cabe señalar que en la mayoría de los cultivares evaluados la brillantez se incrementa conforme pasan los días de evaluación, sin embargo en los cultivares de xocotuna ‘Cascarón’, ‘Nicolaita’ y ‘Caidilla’ ésta fue disminuyendo probablemente debido a un oscurecimiento en la pulpa, tal y como lo mencionan Ochoa y Guerrero (2012) en tuna roja ‘San Martín’ donde el valor de luminosidad disminuyó de 32.51 a 24.79 a los 28 dda.

Cuadro 3. Luminosidad (*L) de pulpa evaluada en frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.

CULTIVAR	DÍAS DE EVALUACIÓN								
	0	3	6	9	12	15	18	21	24
Tuna									
‘Amarilla Montesa’ (am)	45.24 bcd [†]	55.96 abc	47.74 cde	54.00 bcd	54.80 cd	-	-	-	-
‘Amarilla Plátano’ (am)	47.39 bc	48.45 abcd	47.97 cde	56.48 abc	54.95 cd	54.53 bc	-	-	-
‘Reyna’ (vc)	64.15 a	64.65 a	66.75 a	65.89 a	73.57 a	75.28 a	-	-	-
‘Cristalina’ (vc)	58.15 ab	64.21 a	65.30 a	64.65 a	67.93 ab	-	-	-	-
‘Rojo Pelón’ (rj)	36.20 cde	45.21 bcd	38.99 ef	40.61 e	40.50 fg	40.35 ef	39.35 b	43.57 b	38.70 b
‘Liso Forrajero’ (rj)	32.73 de	41.52 cd	42.42 cdef	42.16 e	44.13 efg	42.60 def	-	-	-
Xocotuna									
‘Cascarón’ (rj)	47.69 bc	49.43 abcd	50.95 bc	47.43 cde	50.79 cde	47.71 cde	46.56 b	-	-
‘Chinchilla’ (rj)	31.02 e	32.62 d	41.40 def	39.77 e	42.80 efg	-	-	-	-
‘Coral’ (pu)	29.07 e	34.81 d	41.24 def	41.49 e	35.77 g	-	-	-	-
‘Nicolaita’ (rs)	52.69 ab	47.26 abcd	50.46 bcd	45.59 de	49.19 def	49.29 cd	-	-	-
‘Caidilla’ (rj)	37.07 cde	37.44 d	37.08 f	38.37 e	38.62 g	35.61 f	-	-	-
Xoconostle									
‘Cuaresmeño Blanco’ (vc)	61.21 a	60.75 ab	59.73 ab	62.89 ab	65.13 ab	61.64 b	65.60 a	62.43 a	65.76 a
‘Cuaresmeño’ (rj)	56.69 ab	61.76 ab	58.48 ab	62.84 ab	58.90 bc	62.09 b	60.82 a	61.65 a	62.37 a
[‡] DMSH	13.51	17.97	9.39	9.41	9.17	7.77	7.27	7.19	6.15

[†]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [‡]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($P \leq 0.05$). am: amarillo; vc: verde claro; rj: rojo; pu: púrpura; rs: rosa.

Croma

Se observó que este parámetro tiende a disminuir y aumentar durante el tiempo de almacenamiento (Cuadro 4) lo que significa que el color de la pulpa se incrementa, estos resultados fueron similares a los obtenidos por Ochoa-Velazco y Guerrero-Beltrán (2013) para tuna blanca ‘Villanueva’ donde mencionan que los colores verde y amarillo se incrementan, y a los reportados por Mercado *et al.* (2007) donde observaron que el color verde original en tuna verde ‘Esmeralda’ cambió a un color verde más oscuro, mientras que en xoconostle el cambio fue hacia un color verde amarillento.

Por otra parte, al comienzo de la evaluación los cultivares ‘Cristalina’ y ‘Cascarón’ no tuvieron diferencias significativas entre sí con valores de pureza de color de 20.67 y

20.54, sin embargo fueron significativamente diferentes de ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Chinchilla’, ‘Nicolaita’ y ‘Caidilla’ con valores de 45.51, 47.39, 38.54, 30.93, 30.12, 33.35 y 39.68, respectivamente. Asimismo, se encontró que a los 3 dda ‘Amarilla Montesa’ con intensidad de color de 52.83 mostró diferencias estadísticas con ‘Reyna’ (19.91), ‘Cristalina’ (19.51), ‘Liso Forrajero’ (35.55), ‘Cascarón’ (23.30), ‘Chinchilla’ (30.12), ‘Coral’ (38.86), ‘Nicolaita’ (37.67), ‘Caidilla’ (41.04), ‘Cuaresmeño Blanco’ (25.74) y ‘Cuaresmeño’ (21.68). A los 6 dda ‘Amarilla Montesa’ y ‘Amarilla Plátano’ no tuvieron diferencias significativas entre sí (54.01 y 50.25), pero fueron significativamente diferentes de ‘Reyna’ (20.71), ‘Cristalina’ (19.52), ‘Liso Forrajero’ (36.54), ‘Cascarón’ (23.94), ‘Coral’ (33.05), ‘Nicolaita’ (36.99), ‘Cuaresmeño Blanco’ (27.29) y ‘Cuaresmeño’ (20.78). Asimismo otros autores han reportado valores de intensidad de color para tuna ‘Reina’ (*O. ficus-indica* M.) de 14.68, menores a los reportados en este estudio, pero similares a otros frutos como papaya, guayaba, zapote negro, aguacate, mango y fresa de 14.68, 26.16, 23.99, 26.12, 26.18 y 25.66, respectivamente (Corral-Aguayo *et al.*, 2008).

‘Amarilla Montesa’ y ‘Amarilla Plátano’ no tuvieron diferencias estadísticas a los 9 y 12 dda, y fueron significativamente diferentes del resto de los cultivares evaluados. A su vez para el día 15 ‘Amarilla Plátano’ con 53.22 de pureza de color tuvo diferencias significativas con ‘Reyna’ (21.15), ‘Rojo Pelón’ (40.28), ‘Liso Forrajero’ (35.34), ‘Cascarón’ (24.43), ‘Nicolaita’ (35.66), ‘Caidilla’ (39.63), ‘Cuaresmeño Blanco’ (29.90) y ‘Cuaresmeño’ (23.14). De la misma manera se observó que a los 18 dda ‘Rojo Pelón’ tuvo una intensidad de color de 35.88 y fue significativamente diferente de ‘Cascarón’ (25.56), ‘Cuaresmeño Blanco’ (26.97) y ‘Cuaresmeño’ (24.25). Finalmente se observó que a los 21 y 24 dda ‘Liso Forrajero’ fue estadísticamente diferente de ‘Cuaresmeño

Blanco' y 'Cuaresmeño'. Durante el tiempo de evaluación los valores de croma fueron altos, lo que resultó en una mayor intensidad de color, y fue similar a lo encontrado por Sedki *et al.* (2013) para los ecotipos de tuna 'Hawara', 'Imimkorn', 'Achefri', 'Aissa' y 'Moussa' con valores de 26.16, 23.99, 26.12, 26.18 y 25.66, respectivamente; cabe señalar que debido a la gran variedad de índices utilizados para caracterizar el color de los productos frescos se dificulta la comparación de resultados incluso para el mismo tipo de producto, tal y como lo mencionan Pathare *et al.* (2013).

Cuadro 4. Pureza de color (* c) de pulpa en frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.

CULTIVAR	DÍAS DE EVALUACIÓN								
	0	3	6	9	12	15	18	21	24
Tuna									
'Amarilla Montesa' (am)	45.51 a [†]	52.83 a	45.19 a	54.01 a	52.69 a	-	-	-	-
'Amarilla Plátano' (am)	47.39 a	45.30 ab	45.27 a	50.25 a	52.78 a	53.22 a	-	-	-
'Reyna' (vc)	21.13 fg	19.91 ef	20.71 e	17.94 f	17.70 f	21.15 e	-	-	-
'Cristalina' (vc)	20.67 g	19.51 f	19.52 e	20.64 ef	17.97 f	-	-	-	-
'Rojo Pelón' (rj)	38.54 abc	44.87 ab	38.86 abc	40.20 bc	38.65 bc	40.28 b	35.88 a	41.80 a	38.71 a
'Liso Forrajero' (rj)	30.93 bcde	35.55 bcd	36.54 bc	37.01 bc	33.12 cd	35.34 bc	-	-	-
Xocotuna									
'Cascarón' (rj)	20.54 g	23.30 ef	23.94 e	25.35 e	23.91 ef	24.43 de	25.56 b	-	-
'Chinchilla' (rj)	30.12 cdef	30.65 cde	37.77 abc	35.34 c	34.90 bcd	-	-	-	-
'Coral' (pu)	27.76 defg	38.86 bc	33.05 cd	33.36 cd	38.62 bc	-	-	-	-
'Nicolaita' (rs)	33.35 bcd	37.67 bc	36.99 bc	33.52 cd	32.18 cd	35.66 bc	-	-	-
'Caidilla' (rj)	39.68 ab	41.04 bc	42.91 ab	42.92 b	41.06 b	39.63 b	-	-	-
Xoconostle									
'Cuaresmeño Blanco' (vc)	23.62 efg	25.74 def	27.29 de	26.89 de	30.40 de	29.90 cd	26.97 b	26.57 b	29.77 b
'Cuaresmeño' (rj)	24.06 efg	21.68 ef	20.78 e	22.34 ef	21.90 f	23.14 e	24.25 b	24.50 b	25.05 b
[†] DMSH	9.13	10.88	8.07	6.90	7.66	6.70	6.92	3.96	6.62

[†]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [†]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($P \leq 0.05$). am: amarillo; vc: verde claro; rj: rojo; pu: púrpura; rs: rosa.

Ángulo hue

Los valores de ángulo de tono tuvieron un comportamiento similar a los obtenidos para pureza de color con una tendencia a disminuir y aumentar, lo cual como ya fue

explicado anteriormente puede deberse al incremento de color (Cuadro 5). Al comienzo de la evaluación se observó un valor de 71.81 para el cultivar ‘Amarilla Montesa’ que fue significativamente diferente de ‘Reyna’ (93.64), ‘Cristalina’ (94.10), ‘Rojo Pelón’ (34.04), ‘Liso Forrajero’ (30.98), ‘Cascarón’ (28.69), ‘Chinchilla’ (22.36), ‘Coral’ (12.75), ‘Nicolaita’ (26.66), ‘Caidilla’ (24.40), ‘Cuaresmeño Blanco’ (94.10) y ‘Cuaresmeño’ (52.91). A los 3 dda ‘Coral’ con 14.70 fue estadísticamente diferente de ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ con niveles de ángulo de tono de 71.70, 64.09, 95.29, 92.54, 31.34, 34.68, 94.39 y 77.08, respectivamente. Por su parte Stintzing *et al.* (2003) reportaron valores de tonalidad que fueron de 81.7 a 84.2 para el cultivar ‘Gialla’ con pulpa de color amarillo; de 0.8 a 358.7 para el cultivar ‘Rossa’ con pulpa roja y de 328.4 a 333.6 para *Hylocereus polyrhizus* de pulpa púrpura, lo cual indica que los valores de ángulo hue dependen en gran medida del cultivar.

Asimismo a los 6 dda nuevamente ‘Coral’ (10.02) resultó significativamente diferente de ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Rojo Pelón’, ‘Nicolaita’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ con valores de hue de 68.45, 69.77, 84.74, 94.74, 31.24, 26.96, 95.20 y 66.91, respectivamente. Mientras tanto a los 9 dda ‘Rojo Pelón’ (33.72) presentó diferencias significativas con ‘Amarilla Montesa’ (72.61), ‘Amarilla Plátano’ (70.61), ‘Reyna’ (94.44), ‘Cristalina’ (93.48), ‘Cascarón’ (22.37), ‘Chinchilla’ (16.07), ‘Coral’ (6.09), ‘Caidilla’ (22.69), ‘Cuaresmeño Blanco’ (94.61) y ‘Cuaresmeño’ (64.01). Estos resultados contrastan con los obtenidos por Corral-Aguayo *et al.* (2008) para tuna ‘Reina’, papaya, guayaba, zapote negro, aguacate, mango y fresa con valores de hue de 88.77, 48.13, 83.83, 10.25, 93.14, 64.21 y 30.64, respectivamente.

Pasados los 12 dda el cultivar ‘Coral’ tuvo un valor de hue de 13.41 y fue significativamente diferente de ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Nicolaita’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ con valores de ángulo de tono de 71.68, 70.61, 92.73, 92.08, 33.53, 29.70, 26.16, 94.29 y 72.03, respectivamente. Al llegar a los 15 dda ‘Rojo Pelón’ con 33.47 de ángulo hue mostró diferencias estadísticas con ‘Amarilla Plátano’ (71.73), ‘Reyna’ (95.67), ‘Caidilla’ (17.88), ‘Cuaresmeño Blanco’ (95.90) y ‘Cuaresmeño’ (58.39). Este mismo cultivar fue significativamente diferente de ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ a los 21 y 24 dda. En este sentido, Chavéz-Santoscoy *et al.* (2009) mostraron niveles de ángulo de tono para ‘Gavia’ (107), ‘Cardón’ (24.2), ‘Rastrero’ (25.3), ‘Duraznillo Rojo’ (29.4), ‘Tapón’ (24.3), ‘Amarillo’ (103), ‘Pelón’ (26.6) y ‘Duraznillo’ (89.3) semejantes a los encontrados para los cultivares aquí estudiados.

De manera general se observó que en los parámetros de luminosidad y croma los valores encontrados para los cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle fueron similares, a diferencia del ángulo de tono donde los cultivares de tuna y xoconostle mostraron valores similares, mientras que los de xocotuna tuvieron los valores más bajos desde el comienzo de la evaluación debido a las características particulares de cada uno de estos.

Cuadro 5. Ángulo de tono (°h) de pulpa en frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.

CULTIVAR	DÍAS DE EVALUACIÓN								
	0	3	6	9	12	15	18	21	24
Tuna									
‘Amarilla Montesa’ (am)	70.49bc [†]	71.70 b	68.45 bc	72.61 b	71.68 b	-	-	-	-
‘Amarilla Plátano’ (am)	71.81 b	64.09 b	69.77 bc	72.24 b	70.61 b	71.73 b	-	-	-
‘Reyna’ (vc)	93.64 a	95.29 a	84.74 ab	94.44 a	92.73 a	95.67 a	-	-	-
‘Cristalina’ (vc)	94.10 a	92.54 a	94.74 a	93.48 a	92.08 a	-	-	-	-
‘Rojo Pelón’ (rj)	34.04 d	31.34 c	31.24 d	33.72 c	33.53 c	33.47 d	24.54 c	30.75 c	35.77 c
‘Liso Forrajero’ (rj)	30.98 d	34.68 c	25.61 def	25.42 cd	29.70 c	26.69 de	-	-	-
Xocotuna									
‘Cascarón’ (rj)	28.69 de	23.95 cd	26.09 def	22.37 d	23.13 cde	24.84 de	23.76 c	-	-
‘Chinchilla’ (rj)	22.36 de	21.33 cd	13.15 ef	16.07 de	14.71 de	-	-	-	-
‘Coral’ (pu)	12.75 e	14.70 d	10.02 f	6.09 e	13.41 e	-	-	-	-
‘Nicolaita’ (rs)	26.66 de	25.17 cd	26.96 de	25.34 cd	26.16 cd	26.25 de	-	-	-
‘Caidilla’ (rj)	24.40 de	24.96 cd	24.07 def	22.69 d	16.93 de	17.88 e	-	-	-
Xoconostle									
‘Cuaresmeño Blanco’ (vc)	94.10 a	94.39 a	95.20 a	94.61 a	94.29 a	95.90 a	94.10 a	94.95 a	93.89 a
‘Cuaresmeño’ (rj)	52.91 c	77.08 b	66.91 c	64.01 b	72.03 b	58.39 c	62.27 b	64.88 b	76.15 b
[‡] DMSH	18.11	14.03	16.86	10.87	12.42	12.39	10.31	9.13	7.58

[†]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [‡]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($P \leq 0.05$). am: amarillo; vc: verde claro; rj: rojo; pu: púrpura; rs: rosa.

Color de la cáscara

Luminosidad

El cultivar ‘Coral’ con luminosidad de 36.23 presentó diferencias estadísticas al comienzo de la evaluación (Cuadro 6), respecto a ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño’ y ‘Cuaresmeño Blanco’ cuyos valores fueron de 51.01, 51.91, 57.30, 60.75, 45.71, 45.94, 50.99, 44.37, 44.21, 47.61, 63.59 y 56.04, respectivamente. Con relación a los 3 dda el cultivar ‘Cristalina’ con luminosidad de 66.96 tuvo diferencias significativas con ‘Amarilla Montesa’, ‘Reyna’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’, ‘Coral’, ‘Nicolaita’ y ‘Caidilla’, los cuales

presentaron valores de 50.24, 58.83, 51.40, 51.10, 53.06, 43.48, 39.14, 43.60 y 42.48, respectivamente. En otro estudio, Ochoa y Guerrero (2012) señalaron que en tuna roja ‘San Martín’ los valores de luminosidad fueron de 41.12 y 41.73 a los 0 y 28 dda, respectivamente y que en contrasentido a la pulpa, no se presentó efecto significativo de esta con respecto al tiempo de almacenamiento.

Para el día 6 se puede observar la formación de dos grupos estadísticamente diferentes, el primero conformado por los cultivares ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ con valores de luminosidad de 59.44, 62.14, 61.53, 61.36 y 60.39, respectivamente, variedades con cáscara de coloración amarilla, verde claro o rojo, y el segundo grupo conformado por los cultivares ‘Amarilla Montesa’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’, ‘Coral’, ‘Nicolaita’ y ‘Caidilla’ que tuvieron valores de 48.75, 46.29, 45.77, 45.22, 41.99, 42.50, 43.39 y 40.3, respectivamente, con cáscara de color anaranjado, rojo oscuro, rojo, púrpura o rosa. A su vez pasados los 9 dda ‘Chinchilla’ (41.18) fue significativamente diferente de ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ que presentaron valores de 59.41, 63.32, 61.48, 64.53 y 59.92, respectivamente. En relación con este parámetro, Pinedo-Espinoza *et al.* (2010) reportaron valores de luminosidad para el cultivar ‘Cristalina’ de 33.7, 49.8, 49.8, 43.9 y 53.83 a los 0, 8, 15, 20 y 30 dda respectivamente, de igual forma mencionan que la coloración del fruto ayuda a inferir el grado de maduración y que conforme avanza el grado de madurez el color verde se va perdiendo por la degradación de la clorofila y síntesis de carotenos del pericarpelo, dándole un color amarillo.

Para el día 12 el cultivar ‘Coral’ con 38.70 presentó diferencias estadísticas con ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Liso Forrajero’,

‘Cascarón’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ con valores de 47.21, 57.39, 61.35, 64.45, 61.35 y 59.30, respectivamente. Asimismo a los 15 dda el cultivar ‘Amarilla Plátano’ con 55.68 presentó diferencias significativas con ‘Reyna’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Nicolaita’ y ‘Caidilla’ que presentaron valores de luminosidad de 65.99, 47.93, 43.34, 46.99, 46.56 y 42.35, respectivamente. A los 18 dda ‘Rojo Pelón’ (43.40) y ‘Cascarón’ (47.12) fueron similares, pero estadísticamente diferentes de ‘Cuaresmeño Blanco’ (62.93) y ‘Cuaresmeño’ (60.68). Mercado *et al.* (2007) señalaron que en tuna ‘Rojo Pelón’ el parámetro luminosidad se mantuvo durante todo el tiempo de almacenamiento (60 días), mientras que de manera general la coloración se tornó más amarillenta, probablemente debido a la disminución de la concentración en los pigmentos que absorben el color verde.

Posteriormente a los 21 dda ‘Rojo Pelón’, ‘Cuaresmeño’ Blanco y ‘Cuaresmeño’ fueron estadísticamente diferentes entre sí con valores de luminosidad de 48.28, 63.49 y 59.19, respectivamente, y finalmente a los 24 dda ‘Rojo Pelón’ (43.70) presentó diferencias estadísticas con ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ cuyos valores de luminosidad fueron de 63.79 y 61.13. Por otra parte Varela-Gómez *et al.* (2014) observaron que el color de la epidermis del fruto en promedio fue similar para el cultivar ‘Cristalina’ y ‘Amarilla Olorosa’ con una tendencia a desarrollar el color amarillo sobre el verde y el color anaranjado sobre el verde respectivamente, lo cual indica que la pigmentación de la fruta hacia la tonalidad típica de cada cultivar continua durante el almacenamiento.

Cuadro 6. Luminosidad (*L) de cáscara en frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.

CULTIVAR	DÍAS DE EVALUACIÓN								
	0	3	6	9	12	15	18	21	24
Tuna									
‘Amarilla Montesa’ (an)	51.01 def [†]	50.24 de	48.75 b	48.89 b	47.21 b	-	-	-	-
‘Amarilla Plátano’ (am)	51.91 cde	63.80 ab	59.44 a	59.41 a	57.39 a	55.68 b	-	-	-
‘Reyna’ (vc)	57.30 bc	58.83 bc	62.14 a	63.32 a	61.35 a	65.99 a	-	-	-
‘Cristalina’ (vc)	60.75 ab	66.96 a	61.53 a	61.48 a	64.45 a	-	-	-	-
‘Rojo Pelón’ (ro)	45.71 fg	51.40 d	46.29 b	45.00 bc	46.02 bc	43.97 c	43.40 b	49.28 c	43.70 b
‘Liso Forrajero’ (ro)	45.94 efg	51.10 d	45.77 b	44.62 bc	46.83 b	43.34 c	-	-	-
Xocotuna									
‘Cascarón’ (rj)	50.99 def	53.06 cd	45.22 b	47.14 bc	47.25 b	46.99 c	47.12 b	-	-
‘Chinchilla’ (ro)	44.37 g	43.48 ef	41.99 b	41.18 c	45.15 bc	-	-	-	-
‘Coral’ (pu)	36.23 h	39.14 f	42.50 b	42.98 bc	38.70 c	-	-	-	-
‘Nicolaita’ (rs)	44.21 g	43.60 ef	43.39 b	41.92 bc	44.65 bc	45.56 c	-	-	-
‘Caidilla’ (ro)	47.61 efg	42.48 f	40.31 b	42.44 bc	41.46 bc	42.35 c	-	-	-
Xoconostle									
‘Cuaresmeño Blanco’ (vc)	63.59 a	62.93 ab	61.36 a	64.53 a	61.35 a	61.02 ab	62.93 a	63.49 a	63.79 a
‘Cuaresmeño’ (rj)	56.04 bcd	60.89 ab	60.39 a	59.92 a	59.30 a	60.00 ab	60.68 a	59.19 b	61.13 a
[†] DMSH	5.99	7.22	9.55	7.10	7.52	7.16	4.57	4.17	7.13

[†]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [†]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($P \leq 0.05$). an: anaranjado; am: amarillo; vc: verde claro; ro: rojo oscuro; rj: rojo; pu: púrpura; rs: rosa.

Croma

En relación a este parámetro el cultivar de tuna ‘Rojo Pelón’ con croma de 20.59 (Cuadro 7) presentó diferencias estadísticas con los cultivares ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’ y ‘Nicolaita’ con valores de 34.29, 27.10, 33.53, 32.44 y 30.03, respectivamente al inicio de la evaluación. A los 3 dda ‘Rojo Pelón’ (22.40) y ‘Caidilla’ (23.44) fueron estadísticamente iguales y diferentes de ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’ y ‘Nicolaita’ con niveles de 34.37, 40.57, 35.15, 35.82 y 31.24, respectivamente. Para el día 6 ‘Rojo Pelón’ (19.21) fue estadísticamente diferente con respecto a ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Chinchilla’, ‘Nicolaita’ y ‘Cuaresmeño Blanco’ cuyos

valores de pureza de color fueron 32.15, 36.43, 37.13, 33.12, 26.78, 31.76 y 27.49, respectivamente. Para esta misma variable, Corrales-García y Canche-Canche (2008) en un estudio realizado en pitahaya (*Hylocereus undatus*) obtuvieron valores de 25.54, 33.25 y 36.35 a los 0, 3 y 6 dda, sus resultados fueron similares a los encontrados en este estudio.

Pasados los 9 dda nuevamente ‘Rojo Pelón’ tuvo diferencias estadísticas con ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Chinchilla’, ‘Coral’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’ y ‘Cuaresmeño Blanco’ con valores de croma de 33.37, 36.30, 37.56, 32.86, 28.93, 29.05, 28.95, 33.11 y 28.67, respectivamente. A su vez se observó este mismo comportamiento a los 12 dda y se agregó el cultivar de xocotuna ‘Cascarón’. Los resultados anteriores fueron semejantes a los encontrados por Moussa-Ayoub *et al.* (2011) de 18.1 y 25.3 para *O. ficus-indica*; pero contrastan con los encontrados por Sedki *et al.* (2013) donde los niveles de saturación fueron de 16.29, 19.96, 19.12, 18.27 y 16.79 para los ecotipos ‘Hawara’, ‘Imimkorn’, ‘Achefri’, ‘Aissa’ y ‘Moussa’, respectivamente.

Por otro lado a los 15 dda ‘Rojo Pelón’ nuevamente con pureza de color de 19.10 tuvo diferencias significativas con ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’ y ‘Cuaresmeño blanco’ que presentaron valores de 34.26, 36.96, 29.10, 33.31 y 26.28, respectivamente. A los 18 dda ‘Rojo Pelón’ con valor de croma de 22 presentó diferencias estadísticas con ‘Cascarón’ y ‘Cuaresmeño Blanco’ (24.71 y 27.22). Finalmente ‘Rojo Pelón’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ tuvieron diferencias estadísticas entre sí a los 21 y 24 dda. Estos resultados fueron similares a los reportados por Corral-Aguayo *et al.* (2008) con valores de croma para el cultivar de tuna ‘Reina’ y

frutos de papaya, guayaba, mango y fresa, los cuales fueron 27.64, 36.54, 47.44, 43.27 y 21.69, respectivamente

Cuadro 7. Pureza de color (^{*}c) de cáscara en frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.

CULTIVAR	DÍAS DE EVALUACIÓN								
	0	3	6	9	12	15	18	21	24
Tuna									
‘Amarilla Montesa’ (an)	34.29 a [†]	34.37 abcd	32.15 abc	33.37 abc	33.31 abc	-	-	-	-
‘Amarilla Plátano’ (am)	27.10 bcd	40.57 a	36.43 a	36.30 ab	36.33 a	34.26 ab	-	-	-
‘Reyna’ (vc)	33.53 a	35.15 abc	37.13 a	37.56 a	36.80 a	36.96 a	-	-	-
‘Cristalina’ (vc)	32.44 ab	35.82 ab	33.12 ab	32.86 abcd	35.05 ab	-	-	-	-
‘Rojo Pelón’ (ro)	20.59 e	22.40 f	19.21 e	19.49 f	19.30 g	19.10 d	22.00 c	19.94 b	16.55 c
‘Liso Forrajero’ (ro)	24.97 cde	27.46 def	22.77 de	26.09 cdef	24.25 efg	24.53 cd	-	-	-
Xocotuna									
‘Cascarón’ (rj)	22.48 de	24.72 ef	23.33 de	25.51 def	25.72 def	25.19 cd	24.71 ab	-	-
‘Chinchilla’ (ro)	22.24 de	26.35 ef	26.78 bcd	28.93 bcde	24.45 efg	-	-	-	-
‘Coral’ (pu)	26.86 bcde	27.56 cdef	25.44 cde	29.05 bcde	30.46 bcd	-	-	-	-
‘Nicolaita’ (rs)	30.03 abc	31.24 bcde	31.76 abc	28.95 bcde	29.99 bcd	29.10 bc	-	-	-
‘Caidilla’ (ro)	26.85 bcde	23.44 f	25.58 cde	33.11 abcd	33.92 abc	33.31 ab	-	-	-
Xoconostle									
‘Cuaresmeño Blanco’ (vc)	26.14 bcde	27.01 def	27.49 bcd	28.67 bcde	28.61 cde	26.28 c	27.22 a	26.50 a	29.17 a
‘Cuaresmeño’ (rj)	24.33 cde	24.04 ef	22.18 de	23.91 ef	22.88 fg	25.25 cd	23.99 bc	25.92 a	22.25 b
[†] DMSH	6.34	7.68	7.31	7.73	5.44	6.57	2.55	2.54	3.36

[†]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [†]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($P \leq 0.05$). an: anaranjado; am: amarillo; vc: verde claro; ro: rojo oscuro; rj: rojo; pu: púrpura; rs: rosa.

Ángulo hue

Respecto a esta variable el cultivar ‘Amarilla Montesa’ con ángulo de matiz de 63.71 (Cuadro 8) tuvo diferencias estadísticas con los cultivares ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’, ‘Coral’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ los cuales presentaron valores de 96.50, 98.95, 94.83, 44.13, 45.59, 37.73, 30.91, 15.56, 19.45, 23.65, 88.33 y 37.67, respectivamente al inicio de la evaluación. Después a los 3 dda el cultivar ‘Cuaresmeño’ (52.20) mostró diferencias significativas con ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’,

‘Cristalina’, ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’, ‘Coral’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’ y ‘Cuaresmeño Blanco’ con valores de matiz de 74.84, 98.08, 96.75, 28.33, 28.21, 15.67, 16.17 y 22.47, respectivamente. Estos resultados contrastan con los obtenidos por Corrales-García y Canche-Canche (2008) para frutos de *Hylocereus undatus* a los 0, 3 y 6 dda con valores de ángulo hue de 45.09, 20.4 y 17.53, respectivamente, asimismo mencionaron que se tuvo un mejor desarrollo del color externo a temperatura ambiente, lo cual se observó al presentarse una notable reducción de este valor conforme pasó el tiempo de evaluación.

A los 6 y 9 dda se observó que los cultivares ‘Nicolaita’ y ‘Caidilla’ fueron similares y estadísticamente diferentes de ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’. Asimismo a los 12 dda ‘Amarilla Plátano’ con ángulo hue de 75.69 presentó diferencias significativas con ‘Amarilla Montesa’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’, ‘Coral’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ cuyos valores encontrados fueron de 55.10, 97.29, 93.52, 38.40, 37.92, 25.19, 33.94, 20.37, 19.40, 21.55, 92.95 y 53.39, respectivamente. Por su parte, Centurión *et al.* (2008) encontraron niveles de ángulo de matiz de 116.6, 108.3, 91.4 y 51 en *Hylocereus undatus* a los 25, 27, 29 y 31 dda y a su vez concluyeron que conforme fueron avanzando los días de evaluación los frutos presentaron una coloración rojo-púrpura en toda la cáscara.

Pasados los 15 dda el cultivar ‘Amarilla Plátano’ (72.60) resultó ser estadísticamente diferente de ‘Reyna’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ con valores de tonalidad de 97.14, 36.60, 36.50, 25.28, 20.41, 23.27, 95.04 y 56.25, respectivamente. Asimismo para el día 18 ‘Rojo Pelón’ con ángulo hue de 33.04 y ‘Cascarón’ con 24.61 fueron similares y presentaron diferencias estadísticas con ‘Cuaresmeño Blanco’ (92.52) y ‘Cuaresmeño’ (58.93). Al

concluir la evaluación (21 y 24 dda) el cultivar ‘Rojo Pelón’ mostró diferencias estadísticas respecto a ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’. En otro estudio Ochoa-Velazco y Guerrero-Beltrán (2013) señalaron que después de 21 dda en tuna blanca ‘Villanueva’ con un valor de ángulo hue de 16.24 hubo un mayor cambio de color, lo cual fue similar a lo observado en el presente trabajo debido a que cada cultivar desarrolló su color típico conforme pasó el tiempo de evaluación.

Cuadro 8. Ángulo de tono (°h) de cáscara en frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.

CULTIVAR	DÍAS DE EVALUACIÓN								
	0	3	6	9	12	15	18	21	24
Tuna									
‘Amarilla Montesa’ (an)	63.71 b [†]	56.98 cd	60.25 bc	62.60 bc	55.10 c	-	-	-	-
‘Amarilla Plátano’ (am)	96.50 a	74.84 bc	76.32 ab	76.48 ab	75.69 b	72.60 b	-	-	-
‘Reyna’ (vc)	98.95 a	98.08 a	95.44 a	94.77 a	97.29 a	97.14 a	-	-	-
‘Cristalina’ (vc)	94.83 a	96.75 a	95.43 a	95.99 a	93.52 a	-	-	-	-
‘Rojo Pelón’ (ro)	44.13 c	45.30 de	44.53 cde	45.97 cde	38.40 d	36.60 d	33.04 c	37.51 c	39.54 c
‘Liso Forrajero’ (ro)	45.59 c	42.49 def	41.36 cdef	35.29 def	37.92 d	36.50 d	-	-	-
Xocotuna									
‘Cascarón’ (rj)	37.73 cd	28.33 efg	25.79 ef	27.20 ef	25.19 ef	25.28 de	24.61 c	-	-
‘Chinchilla’ (ro)	30.91 cde	28.21 efg	28.02 ef	26.48 ef	33.94 de	-	-	-	-
‘Coral’ (pu)	15.56 e	15.67 g	32.60 def	26.52 ef	20.37 f	-	-	-	-
‘Nicolaita’ (rs)	19.45 e	16.17 g	19.16 f	16.72 f	19.40 f	20.41 e	-	-	-
‘Caidilla’ (ro)	23.65 de	22.47 fg	21.34 f	22.34 f	21.55 f	23.27 e	-	-	-
Xoconostle									
‘Cuaresmeño Blanco’ (vc)	88.33 a	89.43 ab	91.10 a	91.68 a	92.95 a	95.04 a	92.52 a	91.16 a	92.58 a
‘Cuaresmeño’ (rj)	37.67 cd	52.20 d	52.86 cd	53.05 cd	53.39 c	56.25 c	58.93 b	64.07 b	63.53 b
[†] DMSH	16.63	21.91	22.35	21.15	11.93	12.01	11.22	21.75	16.70

[†]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [†]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($P \leq 0.05$). an: anaranjado; am: amarillo; vc: verde claro; ro: rojo oscuro; rj: rojo; pu: púrpura; rs: rosa).

Grosor de la cáscara

En cuanto al grosor de cáscara el cultivar ‘Amarilla Montesa’ tuvo un valor de 3.24 mm y presentó diferencias estadísticas con los cultivares ‘Reyna’, ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ con valores de 6.29, 8.16,

6.45, 9.03, 8.13, 10.53 y 12.85 mm, respectivamente. Para el día 3 se observó que el cultivar ‘Caidilla’ con 7.95 mm fue estadísticamente diferente de ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ cuyo grosor de cáscara fue de 2.66, 3.39, 5.18, 4.15, 4.37, 11.91 y 14.25 mm, respectivamente. A su vez, el cultivar ‘Cuaresmeño’ (14.28 mm) tuvo diferencias significativas con el resto de los cultivares evaluados a los 9 dda (Cuadro 9). Al respecto, Kuti (2004) reportó valores de grosor de cáscara para *O. ficus-indica*, *O. lindheimeri*, *O. streptacantha* y *O. stricta* v. *stricta* de 6.5, 3.0, 4.5 y 5.5 mm, respectivamente, similares a los encontrados en este estudio para los cultivares de tuna y xocotuna.

Por otra parte a los 9 dda el cultivar ‘Reyna’ con 2.22 mm de grosor de cáscara mostró diferencias estadísticas con ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’, ‘Coral’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ que tuvieron valores de 6.81, 6.89, 5.32, 8.05, 7.47, 11.57 y 14.16 mm, respectivamente. Al llegar a los 12 dda ‘Amarilla Montesa’ (2.46) fue estadísticamente diferente de los cultivares ‘Reyna’, ‘Rojo Pelón’, ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ que exhibieron valores de grosor de cáscara de 4.77, 4.50, 6.74, 7.89, 7.10, 6.93, 11.51 y 12.67 mm, respectivamente. En otro estudio Álvarez y Peña-Valdivia (2009) señalaron valores de grosor de cáscara de 11.32 y 12.68 mm para xoconostle (*O. matudae*) los cuales fueron similares a los reportados en este estudio para este mismo cultivar; a su vez Gallegos-Vázquez *et al.* (2014) indicaron valores de 10.3 mm para el cultivar ‘Invierno’ (*O. tezontepicana* Gallegos & Scheinvar) y de 11.4 mm para el cultivar ‘Saneiro’ (*O. matudae* Scheinvar subsp. *puerpurea* sub sp nov), ambos de xoconostle, lo cual los hace atractivos debido a que la cáscara es la porción comestible de estos frutos.

Asimismo se observó que el cultivar ‘Cascarón’ con 5.42 mm presentó diferencias estadísticas con ‘Amarilla Plátano’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ a los 15 dda con valores de 1.19, 2.73, 1.11, 7.89, 8.79, 9.03 y 13.63 mm, respectivamente. Para el día 18 ‘Rojo Pelón’ y ‘Cascarón’ con 4.23 y 6.40 mm fueron similares y estadísticamente diferentes de ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’, los cuales estadísticamente fueron iguales entre sí con valores de 10.79 y 13.13 mm. Al término de la evaluación (21 y 24 dda) los cultivares ‘Rojo Pelón’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ fueron diferentes entre sí. En general se apreció una importante reducción en el grosor de la cáscara lo cual puede ser consecuencia de la hidrólisis del almidón en el proceso de maduración del fruto tal y como lo menciona Pinzón *et al.* (2007) para frutos de la pasión (*Passiflora edulis* Sims.). Esto no resulta muy conveniente debido a que como mencionan Cantwell (1995) y Lara *et al.* (2014) tanto el adelgazamiento como el ablandamiento de la cáscara contribuyen al incremento en la susceptibilidad al daño físico y deterioro del fruto durante su manejo, lo cual depende de la composición y estructura de los tejidos de su superficie debido a que influyen de manera notable en el potencial de almacenamiento postcosecha en la medida en que se comportan como una barrera frente a la desecación, ataque químico, lesiones mecánicas y ataque microbiano.

También se observó que los cultivares de xoconostle tuvieron el mayor grosor de cáscara, seguido por las xocotunas y finalmente las tunas durante el periodo de evaluación, lo cual podría atribuirse a las características típicas de cada cultivar, así como a las condiciones ambientales y manejo agronómico (Pinzón *et al.*, 2007).

Cuadro 9. Grosor de cáscara (mm) en frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.

CULTIVAR	DÍAS DE EVALUACIÓN								
	0	3	6	9	12	15	18	21	24
Tuna									
‘Amarilla Montesa’	3.24 f [†]	2.66 e	3.27 f	3.09 ef	2.46 e	-	-	-	-
‘Amarilla Plátano’	4.17 ef	3.39 e	2.86 f	3.08 ef	2.71 de	1.19 e	-	-	-
‘Reyna’	6.29 cde	5.18 cde	3.73 ef	2.22 f	4.77 c	4.46 cd	-	-	-
‘Cristalina’	4.02 ef	4.15 de	3.37 ef	3.97 def	3.85 cde	-	-	-	-
‘Rojo Pelón’	5.70 def	5.24 bcde	4.52 def	4.57 cdef	4.50 cd	2.73 de	4.23 b	4.17 c	4.16 c
‘Liso Forrajero’	4.21 ef	4.37 de	3.20 f	3.62 ef	3.07 cde	1.11 e	-	-	-
Xocotuna									
‘Cascarón’	8.16 bcd	7.67 bc	7.12 cd	6.81 bcd	6.74 b	5.42 c	6.40 b	-	-
‘Chinchilla’	6.45 cde	8.83 bcd	7.58 c	6.89 bc	7.89 b	-	-	-	-
‘Coral’	4.92 ef	5.30 bcde	6.05 cde	5.32 bcde	4.30 cde	-	-	-	-
‘Nicolaita’	9.03 bc	7.48 bc	7.74 c	8.05 b	7.10 b	7.89 b	-	-	-
‘Caidilla’	8.13 bcd	7.95 b	6.95 cd	7.47 b	6.93 b	8.79 b	-	-	-
Xoconostle									
‘Cuaresmeño Blanco’	10.53 ab	11.91 a	10.64 b	11.57 a	11.51 a	9.03 b	10.79 a	9.00 b	8.24 b
‘Cuaresmeño’	12.85 a	14.25 a	14.28 a	14.16 a	12.67 a	13.63 a	13.13 a	13.31 a	11.61 a
[†] DMSH	2.86	2.73	2.69	2.86	1.88	2.38	3.58	2.04	2.92

[†]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [‡]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($P \leq 0.05$).

Firmeza de la pulpa

En cuanto a la variable de firmeza al comienzo de la evaluación se encontró que el cultivar ‘Chinchilla’ mostró un valor de 3.21 N y tuvo diferencias estadísticas con los cultivares ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ cuyos valores fueron de 8.58, 8.18, 12.18, 10.44, 14.41 y 17.87 N, respectivamente. Para el día 3 ‘Cuaresmeño Blanco’ (14.32 N) fue estadísticamente diferente de ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’, ‘Coral’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’ y ‘Cuaresmeño’ que mostraron niveles de firmeza de 6.81, 5.61, 6.27, 3.11, 4.09, 2.99, 3.35, 6.86, 4.46 y 19.68 N, respectivamente. A los 6 dda ‘Chinchilla’ con 3.16 N presentó diferencias estadísticas con ‘Amarilla Montesa’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’

que tuvieron valores de firmeza de 7.55, 9.63, 9.58, 13.26 y 15.22 N, respectivamente (Cuadro 10). De acuerdo con Osuna *et al.* (2011) en frutos de *Hylocereus undatus* Haw. la firmeza disminuyó en los primeros 6 dda y fue mayor en frutos cosechados en madurez inicial que en frutos con madurez media y completa cuyo valor de firmeza fue similar, de tal manera que los valores pasaron de 7.1 a 5.0, de 5.4 a 4.5 y de 6.0 a 4.2 N, respectivamente, después de este periodo dicho parámetro no se modificó. Estos resultados fueron similares a los encontrados para tuna y xocotuna en el presente estudio. Por su parte Corrales *et al.* (2006) señalaron que la mayor firmeza promedio en pulpa la obtuvo el cultivar ‘Alfajayucan’ con un valor promedio de 23.14 N y la más baja en los cultivares ‘Sangre de Toro’ y ‘Cardón Blanco’ con 8.63 N lo cual puede indicar que éstos últimos pueden ser más susceptibles al daño físico durante el manejo postcosecha.

Después de los 9 dda el cultivar ‘Cristalina’ con una firmeza de 10.34 N fue significativamente diferente de ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’, ‘Coral’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ que exhibieron valores de firmeza de 5.0, 3.48, 4.78, 3.33, 4.83, 5.49, 4.48, 15.27 y 18.14 N, respectivamente. Pasados los 12 dda nuevamente el cultivar ‘Cristalina’ (8.90 N) tuvo diferencias estadísticas con ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’, ‘Coral’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ que presentaron valores de firmeza de 2.67, 4.68, 3.48, 4.41, 3.90, 14.0 y 18.17 N, respectivamente. En contraste, Centurión *et al.* (2008) obtuvieron resultados en la firmeza de pulpa de frutos de *Hylocereus undatus* de 9.9 a 6.3 N de los 25 a los 31 dda afirmando que se tuvo una disminución significativa de esta variable y también mencionan que este cambio es característico del proceso de maduración del fruto, lo cual coincide con Kader (2007) al señalar que el

ablandamiento en frutos carnosos durante su madurez se debe a la disolución de la lámina media de sus tejidos.

A los 15 dda el cultivar ‘Reyna’ (9.56 N) presentó diferencias estadísticas con ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ que mostraron valores de firmeza de 4.58, 4.07, 3.97, 4.36, 14.53 y 19.02 N, respectivamente. Asimismo a los 18 dda los cultivares ‘Rojo Pelón’ y ‘Cascarón’ fueron iguales con 4.36 y 3.89 N, y diferentes de ‘Cuaresmeño Blanco’ (14.34 N) y ‘Cuaresmeño’ (18.09 N) que también fueron similares. Finalmente a los 21 y 24 dda ‘Rojo Pelón’ fue estadísticamente diferente de ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’. Se pudo notar en la mayoría de los cultivares que existió una tendencia a disminuir la firmeza conforme transcurrieron los días de almacenamiento, este comportamiento fue semejante al obtenido por Ochoa-Velazco y Guerrero-Beltrán (2013) al observar una disminución significativa de la firmeza en pulpa de tuna blanca ‘Villanueva’ a lo largo de 21 dda, lo anterior puede estar relacionado con la hidrólisis de almidón y de pectinas en la membrana celular, o bien a que en general todas las frutas y hortalizas sufren cambios durante su maduración y almacenamiento, los cuales son debido a transformaciones bioquímicas, que provocan cambios en la textura ocasionando la pérdida de ésta (Aguilar-Sánchez *et al.*, 2007).

Se observó que los cultivares de xoconostle presentaron niveles más altos de firmeza seguidos de los de tuna y xocotuna, lo cual podría deberse a la actividad metabólica del fruto tal y como lo mencionan Ochoa y Guerrero (2012).

Cuadro 10. Firmeza de pulpa (N) en frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.

CULTIVAR	DÍAS DE EVALUACIÓN								
	0	3	6	9	12	15	18	21	24
Tuna									
‘Amarilla Montesa’	8.58 cde [†]	6.81 cde	7.55 cd	6.52 bcd	7.03 cde	-	-	-	-
‘Amarilla Plátano’	8.18 cde	5.61 de	6.57 cde	6.76 bcd	5.56 cdef	5.76 cd	-	-	-
‘Reyna’	12.18 bc	10.05 bcd	9.63 bc	8.73 bc	8.48 cd	9.56 c	-	-	-
‘Cristalina’	10.44 bcd	10.27 bc	9.58 bc	10.34 b	8.90 c	-	-	-	-
‘Rojo Pelón’	6.03 def	6.27 cde	4.68 de	5.00 cd	5.27 cdef	4.58 d	4.36 b	4.46 b	4.19 b
‘Liso Forrajero’	4.83 ef	3.11 e	4.36 de	3.48 d	2.67 f	4.07 d	-	-	-
Xocotuna									
‘Cascarón’	6.03 def	4.09 e	5.12 de	4.78 cd	4.68 def	3.97 d	3.89 b	-	-
‘Chinchilla’	3.21 f	2.99 e	3.16 e	3.33 d	3.48 ef	-	-	-	-
‘Coral’	5.07 ef	3.35 e	5.24 de	4.83 cd	4.41 def	-	-	-	-
‘Nicolaita’	6.91 def	6.86 cde	6.64 cde	5.49 cd	5.78 cdef	5.95 cd	-	-	-
‘Caidilla’	3.99 ef	4.46 e	4.85 de	4.48 cd	3.90 ef	4.36 d	-	-	-
Xoconostle									
‘Cuaresmeño Blanco’	14.41 ab	14.32 b	13.26 ab	15.27 a	14.00 b	14.53 b	14.34 a	14.56 a	14.34 a
‘Cuaresmeño’	17.87 a	19.68 a	15.22 a	18.14 a	18.17 a	19.02 a	18.09 a	13.09 a	14.78 a
‡ DMSH	4.93	4.64	3.94	4.75	4.16	4.17	5.49	5.29	2.57

[†]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [‡]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($P \leq 0.05$).

Firmeza de la cáscara

En relación a la firmeza de la cáscara al inicio de la evaluación el cultivar ‘Cascarón’ con 17.18 N mostró diferencias significativas con respecto a ‘Reyna’ (26.92 N), ‘Chinchilla’ (7.42 N), ‘Coral’ (6.57 N), ‘Cuaresmeño Blanco’ (34.22 N) y ‘Cuaresmeño’ (34.84 N) (Cuadro 11). A su vez a los 3 dda el cultivar ‘Reyna’ con 24.56 N presentó diferencias estadísticas con ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Cristalina’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’, ‘Coral’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’ y ‘Cuaresmeño’ cuyos valores de firmeza fueron de 14.44, 11.91, 14.48, 14.53, 12.01, 12.42, 8.31, 8.18, 14.36, 14.12 y 37.97 N, respectivamente. Para el día 6 se formaron dos grupos estadísticamente diferentes, el primero conformado por ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Cristalina’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’,

‘Coral’, ‘Nicolaita’ y ‘Caidilla’ con niveles de firmeza de 11.67, 8.75, 12.87, 13.63, 11.27, 12.72, 11.74, 8.19, 13.90 y 13.46 N, respectivamente; y el segundo grupo formado por ‘Reyna’ (31.01 N), ‘Cuaresmeño Blanco’ (33.49 N) y ‘Cuaresmeño’ (33.17 N). Por su parte, Magaña *et al.* (2013) reportaron valores de firmeza para pitahaya (*Hylocereus undatus*) de 11.08, 10.98 y 10.59 N a los 0, 3 y 6 dda y a su vez indicaron que no se detectaron cambios significativos de esta variable, lo cual pudo deberse a que la cáscara del fruto es rígida y funciona como una barrera protectora.

Posteriormente a los 9 dda se encontraron diferencias estadísticas con el cultivar ‘Reyna’ (22.89 N) respecto a ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Cristalina’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’, ‘Coral’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ con valores de firmeza de 10.08, 13.26, 14.19, 13.09, 12.45, 11.76, 11.05, 8.45, 12.48, 12.80, 40.40 y 39.69 N, respectivamente. Para el día 12 se observó la misma tendencia encontrada a los 6 dda. Asimismo, los cultivares ‘Amarilla Plátano’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Nicolaita’ y ‘Caidilla’ con valores de firmeza de 12.13, 13.48, 12.97, 9.68, 12.55 y 12.40 N, respectivamente formaron un grupo significativamente diferente de ‘Reyna’ (30.94 N), ‘Cuaresmeño Blanco’ (32.58 N) y ‘Cuaresmeño’ (33.19 N) a los 15 dda. A diferencia de otros frutos como la fresa donde se han reportado valores de 0.85 a 1.46 N, característica que hace que sean más susceptibles a daño mecánico y ataque por patógenos durante su manejo (Martínez-Bolaños *et al.*, 2008), en el caso de los cultivares evaluados en este estudio se observaron pequeños cambios en esta variable a través del tiempo de evaluación, lo cual como mencionaron Ochoa y Guerrero (2012) podría ser explicado debido al efecto de la temperatura ambiente y baja humedad relativa permitiendo que la cáscara se hiciera menos flexible.

Después a los 18 dda 'Rojo Pelón' y 'Cascarón' con 12.45 y 10.22 N fueron iguales y estadísticamente diferentes de 'Cuaresmeño Blanco' y 'Cuaresmeño' con 32.68 y 35.38 N que también fueron similares. A los 21 dda 'Rojo Pelón' (13.38 N) mostró diferencia estadística con 'Cuaresmeño' (31.99 N). Al final de la evaluación (24 dda) 'Rojo Pelón' con 13.38 N fue significativamente diferente de 'Cuaresmeño Blanco' y 'Cuaresmeño' con niveles de firmeza de 35.72 y 34.54 N. En contraste, Pinedo-Espinoza *et al.* (2010) obtuvieron valores de firmeza para tuna 'Cristalina' de 28.34, 27.36, 32.95, 21.37 y 23.24 N a los 0, 8, 15, 20 y 30 dda, respectivamente. Estos valores fueron similares a los reportados en este estudio para los cultivares de xoconostle y para el de tuna 'Reyna'. Asimismo, Ochoa-Velasco y Guerrero-Beltrán (2013) encontraron que la firmeza disminuyó en tuna blanca 'Villanueva' a lo largo de 21 dda y mencionaron que pudo deberse a la baja humedad relativa; al respecto Cantwell (1995) y Belie *et al.* (2000) señalaron que la disminución en este parámetro puede ser consecuencia de los procesos degradativos y que a su vez está correlacionada con los cambios en los constituyentes celulares y enzimas, especialmente pectinas y pectinasas; es decir, que las pectinas de la lámina media son disueltas debido a que actúan como agentes cementantes para las paredes celulares, lo cual resulta en una alteración de la adhesión célula a célula.

Durante el tiempo de almacenamiento se observó que el cultivar de tuna 'Reyna' junto con los cultivares de xoconostle fueron los que tuvieron los valores más altos de firmeza, el resto de los cultivares de tuna y xocotuna se comportaron de manera similar, esta tendencia podría deberse a que la resistencia a la penetración en cáscara está en función de la variedad y de las propiedades relacionadas con la resistencia de los tejidos que conforman el fruto (Corrales y Hernández, 2005; Mercado *et al.*, 2008).

Cuadro 11. Firmeza de cáscara (N) en frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.

CULTIVAR	DÍAS DE EVALUACIÓN								
	0	3	6	9	12	15	18	21	24
Tuna									
‘Amarilla Montesa’	12.06 cd [†]	14.44 c	11.67 b	10.08 c	11.40 b	-	-	-	-
‘Amarilla Plátano’	13.68 cd	11.91 c	8.75 b	13.26 c	14.22 b	12.13 b	-	-	-
‘Reyna’	26.92 ab	24.56 b	31.01 a	22.89 b	31.01 a	30.94 a	-	-	-
‘Cristalina’	12.45 cd	14.48 c	12.87 b	14.19 c	13.16 b	-	-	-	-
‘Rojo Pelón’	14.46 cd	14.53 c	13.63 b	13.09 c	12.55 b	13.48 b	12.45 b	12.87 b	13.38 b
‘Liso Forrajero’	12.50 cd	12.01 c	11.27 b	12.45 c	10.73 b	12.97 b	-	-	-
Xocotuna									
‘Cascarón’	17.18 c	12.42 c	12.72 b	11.76 c	10.42 b	9.68 b	10.22 b	-	-
‘Chinchilla’	7.42 d	8.31 c	11.74 b	11.05 c	10.42 b	-	-	-	-
‘Coral’	6.57 d	8.18 c	8.19 b	8.45 c	7.72 b	-	-	-	-
‘Nicolaita’	14.66 cd	14.36 c	13.90 b	12.48 c	12.65 b	12.55 b	-	-	-
‘Caidilla’	18.75 bc	14.12 c	13.46 b	12.80 c	12.60 b	12.40 b	-	-	-
Xoconostle									
‘Cuaresmeño Blanco’	34.22 a	28.95 b	33.49 a	40.40 a	33.59 a	32.58 a	32.68 a	26.21 ab	35.72 a
‘Cuaresmeño’	34.84 a	37.97 a	33.17 a	39.69 a	29.42 a	33.19 a	35.38 a	31.99 a	34.54 a
[‡] DMSH	9.60	7.63	7.25	7.54	7.70	9.59	7.10	14.41	10.93

[†]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [‡]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($P \leq 0.05$).

Contenido de sólidos solubles totales

Como es sabido la mayoría de las especies de *Opuntia* producen frutos de sabor dulce denominado tunas, mientras que una minoría produce frutos de sabor ácido, los cuales son conocidos como xoconostles; asimismo se ha reconocido que probablemente las xocotunas son híbridos naturales de tuna y xoconostle ya que su fruto es parecido al de éste último pero con pulpa semi-ácida o ligeramente dulce (Scheinvar, 2011; Gallegos-Vázquez *et al.*, 2012). Los niveles de sólidos solubles totales encontrados en los cultivares bajo estudio (Cuadro 12) mostraron al comienzo de la evaluación que el cultivar ‘Amarilla Montesa’ (14.52 °Brix) presentó diferencias significativas con ‘Coral’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ con valores de

8.12, 12.12, 10.32, 4.92 y 4.52 °Brix, respectivamente. En relación al día 3 ‘Cascarón’ con 12.65 °Brix mostró diferencias estadísticas respecto a ‘Amarilla Montesa’, ‘Coral’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ con niveles de 14.72, 10.47, 10.07, 4.80 y 5.05 °Brix, respectivamente. A los 6 dda ‘Amarilla Montesa’ con 13.30 °Brix fue estadísticamente diferente de ‘Amarilla Plátano’ (11.02 °Brix), ‘Coral’ (9.25 °Brix), ‘Cuaresmeño Blanco’ (5.05 °Brix) y ‘Cuaresmeño’ (5.37 °Brix). Al respecto Coria-Cayupán *et al.* (2011) reportaron valores de sólidos solubles totales para *O. megacantha* de color amarillo y naranja de 8.3 y 12.3; para *O. spp.* de color púrpura y rosado de 11.3 y 10.9; y para *O. ficus-indica* de color púrpura oscuro, púrpura y verde de 11.3 y 15, estos valores contrastan con los obtenidos para este estudio, a diferencia de lo encontrado por Guzmán-Maldonado *et al.* (2010) para xoconostle (*O. matudae*) con valores de °Brix de 1.10 a 1.35, los cuales fueron más bajos. De la misma manera Magaña *et al.* (2004) encontraron valores de contenido de sólidos solubles para pitahaya (*Hylocereus undatus*) de 9.94, 10.26 y 10.57 a los 0, 3 y 6 dda.

Por otra parte, a los 9 dda el cultivar ‘Reyna’ con 13.77 °Brix presentó diferencias estadísticas respecto de ‘Amarilla Plátano’, ‘Cristalina’, ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’, ‘Coral’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ que tuvieron valores de sólidos solubles totales de 11.95, 11.25, 11.00, 11.42, 9.45, 12.00, 9.40, 5.25 y 5.92, respectivamente. A su vez a los 12 dda ‘Cristalina’ con 13.40 °Brix mostró diferencias estadísticas con ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’, ‘Coral’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ con niveles de 10.82, 11.12, 10.37, 9.57, 8.10, 5.45 y 5.45, respectivamente. Considerando lo anterior, Hernández-Pérez *et al.* (2005) observaron cambios de ligeros a muy ligeros en el contenido de sólidos solubles totales a los 14 y 28 dda para los cultivares ‘Blanca Cristalina’ (12.9 y 13

°Brix), ‘Esmeralda’ (11.4 y 12 °Brix) y ‘Naranjona’ (10 y 9 °Brix). También Bendhifi *et al.* (2013) determinaron el más alto contenido de sólidos solubles totales en *O. streptacantha* (14.2 °Brix) seguido por *O. ficus-indica* (11.81 °Brix) mientras que *O. robusta* mostró el valor más bajo con 9.43 °Brix. Asimismo, Cantwell (1995) mencionó que el contenido de azúcar en frutos de cactáceas se encuentra esencialmente determinado por el tiempo de cosecha, debido a que los cambios en postcosecha llegan a ser relativamente pequeños, es así que de acuerdo con Piga (2004), y Sáenz y Sepúlveda (2001) se ha establecido un intervalo de 12-17 °Brix para pulpas de tuna de coloración verde y de 12.8-14.5 °Brix para pulpas de tuna de coloración púrpura, donde la glucosa y fructosa se encuentran como principales carbohidratos; por tanto la acumulación de azúcares durante la maduración de los frutos de *O. ficus-indica* se relaciona con un aporte del metabolismo de la cáscara y no con una disminución en el contenido de almidón y mucilagos de la pulpa como sucede en los frutos de pitahaya (Barrera y Nobel, 2004).

Para los 15 dda el cultivar ‘Caidilla’ con 8.02 °Brix tuvo diferencias estadísticas con ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Nicolaita’ y ‘Cuaremeño Blanco’ que exhibieron valores de sólidos solubles totales de 10.90, 12.25, 12.17, 12.40, 11.75, 11.50 y 4.87, respectivamente. A los 18 dda ‘Rojo Pelón’ y ‘Cascarón’ (12.97 y 12.07 °Brix) fueron iguales y estadísticamente diferentes de ‘Cuaremeño Blanco’ y ‘Cuaremeño’ (4.92 y 5.92 °Brix) que también fueron iguales entre sí. Al término de la evaluación (21 y 24 dda) ‘Rojo Pelón’ mostró diferencias significativas con ‘Cuaremeño Blanco’ y ‘Cuaremeño’. En este sentido, los valores obtenidos en los cultivares bajo estudio fueron similares a los reportados por Yahia y Mondragón-Jacobo (2011) quienes presentaron valores de contenido de °Brix para los

cultivares ‘Camuesa’, ‘Cardona’, ‘Liria’, ‘Naranjona’, ‘Reina’, ‘Roja Lisa’ y ‘Roja Pelota’ de 11.60, 15.30, 14, 13.86, 13.33, 13.86 y 13.50, respectivamente y a los mostrados por Gallegos-Vázquez *et al.* (2014) para los xoconostles de la variedad ‘Invierno’ y ‘Saneiro’ con 4.4 y 6.3 °Brix. También otros autores como Chavéz-Santoscoy *et al.* (2009) determinaron el contenido de sólidos solubles totales para las variedades ‘Gavia’, ‘Cardón’, Pelón, ‘Moradillo’, ‘Duraznillo Blanco’, ‘Duraznillo Rojo’ y ‘Tapón’ con niveles de 14.73, 13.33, 13.32, 14.10, 12.93, 9.18, 9.05, 8.42 y 8.08, respectivamente. Cabe señalar que los cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle pueden ser comparados con otros frutos comunes como plátano, piña, manzana, kiwi, naranja y fresa los cuales tienen niveles de 20.3, 12.40, 11.43, 9.12, 8.25 y 5.51 °Brix, respectivamente (Souci *et al.*, 2008).

En los cultivares bajo estudio los de tuna y xocotuna presentaron los valores más altos de sólidos solubles totales y fueron similares entre sí a diferencia de los xoconostles con los niveles más bajos, como ya se ha mencionado, este comportamiento se debe al cultivar.

Cuadro 12. Contenido de sólidos solubles totales (°Brix) en frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.

CULTIVAR	DÍAS DE EVALUACIÓN								
	0	3	6	9	12	15	18	21	24
Tuna									
‘Amarilla Montesa’	14.52 a [†]	14.72 a	13.30 a	13.50 ab	13.12 ab	-	-	-	-
‘Amarilla Plátano’	12.47 abc	11.82 bcd	11.02 bcd	11.95 bc	11.26 abcde	10.90 a	-	-	-
‘Reyna’	13.12 ab	12.27 bc	12.87 ab	13.77 a	12.60 abc	12.25 a	-	-	-
‘Cristalina’	13.25 ab	12.67 ab	11.62 abc	11.25 c	13.40 a	-	-	-	-
‘Rojo Pelón’	13.25 ab	13.55 ab	13.00 ab	12.37 abc	11.82 abcd	12.17 a	12.97 a	12.72 a	12.40 a
‘Liso Forrajero’	12.87 ab	12.72 ab	12.20 ab	12.60 abc	10.82 cde	12.40 a	-	-	-
Xocotuna									
‘Cascarón’	12.54 abc	12.65 b	11.95 abc	11.00 cd	11.12 bcde	11.75 a	12.07 a	-	-
‘Chinchilla’	12.92 ab	12.42 bc	11.57 abc	11.42 c	10.37 de	-	-	-	-
‘Coral’	8.12 d	10.47 cd	9.25 d	9.45 d	9.57 ef	-	-	-	-
‘Nicolaita’	12.12 bc	11.87 bcd	11.65 abc	12.00 bc	11.55 abcde	11.50 a	-	-	-
‘Caidilla’	10.32 cd	10.07 d	10.02 cd	9.40 d	8.10 f	8.02 b	-	-	-
Xoconostle									
‘Cuaresmeño Blanco’	4.92 e	4.80 e	5.05 e	5.25 e	5.45 g	4.87 c	4.92 b	5.55 b	5.45 b
‘Cuaresmeño’	4.52 e	5.05 e	5.37 e	5.92 e	5.45 g	5.82 bc	5.92 b	5.05 b	5.82 b
[‡] DMSH	2.24	2.06	2.11	1.61	2.22	2.59	1.44	0.84	1.41

[†]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [‡]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($P \leq 0.05$).

Potencial de hidrógeno (pH) de la pulpa

Respecto a esta variable en un inicio se observó (Cuadro 13) que el cultivar ‘Coral’ (3.89) presentó diferencias significativas respecto a ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ con niveles de 7.14, 6.59, 6.62, 6.96, 6.89, 7.06, 5.49, 4.97, 6.64, 5.07, 2.70 y 2.72, respectivamente. Posteriormente a los 3 dda ‘Chinchilla’ y ‘Coral’ con valores de potencial de hidrógeno de 4.49 y 4.37 fueron iguales y estadísticamente diferentes de ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ con valores de 6.90, 6.57, 6.96, 6.86, 7.13, 6.44, 6.39, 5.61, 2.73 y 2.93, respectivamente. Los resultados aquí obtenidos concuerdan con lo reportado por Díaz-Medina *et al.* (2007) para *O. dillenii* de 3.34, para

O. ficus-indica de 6.39 (pulpa verde) y 6.22 (pulpa naranja), y a lo referido por Contreras *et al.* (2011) para *O. jocconostle* con valores de pH en un rango de 2.8 a 3.2. Asimismo Cantwell (1995) mencionó que cuando el contenido de ácido disminuye durante el proceso de maduración los valores de pH del tejido de la pulpa se incrementan.

A los 6 dda ‘Cascarón’ con pH de 5.99 tuvo diferencias estadísticas con ‘Amarilla Montesa’ (6.90), ‘Reyna’ (6.96), ‘Cristalina’ (7.00), ‘Rojo Pelón’ (7.29), ‘Liso Forrajero’ (7.24), ‘Chinchilla’ (4.29), ‘Coral’ (3.61), ‘Caidilla’(5.03), ‘Cuaresmeño Blanco’ (2.82) y ‘Cuaresmeño’ (2.94). Posteriormente, para el día 9 el cultivar ‘Nicolaita’ con pH de 6.41 mostró diferencias estadísticas con ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Chinchilla’, ‘Coral’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ cuyos niveles de potencial de hidrógeno fueron de 7.11, 6.93, 6.92, 7.04, 7.11, 7.02, 4.22, 3.73, 5.21, 2.99 y 2.88, respectivamente. Cabe señalar que Ávalos-Andrade *et al.* (2006) indicaron que valores altos de pH en *O. amyclaea* (6.30) son el resultado del proceso de maduración debido a una mayor transformación de ácidos en azúcares, lo que consecuentemente produjo el sabor dulce y bajos niveles de ácido cítrico. También Pinedo-Espinoza *et al.* (2010) reportaron valores de pH para el cultivar ‘Cristalina’ de 6.16, 6.30, 6.20, 5.96 y 6.06 a los 0, 8, 15, 20 y 30 dda, respectivamente. A su vez mencionan que se desconoce si el pH aumenta como consecuencia de los efectos del CO₂ sobre el metabolismo natural o si es una reacción directa del tejido vegetal para contrarrestar los efectos de acidificación ocasionados por el CO₂. Estos autores sugieren que las razones del incremento en el pH durante el almacenamiento podrían ser efecto de la disminución en la actividad

respiratoria, aumento en la fijación de CO₂ o debido a la presencia de una enzima menos activa que convierte el ácido málico en piruvato oxalacetato.

Después de 12 dda se observó que el cultivar ‘Rojo Pelón’ con pH de 7.29 fue estadísticamente diferente de ‘Amarilla Plátano’ (6.32), ‘Cascarón’ (5.70), ‘Chinchilla’ (4.43), ‘Coral’ (4.09), ‘Caidilla’ (4.53), ‘Cuaresmeño Blanco’ (2.76) y ‘Cuaresmeño’ (2.82). Pasado el día 15 nuevamente ‘Rojo Pelón’ con 7.52 revelo diferencias estadísticas con ‘Cascarón’ (6.49), ‘Nicolaita’ (5.99), ‘Caidilla’ (4.60), ‘Cuaresmeño Blanco’ (2.73) y ‘Cuaresmeño’ (2.91). Para el día 18 el cultivar ‘Rojo Pelón’ con un valor de pH de 7.11 nuevamente mostró diferencias significativas en relación a ‘Cascarón’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ con niveles de 6.23, 2.82 y 2.96, respectivamente. Finalmente a los 21 y 24 dda el cultivar ‘Rojo Pelón’ presentó diferencias estadísticas con ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’. Los niveles encontrados de pH fueron similares a lo señalado por Chavéz-Santoscoy *et al.* (2009) para las variedades de tuna ‘Gavia’, ‘Cardón’, ‘Amarillo’, Pelón, ‘Moradillo’, ‘Duraznillo Blanco’, ‘Duraznillo Rojo’ y ‘Tapón’ los cuales fueron de 4.85, 5.10, 4.94, 5.46, 5.44, 4.94, 4.27, 4.58 y 5.33, respectivamente. También coinciden con los mostrados por Chougui *et al.* (2013) para *O. ficus-indica* los cuales fueron determinados en un rango de 6.2 a 6.6 y a los encontrados por Sedki *et al.* (2013) para los ecotipos de ‘Aissa’, ‘Moussa’ y ‘Achefri’ significativamente altos en un rango de 6.34 a 6.37.

Como se puede observar los valores de pH para los cultivares de tuna y xocotuna fueron semejantes a diferencia de los de xoconostle que presentaron los niveles más bajos, esto puede ser de mucha importancia si tomamos en consideración que un pH alto, baja acidez y alto contenido de sólidos solubles totales hacen que la pulpa de frutos de tuna y

xocotuna sea un medio muy atractivo para el crecimiento de microorganismos (Chougui *et al.*, 2013).

Cuadro 13. Valores de pH de pulpa en frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.

CULTIVAR	DÍAS DE EVALUACIÓN								
	0	3	6	9	12	15	18	21	24
Tuna									
‘Amarilla Montesa’	7.14 a [†]	6.90 a	6.90 ab	7.11 a	7.04 ab	-	-	-	-
‘Amarilla Plátano’	6.59 a	6.57 a	6.76 abc	6.93 a	6.32 bc	6.77 abc	-	-	-
‘Reyna’	6.62 a	6.96 a	6.96 ab	6.92 ab	6.73 ab	6.74 abc	-	-	-
‘Cristalina’	6.96 a	6.86 a	7.00 a	7.04 a	7.17 ab	-	-	-	-
‘Rojo Pelón’	6.89 a	7.13 a	7.29 a	7.11 a	7.29 a	7.52 a	7.11 a	7.21 a	7.08 a
‘Liso Forrajero’	7.06 a	6.44 ab	7.24 a	7.02 a	7.19 ab	7.09 ab	-	-	-
Xocotuna									
‘Cascarón’	5.49 b	5.18 cd	5.99 c	6.42 bc	5.70 c	6.49 bc	6.23 b	-	-
‘Chinchilla’	4.97 b	4.49 d	4.29 de	4.22 e	4.43 d	-	-	-	-
‘Coral’	3.89 c	4.37 d	3.61 ef	3.73 e	4.09 d	-	-	-	-
‘Nicolaita’	6.64 a	6.39 ab	6.12 bc	6.41 c	6.38 abc	5.99 c	-	-	-
‘Caidilla’	5.07 b	5.61 bc	5.03 d	5.21 d	4.53 d	4.60 d	-	-	-
Xoconostle									
‘Cuaresmeño Blanco’	2.70 d	2.73 e	2.82 f	2.99 f	2.76 e	2.73 e	2.82 c	2.70 b	2.72 c
‘Cuaresmeño’	2.72 d	2.93 e	2.94 f	2.88 f	2.82 e	2.91 e	3.12 c	2.96 b	3.04 b
[†] DMSH	0.90	0.92	0.86	0.50	0.95	0.81	0.37	0.48	0.31

[†]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. ^{††}Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($P \leq 0.05$).

Potencial de hidrógeno (pH) de la cáscara

En relación al potencial de hidrógeno de la cáscara se encontró que al inicio de la evaluación (Cuadro 14) el cultivar ‘Amarilla Montesa’ (6.04) presentó diferencias estadísticas con ‘Amarilla Plátano’, ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’, ‘Coral’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ con niveles de 5.28, 3.79, 4.09, 4.21, 4.61, 3.82, 3.62 y 3.77, respectivamente. A su vez a los 6 dda se observaron diferencias significativas del cultivar ‘Amarilla Montesa’ (5.89) con ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’, ‘Coral’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ cuyos valores de pH fueron de 3.78, 4.14, 4.66, 5.14, 3.88, 3.76 y 4.08, respectivamente. Cabe señalar que

a los 6 dda se presentó un comportamiento similar al del comienzo de la evaluación. En otro estudio Cerezal y Duarte (2005) encontraron valores promedio de pH para cáscara de *O. ficus-indica* de 4.85, mientras que Guzmán-Maldonado *et al.* (2010) reportaron valores de 3 a 3.1 para xoconostle ‘Cuaresmeño’, resultados que concuerdan con lo obtenido en el presente estudio.

De igual forma a los 9 dda ‘Amarilla Montesa’ con valor de pH de 6.32 mostró diferencias estadísticas con ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Rojo Pelón’, ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’, ‘Coral’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ con valores de 5.67, 5.53, 5.68, 3.98, 3.95, 4.00, 4.71, 3.84, 4.07 y 3.94, respectivamente. Para el día 12 ‘Reyna’ con pH de 5.42 presentó diferencias significativas respecto de ‘Amarilla Montesa’, ‘Cristalina’, ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’, ‘Coral’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ con niveles de 6.05, 6.13, 3.69, 3.56, 4.24, 4.53, 3.93, 4.14 y 3.66, respectivamente. Estos resultados contrastan con los valores de pH obtenidos por Gurrieri *et al.* (2000) de 5.06, 5.27 y 5.14 para cultivares de tuna Siciliana de coloración roja, amarilla y blanca, respectivamente.

Posteriormente a los 15 dda ‘Rojo Pelón’ con pH de 5.94 fue estadísticamente diferente de ‘Reyna’ (5.39), ‘Cascarón’ (4.04), ‘Nicolaita’ (4.88), ‘Cuaresmeño Blanco’ (3.56) y ‘Cuaresmeño’ (4.35). A los 18 dda nuevamente el cultivar ‘Rojo Pelón’ (5.79) presentó diferencias estadísticas con ‘Cascarón’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ con valores de pH de 4.08, 4.10 y 4.15 respectivamente. A finalizar la evaluación (21 y 24 dda) el cultivar ‘Rojo Pelón’ exhibió diferencias estadísticas con ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’. De acuerdo con Gallegos-Vázquez *et al.* (2014) los valores de pH para los cultivares de xoconostle ‘Invierno’ y ‘Saneiro’ fueron de 4.3 y 3.1 semejantes a los encontrados en este estudio. Por otra parte, García-Pedraza *et al.* (2005) también

mostraron valores similares de pH para *O. duranguensis*, *O. joconostle* var Colorado, *O. joconostle* var xoconostle, *O. leucotricha*, *O. matudae* cv blanco y *O. matudae* cv. ‘Cuaremeño’ los cuales fueron de 3.3, 3.1, 3.2, 4.5, 2.9 y 3.1, respectivamente, afirmando que estos valores corresponden a frutos ácidos.

En general no se observó una clara diferenciación entre los cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle respecto a esta variable, ya que los valores encontrados fueron similares, sin embargo esta información puede ser interesante desde el punto de vista industrial si también se llega a considerar la cáscara para procesamiento a gran escala (Gurrieri *et al.*, 2000).

Cuadro 14. Valores de pH de cáscara en frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.

CULTIVAR	DÍAS DE EVALUACIÓN								
	0	3	6	9	12	15	18	21	24
Tuna									
‘Amarilla Montesa’	6.04 a [†]	5.89 a	6.11 a	6.32 a	6.05 a	-	-	-	-
‘Amarilla Plátano’	5.28 bc	5.47 ab	5.49 b	5.67 b	5.66 ab	5.62 ab	-	-	-
‘Reyna’	5.39 ab	5.38 ab	5.71 ab	5.53 b	5.42 b	5.39 bc	-	-	-
‘Cristalina’	5.91 ab	5.65 ab	5.76 ab	5.76 ab	6.13 a	-	-	-	-
‘Rojo Pelón’	5.77 ab	5.57 ab	5.57 ab	5.68 b	5.71 ab	5.94 a	5.79 a	5.79 a	5.67 a
‘Liso Forrajero’	5.93 ab	5.74 ab	5.65 ab	5.88 ab	5.80 ab	5.90 ab	-	-	-
Xocotuna									
‘Cascarón’	3.79 e	3.78 e	3.78 d	3.98 d	3.69 def	4.04 ef	4.08 b	-	-
‘Chinchilla’	4.09 de	4.14 de	4.05 d	3.95 d	3.56 f	-	-	-	-
‘Coral’	4.21 de	4.66 cd	3.98 d	4.00 d	4.24 cd	-	-	-	-
‘Nicolaita’	4.61 cd	5.14 bc	4.88 c	4.71 c	4.53 c	4.88 cd	-	-	-
‘Caidilla’	3.82 e	3.88 e	3.99 d	3.84 d	3.93 def	4.05 ef	-	-	-
Xoconostle									
‘Cuaremeño Blanco’	3.62 e	3.76 e	3.83 d	4.07 d	4.14 cde	3.56 f	4.10 b	3.56 c	4.08 b
‘Cuaremeño’	3.77 e	4.08 de	4.26 d	3.94 d	3.66 ef	4.35 de	4.15 b	4.32 b	4.03 b
[‡] DMSH	0.69	0.65	0.56	0.58	0.57	0.54	0.20	0.30	0.51

[†]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [‡]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($P \leq 0.05$).

Acidez titulable de la pulpa

En cuanto a la acidez titulable al comienzo del periodo de evaluación (Cuadro 15) el cultivar ‘Coral’ con un valor de 0.88 % presentó diferencias estadísticas con ‘Amarilla Montesa’ (0.04 %), ‘Amarilla Plátano’ (0.08 %), ‘Reyna’ (0.08 %), ‘Cristalina’ (0.07 %), ‘Rojo Pelón’ (0.04 %), ‘Liso Forrajero’ (0.04 %), ‘Cascarón’ (0.04 %), ‘Chinchilla’ (0.15 %), ‘Nicolaita’ (0.04 %), ‘Caidilla’ (0.15 %), ‘Cuaresmeño Blanco’ (1.96 %) y ‘Cuaresmeño’ (3.99 %). Para el día 3 ‘Cuaresmeño Blanco’ (2.08 %) fue significativamente diferente de ‘Amarilla Montesa’ (0.08 %), ‘Amarilla Plátano’ (0.08 %), ‘Reyna’ (0.08 %), ‘Cristalina’ (0.08 %), ‘Rojo Pelón’ (0.04 %), ‘Liso Forrajero’ (0.04 %), ‘Cascarón’ (0.04 %), ‘Chinchilla’ (0.14 %), ‘Coral’ (0.49 %), ‘Nicolaita’ (0.04 %), ‘Caidilla’ (0.10 %) y ‘Cuaresmeño’ (4.23 %). Los niveles de acidez titulable encontrados fueron parecidos a los reportados por Ávalos-Andrade *et al.* (2006) con valores promedio para las especies *O. amyclaea*, *O. oligacantha* y *O. matudae* de 0.07, 0.43 y 0.47 %, respectivamente. También coinciden con lo señalado por Piga (2004), Saénz y Sepúlveda (2001), y Saénz (2000) al mencionar que para frutos de pulpa verde el rango de acidez titulable es de 0.01 a 0.18 % y para frutos de pulpa púrpura de 0.03 a 0.04 %.

A los 6 dda el cultivar ‘Chinchilla’ con valor de acidez titulable de 0.37 % mostró diferencias estadísticas con ‘Amarilla Montesa’ (0.08 %), ‘Amarilla Plátano’ (0.08 %), ‘Reyna’ (0.08 %), ‘Cristalina’ (0.08 %), ‘Rojo Pelón’ (0.04 %), ‘Liso Forrajero’ (0.04 %), ‘Cascarón’ (0.04 %), ‘Coral’ (1.06 %), ‘Nicolaita’ (0.04 %), ‘Cuaresmeño Blanco’ (1.68 %) y ‘Cuaresmeño’ (1.98 %). Asimismo para el día 9 se formaron tres grupos estadísticamente diferentes, el primero integrado por los cultivares ‘Chinchilla’, y ‘Coral’ (0.56 y 0.87 %), el segundo conformado por ‘Cuaresmeño Blanco’ y

‘Cuaresmeño’ (1.86 y 1.96 %) y en el tercer grupo se encontró a ‘Amarilla Montesa’ (0.08 %), ‘Amarilla Plátano’ (0.08 %), ‘Reyna’ (0.08 %), ‘Cristalina’ (0.08 %), ‘Rojo Pelón’ (0.04 %), ‘Liso Forrajero’ (0.04 %), ‘Cascarón’ (0.04 %), ‘Nicolaita’ (0.04 %) y ‘Caidilla’ (0.11 %). Por su parte, Sedki *et al.* (2013) encontraron valores de acidez titulable de 0.04 a 0.07 % en los ecotipos ‘Hawara’, ‘Imimkorn’, ‘Achefri’, ‘Aissa’ y ‘Moussa’, y sostienen que este parámetro es inversamente proporcional al contenido de azúcar en el fruto. De igual forma Pinedo-Espinoza *et al.* (2010) reportaron valores de acidez titulable para el cultivar ‘Cristalina’ de 0.02 a 0.01 % a los 30 dda, y a su vez consideraron que los cambios en acidez pueden variar de acuerdo con la madurez y la temperatura de almacenamiento, cabe mencionar que los valores obtenidos por estos investigadores fueron menores a los mostrados en este estudio.

Posteriormente a los 12 dda el cultivar ‘Coral’ con 0.64 % tuvo diferencias significativas con ‘Amarilla Montesa’ (0.08 %), ‘Amarilla Plátano’ (0.08 %), ‘Reyna’ (0.08 %), ‘Cristalina’ (0.08 %), ‘Rojo Pelón’ (0.04 %), ‘Liso Forrajero’ (0.04 %), ‘Cascarón’ (0.04 %), ‘Chinchilla’ (0.21 %), ‘Nicolaita’ (0.04 %), ‘Caidilla’ (0.24 %), ‘Cuaresmeño Blanco’ (2.09 %) y ‘Cuaresmeño’ (4.08 %). También se observó que a los 15 dda ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ con valores de acidez titulable de 1.85 y 2.02 % fueron iguales y tuvieron diferencias estadísticas con ‘Amarilla Plátano’ (0.08 %), ‘Reyna’ (0.08 %), ‘Rojo Pelón’ (0.04 %), ‘Liso Forrajero’ (0.04 %), ‘Cascarón’ (0.04 %), ‘Nicolaita’ (0.04 %) y ‘Caidilla’ (0.19 %). En contraste, Stintzing *et al.* (2003) encontraron valores de acidez titulable para los cultivares ‘Bianca’, ‘Gialla’ y ‘Rossa’ de 0.5, 0.6 y 1.15 %, respectivamente, a su vez reportaron niveles de 3.4 y 3.3 % para *H. polyrhizus* e *H. undatus*. Los resultados obtenidos en este estudio también pueden ser comparados con los reportados por Osuna *et al.* (2011) para pitahaya al mencionar que

el porcentaje de ácido málico de los frutos cosechados en madurez inicial, media y completa fue de 0.92, 0.76 y 0.63 % al inicio del almacenamiento y concluyeron con valores de 0.18, 0.14 y 0.10 %, respectivamente. En este sentido la disminución de los ácidos orgánicos durante la maduración de los frutos se debió a que fueron utilizados como sustrato en la respiración (Wills *et al.*, 2007).

A los 18 dda ‘Rojo Pelón’ y ‘Liso Forrajero’ fueron iguales con niveles de acidez titulable de 0.04 %, y con diferencias estadísticas respecto a ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ con valores de 2.05 y 1.86 % que también fueron iguales entre sí. A los 21 y 24 dda ‘Rojo Pelón’ mostró diferencias significativas con ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’. En otro estudio similar Díaz-Medina *et al.* (2007) mostraron valores de acidez titulable de 1.23 % para *O. dillenii*, y para *O. ficus-indica* de pulpa verde de 0.072 % y de pulpa naranja de 0.086 %. Cabe señalar que el valor promedio de acidez titulable obtenido por Gurrieri *et al.* (2000) de 0.02 % para *O. ficus-indica* fue menor a lo obtenido en este trabajo y similar a lo señalado por Cerezal y Duarte (2005) con 0.07 %. Los valores de acidez titulable encontrados no sugieren una clara diferenciación entre los cultivares de tuna y xocotuna, pero sí con los de xoconostle que durante todo el periodo de evaluación exhibieron niveles más altos.

Cuadro 15. Valores de acidez titulable (% de ácido cítrico) de pulpa en frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.

CULTIVAR	DÍAS DE EVALUACIÓN								
	0	3	6	9	12	15	18	21	24
Tuna									
‘Amarilla Montesa’	0.04 d [†]	0.08 c	0.08 e	0.08 c	0.08 d	-	-	-	-
‘Amarilla Plátano’	0.08 d	0.08 c	0.08 e	0.08 c	0.08 d	0.08 b	-	-	-
‘Reyna’	0.08 d	0.08 c	0.08 e	0.08 c	0.08 d	0.08 b	-	-	-
‘Cristalina’	0.07 d	0.08 c	0.08 e	0.08 c	0.08 d	-	-	-	-
‘Rojo Pelón’	0.04 d	0.04 c	0.04 e	0.04 c	0.04 d	0.04 b	0.04 b	0.04 c	0.04 b
‘Liso Forrajero’	0.04 d	0.04 c	0.04 e	0.04 c	0.04 d	0.04 b	-	-	-
Xocotuna									
‘Cascarón’	0.04 d	0.04 c	0.04 e	0.04 c	0.04 d	0.04 b	0.04 b	-	-
‘Chinchilla’	0.15 d	0.14 c	0.37 d	0.56 b	0.21 d	-	-	-	-
‘Coral’	0.88 c	0.49 c	1.06 c	0.87 b	0.64 c	-	-	-	-
‘Nicolaita’	0.04 d	0.04 c	0.04 e	0.04 c	0.04 d	0.04 b	-	-	-
‘Caidilla’	0.15 d	0.10 c	0.13 de	0.11 c	0.24 d	0.19 b	-	-	-
Xoconostle									
‘Cuaresmeño Blanco’	1.96 b	2.08 b	1.68 b	1.86 a	2.09 b	1.85 a	2.05 a	2.16 b	2.33 a
‘Cuaresmeño’	3.99 a	4.23 a	1.98 a	1.96 a	4.08 a	2.02 a	1.86 a	3.35 a	2.41 a
[†] DMSH	0.36	0.49	0.29	0.31	0.40	0.22	0.40	0.67	0.47

[†]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [†]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($P \leq 0.05$).

Acidez titulable de la cáscara

Al comienzo del periodo de evaluación (Cuadro 16) para este parámetro se encontró que el cultivar ‘Cascarón’ con 2.44 % de ácido cítrico tuvo diferencias significativas con ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Chinchilla’, ‘Nicolaita’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ cuyos valores fueron de 0.22, 0.39, 0.35, 0.28, 0.23, 0.15, 1.42, 0.63, 0.78 y 1.35 %, respectivamente. Para el día 3 se encontró que el cultivar ‘Caidilla’ (2.12 %) presentó diferencias estadísticas respecto de ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Coral’, ‘Nicolaita’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ con niveles de acidez titulable de 0.26, 0.27, 0.50, 0.35, 0.24, 0.21, 0.89, 0.39, 0.77 y 1.17 %, respectivamente. A los 6 dda el cultivar ‘Amarilla Montesa’ (0.16

%) fue estadísticamente diferente de ‘Cascarón’ (1.85 %), ‘Chinchilla’ (1.26 %), ‘Coral’ (2.18 %), ‘Caidilla’ (1.71 %) y ‘Cuaremeño Blanco’ (0.66 %). Considerando los resultados obtenidos, Cereza y Duarte (2005) determinaron acidez titulable en cáscara de *O. ficus-indica* y encontraron valores promedio de 0.18 % de ácido cítrico, similares a los reportados en este estudio.

A su vez a los 9 dda el cultivar ‘Chinchilla’ con un valor de acidez titulable de 1.59 % presentó diferencias estadísticas con ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Nicolaita’, ‘Cuaremeño Blanco’ y ‘Cuaremeño’ con niveles de 0.23, 0.32, 0.50, 0.23, 0.26, 0.23, 0.63, 0.51 y 0.53 %, respectivamente. Posteriormente a los 12 dda ‘Cristalina’ y ‘Rojo Pelón’ (0.22 y 0.20 %) fueron iguales, pero estadísticamente diferentes de ‘Cascarón’ (2.00 %), ‘Chinchilla’ (1.82 %), ‘Coral’ (2.07 %), ‘Nicolaita’ (0.98 %), ‘Caidilla’ (1.85 %) y ‘Cuaremeño’ (1.23 %). Para el día 15 los cultivares ‘Cascarón’ y ‘Caidilla’ (1.58 y 2.02 %) no mostraron diferencias estadísticas entre sí y presentaron diferencias significativas en relación a ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Nicolaita’, ‘Cuaremeño Blanco’ y ‘Cuaremeño’ con valores de 0.22, 0.45, 0.26, 0.20, 0.47, 0.81 y 0.42 %, respectivamente. Cabe mencionar que Guzmán-Maldonado *et al.* (2010) encontraron valores de acidez titulable de 0.13 a 0.14 % para xoconostle ‘Cuaremeño’ y consideraron que estos resultados son un criterio adecuado para la cosecha en un estado óptimo de maduración, aunque estos valores están por debajo de los obtenidos en el presente estudio.

A los 18 dda ‘Rojo Pelón’ con valor de 0.22 % de ácido cítrico presentó diferencias estadísticas con ‘Cascarón’ (1.42 %), ‘Cuaremeño Blanco’ (0.42 %) y ‘Cuaremeño’ (0.45 %). Al llegar al día 21 ‘Cuaremeño Blanco’ (0.91 %) fue estadísticamente

diferente de ‘Rojo Pelón’ y ‘Cuaresmeño’ con valores de acidez titulable de 0.25 y 0.44 %. Finalmente a los 24 dda ‘Cuaresmeño’ con 0.89 % mostró diferencias estadísticas con ‘Rojo Pelón’ (0.20 %) y ‘Cuaresmeño Blanco’ (0.51 %). Por su parte Gurrieri *et al.* (2000) encontraron niveles de acidez titulable de 0.11 a 0.14 % para los cultivares de *O. ficus indica* de coloración roja, amarilla y blanca, sus resultados no coinciden con los aquí encontrados. También se observó que el contenido de acidez titulable en la cáscara fue mucho más alto que en la pulpa y que éste tiende a disminuir durante la maduración del fruto y por tanto se acerca a la zona de productos ácidos (Cantwell, 1995; Cerezal y Duarte, 2005). El porcentaje de acidez titulable en cáscara fue más alto en los cultivares de xocotuna, seguido de los de xoconostle y tuna.

Cuadro 16. Valores de acidez titulable (% de ácido cítrico) de cáscara en frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.

CULTIVAR	DÍAS DE EVALUACIÓN								
	0	3	6	9	12	15	18	21	24
Tuna									
‘Amarilla Montesa’	0.22 e [†]	0.26 e	0.16 d	0.23 c	0.28 de	-	-	-	-
‘Amarilla Plátano’	0.39 e	0.27 e	0.32 cd	0.32 c	0.33 de	0.22 b	-	-	-
‘Reyna’	0.35 e	0.50 de	0.33 cd	0.50 c	0.53 cde	0.45 b	-	-	-
‘Cristalina’	0.28 e	0.35 e	0.24 cd	0.23 c	0.22 e	-	-	-	-
‘Rojo Pelón’	0.23 e	0.24 e	0.26 cd	0.26 c	0.20 e	0.26 b	0.22 c	0.25 b	0.20 b
‘Liso Forrajero’	0.15 e	0.21 e	0.24 cd	0.23 c	0.26 de	0.20 b	-	-	-
Xocotuna									
‘Cascarón’	2.44 a	1.74 ab	1.85 a	1.74 ab	2.00 a	1.58 a	1.42 a	-	-
‘Chinchilla’	1.42 bcd	1.46 abc	1.26 b	1.59 b	1.82 ab	-	-	-	-
‘Coral’	2.19 ab	0.89 cde	2.18 a	2.00 ab	2.07 a	-	-	-	-
‘Nicolaita’	0.63 de	0.39 e	0.49 cd	0.63 c	0.98 cd	0.47 b	-	-	-
‘Caidilla’	1.66 abc	2.12 a	1.71 ab	2.25 a	1.85 ab	2.02 a	-	-	-
Xoconostle									
‘Cuaresmeño Blanco’	0.78 de	0.77 cde	0.66 c	0.51 c	0.61 cde	0.81 b	0.42 b	0.91 a	0.51 b
‘Cuaresmeño’	1.35 cd	1.17 bcd	0.40 cd	0.53 c	1.23 bc	0.42 b	0.45 b	0.44 b	0.89 a
[†] DMSH	0.82	0.74	0.48	0.59	0.73	0.64	0.18	0.30	0.36

[†]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [‡]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($P \leq 0.05$).

2.6 CONCLUSIONES

Los cultivares de tuna y xocotuna presentaron una menor pérdida de peso del fruto en comparación con los de xoconostle.

Los parámetros de color, luminosidad y croma de pulpa y cáscara fueron semejantes en los cultivares evaluados, mientras que el ángulo de tono de pulpa y cáscara de los cultivares de tuna y xoconostle fueron mayores que los de xocotuna debido a las características típicas de cada uno de éstos. El grosor de la cáscara fue diferente entre los cultivares evaluados.

Los niveles de firmeza indicaron que ésta fue mayor en los cultivares de xoconostle y similar entre los de tuna y xocotuna, tanto en la pulpa como en la cáscara.

Los sólidos solubles totales, pH y acidez titulable de la pulpa tuvieron valores similares entre los cultivares de tuna y xocotuna. Los niveles de pH y acidez titulable de la cáscara fueron semejantes entre cultivares.

2.7 LITERATURA CITADA

Aguilar-Sánchez, L., Ma. T. Martínez-Damián, A.F. Barrientos-Priego, N. Aguilar-Gallegos y C. Gallegos-Vázquez. 2007. Potencial de oscurecimiento enzimático de variedades de nopalitos. J. PACD 9: 165-184.

Álvarez, R.A. and C.B. Peña-Valdivia. 2009. Structural polysaccharides in xoconostle (*Opuntia matudae*) fruits with different ripening stages. J. PACD 11: 26-44.

AOAC. 2003. Official Methods of Analysis of the Association Analytical Chemistry. 17 ed. Published for the Association of Official Analytical Chemists Inc. Arlington, VA. USA. 1006 p.

- Ávalos-Andrade, A., Y. Ramírez-Córdova, Ma. A. Goytia-Jiménez, A.F. Barrientos-Priego y C. Saucedo-Veloz. 2006. Etileno en la abscisión del fruto de tres especies del género *Opuntia*. Revista Chapingo Serie Horticultura 12(1): 127-133.
- Ávila, H.G.R., J.A.R. Cuspoca, G. Fischer, G.A.M. Ligarreto y M.C. de C. Quicazán. 2007. Caracterización fisicoquímica y organoléptica del fruto de agraz (*Vaccinium meridionale* Swartz) almacenado a 2 °C. Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín 60: 4179-4193.
- Barrera, E. and P.S. Nobel. 2004. Carbon and water relations for developing fruits of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller, including effects of drought and gibberellic acid. Journal of Experimental Botany 55(397): 719-729.
- Bendhifi, M., M. Trifi, S. Souid and L. Zourgui. 2013. Chemical characterization of *Opuntia spp.* fruits in Tunisia. Acta Hort. 995: 279-283.
- Ben-Yehoshua, S. and V. Rodov. 2003. Transpiration and water stress. In: Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables. Bartz, J. y Brecht, J.K. (eds.). Marcel Decker, Inc., New York. USA. pp. 1-49.
- Cantwell, M. 1995. Postharvest management of fruits and vegetables Stems. In: Agroecology, Cultivation and Uses of Cactus Pear. Barbera, G., P. Inglese, E. Pimienta-Barrios (eds.). FAO, Rome, Italy. Paper 132:120-143.
- Centurión, A.R.Y., S.P. Solís, C.V. Saucedo, R.S. Báez y E.D. Sauri. 2008. Cambios físicos, químicos y sensoriales en frutos de pitahaya (*Hilocereus undatus*) durante su desarrollo. Revista Fitotecnia Mexicana 31(1): 1-5.

- Cerezal, P. y G. Duarte. 2005. Algunas características de tunas (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller) cosechadas en el altiplano andino de la 2da Región de Chile. J. PACD 7: 34-60.
- Chavéz-Santoscoy, R.A., J.A. Gutiérrez-Urbe and S.O. Serna-Saldívar. 2009. Phenolic composition, antioxidant capacity and *In Vitro* cancer cell cytotoxicity of nine prickly pear (*Opuntia spp.*) juices. Plant foods Hum Nutr 64: 146-152.
- Chougui, N., H. Louaileche, S. Mohedeb, Y. Mouloudj, Y. Hammoui and A. Tamendjari. 2013. Physico-chemical characterization and antioxidant activity of some *Opuntia ficus-indica* varieties grown in North Algeria. African Journal of Biotechnology 12(3): 299-307.
- COMENTUNA, Red Nopal y CONABIO. 2008. Nopales, tunas y Xoconostles. Consejo Mexicano de Nopal y Tuna, A.C. Red Nopal. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Mapa, 1ª edición. México. D. F.
- Contreras, L. E., O.J. Jaimez, O.A. Castañeda, M.J. Añorve and R.S. ‘Villanueva’. 2011. Sensory profile and chemical composition of *Opuntia joconostle* from Hidalgo, México. Journal of Stored Products and Postharvest Research 2(2): 37-39.
- Coria-Cayupán, Y., Ma. J. Ochoa and M.A. Nazareno. 2011. Health-promoting substances and antioxidant properties of *Opuntia* sp. fruits. Changes in bioactive-compound contents during ripening process. Food Chemistry 126: 514-519.
- Corral-Aguayo, R.D., E.M. Yahia, A. Carrillo-López and G. González-Aguilar. 2008. Correlation between some nutritional components and the total antioxidant capacity measured with six different assays in eight horticultural crops. J. Agric. Food Chem. 56: 10498-10504.

- Corrales, J.C., F.M. Franco and J.C. Rodriguez. 2006. Fruit characterization of twenty accessions of cactus pear (*Opuntia spp.*) II. Changes in post-harvest. Acta Hort. 728: 205-209.
- Corrales, J.C. y J.L.S. Hernández. 2005. Cambios en la calidad postcosecha de variedades de tuna con y sin semilla. Rev. Fitotec. Mex. 28(1): 9-16.
- Corrales-García, J. and E. Canche-Canche. 2008. Physical and physiological changes in low-temperature-stored pitahaya fruit (*Hylocereus undatus*). J. PACD 10: 108-119.
- De Belie, N., S. Schotte, P. Coucke and J. De Baerdemaeker. 2000. Development of an automated monitoring device to quantify changes in firmness of apples during storage. Postharvest Biology and Technology 18: 1-8.
- Díaz-Medina, E.M., E.M. Rodríguez-Rodríguez and C. Díaz-Romero. 2007. Chemical characterization of *Opuntia dillenii* and *Opuntia ficus indica* fruits. Food Chemistry 103: 38-45.
- Esquivel, P. 2004. Los frutos de las cactáceas y su potencial como materia prima. Agronomía mesoamericana 15(2): 215-219.
- Gallegos-Vázquez, C., A.F. Barrientos-Priego, J.A. Reyes-Agüero, C.A. Núñez-Colín and C. Mondragón-Jacobo. 2011. Clusters of commercial varieties of cactus pear and xoconostle using UPOV morphological traits. J. PACD 13: 10-22.
- Gallegos-Vázquez, C., L. Scheinvar, C.A. Núñez-Colín and C. Mondragón-Jacobo. 2012. Morphological diversity of xoconostles (*Opuntia spp.*) or acidic cactus pears: a Mexican contribution to functional foods. Fruits 67(2): 109-120.
- Gallegos-Vázquez, C., L. Scheinvar, H. Silos-Espino, A.D. Fuentes-Hernández, C.R. Martínez-González, G. Olalde-Parra y N.A. Gallegos-Luevano. 2014. 'Saneiro':

- nueva variedad de xoconostle para la región centro norte de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 5(6): 1125-1131.
- Gallegos-Vázquez, C., L. Scheinvar, H. Silos-Espino, A.D. Fuentes-Hernández, C.A. Núñez-Colín y G. Olalde-Parra. 2014. 'Invierno', cultivar de xoconostle para la región central de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 7: 1349-1354.
- Gallegos-Vázquez, C., R.D. Valdez-Cepeda, M. Barrón-Macías, A.F. Barrientos-Priego, J. Andrés-Agustín y R. Nieto-Ángel. 2006. Caracterización morfológica de 40 cultivares de nopal de uso como hortaliza del banco de germoplasma del CRUCEN-UACH. Revista Chapingo. Serie Horticultura 12: 41-49.
- García-Pedraza, L.G., J.A. Reyes-Agüero, J.R. Aguirre-Rivera and J.M. Pinos-Rodríguez. 2005. Preliminary nutritional and organoleptic assessment of xoconostle fruit (*Opuntia spp.*) as a condiment or appetizer. Ital. J. Food Sci. 3(17): 333-340.
- Gurrieri, S., L. Miceli, C.M. Lanza, F. Tomaselli, R.P. Bonomo and E. Rizzarelli. 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.
- Guzmán-Maldonado, S.H., A.L. Morales-Montelongo, C. Mondragón-Jacobo, G. Herrera-Hernández, F. Guevara-Lara and R. Reynoso-Camacho. 2010. Physicochemical, nutritional, and functional characterization of fruits xoconostle (*Opuntia matudae*) pears from Central-México region. Journal of Food Science 75(6): 485-492.
- Hernández-Pérez, T., A. Carrillo-López, F. Guevara-Lara, A. Cruz-Hernández and O. Paredes-López. 2005. Biochemical and nutritional characterization of three pear

- species with different ripening behavior. *Plants Foods for Human Nutrition* 60: 195-200.
- Kader, A.A. 2007. Biología y tecnología postcosecha: un panorama. *In: Tecnología postcosecha de cultivos hortofrutícolas*. Kader, A.A. (Ed.). 3° ed. Universidad de California, División de Agricultura y Recursos Naturales. Davis, CA. pp. 43-53.
- Kader, A.A., N.F. Sommer y M.L. Arpaia. 2007. Sistemas de manejo postcosecha: frutas tropicales. *In: Tecnología postcosecha de cultivos hortofrutícolas*. Kader, A.A. (Ed.). 3° ed. Universidad de California, División de Agricultura y Recursos Naturales. Davis, CA. pp. 431-445.
- Kuti, J.O. 2004. Antioxidant compounds from four *Opuntia* cactus pear fruit varieties. *Food Chemistry* 85: 527-533.
- Lara, I., B. Belge and L.F. Goulao. 2014. The fruit cuticle as a modulator of postharvest quality. *Postharvest Biology and Technology* 87: 103-112.
- Magaña, W., M.I. Balbín, J. Corrales, A. Rodríguez, C. Saucedo, E. Cañizares y E. Sauri. 2004. Efecto de la frigoconservación en el comportamiento fisiológico de frutas de pitahaya (*Hilocereus undatus* Haworth). *Cultivos Tropicales* 25(4): 33-39.
- Magaña, W.B., E.D. Sauri, J.G. Corrales y C.V. Saucedo. 2013. Variaciones bioquímicas-fisiológicas y físicas de las frutas de pitahaya (*Hylocereus undatus*) almacenadas en ambiente natural. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 14(1): 21-30.
- Majure, L.C., R. Puente, M.P. Griffith, W.S. Judd, P.S. Soltis and D.E. Soltis. 2012. Phylogeny of *Opuntia* s.s. (Cactaceae): Clade delination, geographic origins, and reticulate evolution. *American Journal of Botany* 99(5): 847-864.

- Martínez-Bolaños, M., D. Nieto-Ángel, D. Téliz-Ortiz, J. Rodríguez-Alcazar, Ma. T. Martínez-Damián, H. ‘Vaquera’-Huerta y O. Carrillo-Mendoza. 2008. Comparación cualitativa de fresas (*Fragaria x anassa* Duch.) de cultivares mexicanos y estadounidenses. Revista Chapingo Serie Horticultura 14(2): 113-119.
- Méndez-Gallegos, S.J. y J. García-Herrera. 2006. La tuna: producción y diversidad. CONABIO. Biodiversitas 68:1-5.
- Mercado, J., M. López, G. Martínez y M. Arias. 2008. Estudio de las propiedades reológicas de la tuna en fresco. IX Congreso de Ciencia de los Alimentos y V Foro de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Guanajuato, Gto México. Mayo 31.
- Mercado, J., M. López, G. Martínez, J. Sarahí y S. Arévalo. 2007. Estudio de las propiedades fisicoquímicas de las variedades de tuna ‘Rojo Pelón’ (*Opuntia ficus-indica*), morada, ‘Reina’ (*Opuntia amyclea*) y xoconostle (*Opuntia matudae* Scheinvar) bajo almacenamiento refrigerado. IX Congreso de Ciencia de los Alimentos y V Foro de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Guanajuato, Gto. México, Mayo 31.
- Moussa-Ayoub, T.E., S.K. El-Samahy, S. Rohn and L.W. Kroh. 2011. Flavonols, betacyanins content and antioxidant activity of cactus *Opuntia macrorhiza* fruits. Food Research International 44: 2169-2174.
- Ochoa, C.E. y J.A. Guerrero. 2012. Efecto del almacenamiento a diferentes temperaturas sobre la calidad de tuna roja (*Opuntia ficus indica* (L.) Miller). Información Tecnológica 23 (1): 117-128.
- Ochoa-Velasco, C. y J.A. Guerrero-Beltrán. 2013. Efecto de la temperatura de almacenamiento sobre las características de calidad de tuna blanca ‘Villanueva’

- (*Opuntia albicarpa*). Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha. 14: 149-161.
- Osuna, T.E., Ma. E.Z. Ibarra, Ma. D. R. Muy, J.B.T. Valdez, M.R. Villarreal y S.V. Hernández. 2011. Calidad postcosecha de frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haw.) cosechados en tres estados de madurez. Rev. Fitotec. Mex. 34(1): 63-72.
- Pathare, P.B., U.O. Linus and F.A. Al-Julanda. 2013. Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A review. Food Bioprocess Technol 6: 36-60.
- Pérez, A.L., C.V. Saucedo, Ma. de L.G. Arévalo y A. L. Muratalla. 2004. Efecto del grado de madurez en la calidad y vida postcosecha de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.). Revista Fitotecnia Mexicana 27(2): 133-139.
- Piga, A. 2004. Cactus pear: A fruit of nutraceutical and functional importance. J. PACD 6: 9-22.
- Pimienta B., E. 1990. El nopal tunero. Universidad de Guadalajara. Guadalajara Jalisco, Méx. 235 p.
- Pinedo-Espinoza, J.M., A. Franco-Bañuelos y A.D. Hernández-Fuentes. 2010. Comportamiento poscosecha de cultivares de tuna por efecto del manejo del huerto y temperatura de frigoconservación. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha 11(1): 43-58.
- Pinzón, I.M. del P., G. Fischer y G. Corredor. 2007. Determinación de los estados de madurez del fruto de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims.). Agronomía Colombiana 25(1): 83-95.
- Rodríguez-Félix, A., M.I. González-Salas, H. Soto-Váldez and M.I. Silveira-Gramont. 1992. Effects of postharvest treatments on the quality of "tuna" during storage.

- Proc. 3rd Annual Texas Prickly Pear Conference, Texas Prickly Pear Council, McAllen, Tx. pp. 9-21.
- Saénz, C. 2000. Processing technologies: an alternative for cactus pear (*Opuntia spp.*) fruits and cladodes. *Journal of Arid Environments* 46: 209-225.
- Saénz, C. and E. Sepúlveda. 2001. Cactus-pear juices. *J. PACD* 4: 3-10.
- Scheinvar, L. 2011. Estado del conocimiento de las especies del nopal (*Opuntia spp.*) productoras de xoconostles silvestres y cultivadas. Instituto de Biología UNAM, CONABIO. México, D.F. 34 p.
- Sedki, M., A. Taoufiq, A.E. Mousadik, M. Barkaoui and E.E. Mzouri. 2013. Biophysical and biochemical characterization of cactus pear fruit (*Opuntia spp.*) cultivars originating from South-West Morocco. *Acta Hort.* 995: 83-92.
- Souci, S.W., W. Frachmann and H. Kraut. 2008. Food composition and nutrition, tables. 7° ed. Medpharm Scientific Publisher. Taylor y Francis, CRC Press. 1300 p.
- Statistical Analysis System. 2002. SAS/STAT users guide: Statics, Ver. 9.00. SAS Institute Inc. Cary, North Caroline, USA, 1503 p.
- Stintzing, F.C., A. Schieber and R. Carle. 2003. Evaluation of colour properties and chemical quality parameters of cactus juices. *Eur Food Res Technol* 216: 303-311.
- Varela-Gámez, Y., A.K. Caldera-Arellano, J.A. Zegbe, A. Serna-Pérez y J. Mena-Covarrubias. 2014. El riego en nopal influye en el almacenamiento y acondicionamiento de la tuna. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5(8): 1377-1390.

- Wills, R., B. McGlasson and D. Graham. 2007. Postharvest: An introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals. University of New South Wales Press (UNSW Press). 5^o ed. 227 p.
- Yahia, E.M. and C. Mondragón-Jacobo. 2011. Nutritional components and anti-oxidant capacity of ten cultivars and lines of cactus pear fruit (*Opuntia spp.*). Food Research International 44: 2311-2318.

3. COMPUESTOS BIOACTIVOS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE XOCOTUNA, TUNA Y XOCONOSTLE EN POSTCOSECHA

3.1 RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el contenido de algunos compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante de xocotuna en comparación con tuna y xoconostle. Las determinaciones se realizaron a partir de frutos frescos cosechados en madurez fisiológica en los meses de junio, agosto y octubre del año 2013. La evaluación comprendió 24 días en almacenamiento a temperatura ambiente (22 °C). Cada 3 días se determinaron los parámetros: capacidad antioxidante, fenoles totales, vitamina C, betalaínas, clorofila total y carotenos, tanto de pulpa como de cáscara. Se encontró que en pulpa los cultivares de xoconostle y xocotuna tuvieron mayor capacidad antioxidante con valores que fueron de 0.53 a 1.04 mg VCEAC g⁻¹; también se observó que el contenido de fenoles totales fue más alto en la cáscara. En relación al contenido de vitamina C, el cultivar ‘Cuaresmeño’ destacó con 125.22 mg 100 g⁻¹ a los 15 días, mientras que ‘Amarilla Montesa’ presentó el valor más bajo con 2.34 mg 100 g⁻¹ a los 12 días. El contenido de betalaínas varió entre cultivares debido al color característico de éstos, sin embargo las concentraciones más altas se encontraron en los frutos de xocotuna. Asimismo, la clorofila total y carotenos sólo se determinaron en frutos con pulpa o cáscara de coloración naranja, amarilla o verde claro.

Palabras clave: xocotuna, capacidad antioxidante, vitamina C, betalaínas.

3.2 ABSTRACT

This study aimed to assess the content of some bioactive compounds and antioxidant capacity of xocotuna compared to prickly pear and xoconostle. Measurements were made from fresh fruits harvested at physiological maturity in June, August and October, 2013. The evaluation included 24 days in storage at room temperature (22 ° C). Every 3 days parameters were determined: antioxidant activity, total phenolics, vitamin C, betalains, total chlorophyll and carotenes, both in pulp and peel. We found that in pulp cultivars of xoconostle and xocotunas had higher antioxidant capacity with values that were 0.53 to 1.04 mg VCEAC g⁻¹; also total phenol content was higher in the shell. Regarding the content of vitamin C ‘Cuatesmeño’ highlighted with 125.22 mg 100 g⁻¹ at 15 days, while ‘Amarilla Montesa’ showed the lowest value with 2.34 mg 100 g⁻¹ at 12 days. Betalains content varied among cultivars due to the according to their color; however, the highest concentrations were found in xocotuna fruits. Total chlorophyll and carotenoids in fruits were only determined in pulp or peel of orange, yellow or green light fruits.

Keywords: xocotuna, antioxidant capacity, vitamin C, betalains.

3.3 INTRODUCCIÓN

La familia de las cactáceas es un grupo de plantas que en México se encuentra ampliamente representado. Rzedowski (1991) asume que biogeográficamente hablando, el límite Norte de México comprende el sur de los Estados Unidos de América (Megaméxico I), unidad fitogeográfica que contiene el mayor índice de endemismos de la familia Cactaceae. Según Hernández y Godínez (1994), en esta región hay un 73 % de endemismos a nivel genérico y un 78 % a nivel específico.

La importancia de las cactáceas en general y del género *Opuntia* en particular, es debida a la gran diversidad que existe en el país y la gama de usos que se le ha dado desde la época prehispánica, donde más de 40 especies silvestres y domesticadas son utilizadas en la medicina, la alimentación humana y animal; como tal *Opuntia* es un género complejo que incluye especies usadas para el consumo de cladodios tiernos, conocidos como “nopalitos”, obtenidos principalmente de *O. ficus-indica*, o por sus frutos (muchas especies silvestres y domesticadas), llamados tunas y xoconostles (Gallegos-Vázquez *et al.*, 2011; Bravo y Scheinvar, 1999; Hegwood, 1990).

La mayoría de las especies producen frutos de sabor dulce denominadas tunas, mientras que una minoría produce frutos de sabor ácido, los cuales son conocidos como xoconostles. Como alimento funcional los frutos y los cladodios son una fuente importante de fibra, hidrocoloides (mucílagos), pigmentos (betalaínas y carotenoides), Ca, K y vitamina C; compuestos muy apreciados para una dieta saludable y como ingredientes para preparar nuevos alimentos, lo que hacen de estos un producto de alta calidad nutricional (Bravo-Hollis, 1978; Sáenz, 2006; Gallegos-Vázquez y Mondragón-Jacobo, 2011;).

En la actualidad el género *Opuntia* es muy importante en nuestro país como recurso fitogenético debido a la amplia variabilidad existente y a las características intrínsecas de éste, a su vez se presume que el género como tal aún se encuentra en proceso de diferenciación. Asimismo, en los últimos años se ha incrementado el interés debido a sus propiedades nutricionales y funcionales (Reyes-Agüero *et al.*, 2005). En este sentido Scheinvar y Manzanero (2009) han descrito una nueva especie de *Opuntia* (L.) Miller (*Cactaceae*) denominada por los campesinos como xoco-tuna indicando que se trata de una forma intermedia entre tuna y xoconostle, la cual se caracteriza por tener las paredes de los frutos y los funículos semi-secos, de sabor agridulce, nunca comidos por los pájaros, que cuando maduran, quedan adheridos a los cladodios hasta por más de un año, tal como ocurre con los xoconostles. A pesar de que las xocotunas son un recurso fitogenético con gran potencial, a la fecha existen pocos estudios que las caractericen como alimento funcional, por tanto el objetivo de este trabajo fue estudiar el contenido de algunos compuestos bioactivos y el potencial antioxidante entre xocotuna, tuna y xoconostle en postcosecha.

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Se utilizaron frutos frescos de xocotuna, tuna y xoconostle (Cuadro 1) en madurez fisiológica de acuerdo con los parámetros visuales comerciales usados regionalmente de tamaño y llenado del fruto, uniformidad e intensidad de color característico para cada cultivar, así como la ausencia de defectos y pudriciones (Cantwell, 1995). Las determinaciones experimentales se realizaron a partir de frutos cosechados en los meses

de junio, agosto y octubre del año 2013. El material vegetal se obtuvo de El Orito, Zacatecas, México.

Cuadro 1. Material vegetal utilizado.

Clave*DNO	Variante	Nombre científico
Tuna		
O-024	‘Amarilla Montesa’	<i>O. megacantha</i> Salm-Dick
O-089	‘Amarilla Plátano’	<i>O. megacantha</i> Salm-Dick
O-110	‘Reyna’	<i>Opuntia albicarpa</i> Scheinvar
O-015	‘Cristalina’	<i>Opuntia albicarpa</i> Scheinvar
O-050	‘Rojo Pelón’	<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.
O-027	‘Liso Forrajero’	<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.
Xocotuna		
O-076	‘Cascarón’	<i>O. chavena</i> Griffiths
O-239	‘Chinchilla’	<i>O. streptacantha</i> Lem.
O-291	‘Coral’	<i>O. affinis lindheimeri</i>
O-294	‘Nicolaita’	<i>Opuntia</i> sp.
O-232	‘Caidilla’	<i>Opuntia</i> sp.
Xoconostle		
O-301	‘Cuaresmeño Blanco’	<i>O. matudae</i> Scheinvar
O-190	‘Cuaresmeño’	<i>O. matudae</i> Scheinvar

*Depositorio Nacional de Opuntia. El Orito, Zacatecas, México.

Diseño experimental

El diseño experimental fue completamente al azar, con cuatro repeticiones. Se consideró como unidad experimental a un fruto. La evaluación comprendió 24 días de almacenamiento (dda) de fruto en condiciones de temperatura ambiente, las determinaciones fueron realizadas cada 3 días a partir del día cero de almacenamiento.

Caracteres evaluados:

Capacidad antioxidante

Se determinó de acuerdo al método ABTS [2,2’azinobis (3-etilbenzotiazolin-6-ácido sulfónico)] propuesto por Rice-Evans *et al.* (1997) y modificado por Ozgen *et al.* (2006). Una solución de ABTS (7 mM) con persulfato de potasio se reservó en oscuridad durante 24 h a temperatura ambiente; pasado ese tiempo la solución se diluyó con amortiguador acetato de sodio (pH 4.5) a una absorbancia de 0.700 nm $\pm$ 0.01 en un

espectrofotómetro calibrado a 734 nm. El ensayo se realizó en las muestras de pulpa o cáscara con 3.9 mL de solución ABTS y 100 μ L de extracto etanólico (0.1 g de muestra fresca en 5 mL de etanol, homogeneizados con 24 h de reposo), después de un periodo de 2 h se realizó la lectura a 734 nm. Para la cuantificación se obtuvo una curva patrón con ácido ascórbico y los valores se reportaron como actividad antioxidante equivalente a vitamina C (VCEAC) en mg g^{-1} de peso fresco.

Fenoles totales

Se determinaron con el método de Folin y Ciocalteu descrito por Waterman y Mole (1994). A 300 μ L del extracto etanólico obtenido de cáscara o pulpa se le adicionaron 7.7 mL de agua desionizada, 0.5 mL del reactivo de Folin y Ciocalteu; la mezcla fue agitada por 10 s y se agregaron 1.5 mL de solución de carbonato de sodio al 20 %, posteriormente se dejó reposar durante 2 h en oscuridad y pasado ese tiempo las muestras fueron leídas a una absorbancia de 760 nm. Los resultados se expresaron en $\text{mg eq. ác. gálico } 100 \text{ g}^{-1}$ de peso fresco ($\text{mg GAE } 100 \text{ g}^{-1}$), tomando como referencia una curva estándar de ácido gálico.

Vitamina C

Se realizó mediante el método descrito por Jagota y Dani (1982). A 0.5 g de muestra (pulpa o cáscara) se le agregaron 5 mL de ácido tricloroacético al 10 %, posteriormente fue homogeneizó y agitó vigorosamente en un baño de hielo durante 5 min, y se centrifugó por 20 min. De la mezcla obtenida se tomaron 200 μ L a los cuales se les agregaron 1.8 mL de agua bidestilada y 200 μ L del reactivo Folin y Ciocalteu en proporción de 1:10; la mezcla se dejó reposar durante 10 min y las muestras se leyeron a una absorbancia de 760 nm. La concentración se expresó en $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ de peso fresco mediante una curva estándar de ácido ascórbico.

Betalaínas

La cuantificación de las betalaínas se realizó por espectrofotometría utilizando las ecuaciones de Nilsson (1970) y la metodología de Dantas *et al.*, (2015). Los extractos se prepararon utilizando agua para su extracción. A 2 g de muestra congelada (pulpa o cáscara) se le agregaron 10 mL de agua destilada, se homogeneizaron y posteriormente se centrifugaron por 25 min a 4 °C. De la solución obtenida se tomó el sobrenadante y se ajustó a un volumen de 30 mL con agua destilada, analizando inmediatamente. La absorbancia de los extractos se midió a 476, 538 y 600 nm y el contenido de betalaínas ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$) fue estimado respectivamente por las siguientes ecuaciones: $x = 1.095(A_{538} - A_{600})$ y $y = -0.258 \times A_{538} + A_{476} - 0.742 \times A_{600}$. Finalmente, el contenido de betacianina se obtuvo por $[BTC = (x \times R \times 100)/1120]$ y el de betaxantina por $[BTX = (y \times R \times 100)/750]$, donde R es el factor de dilución, y $E_{1\text{cm}}^{1\%} = 1120$ y $E_{1\text{cm}}^{1\%} = 750$ son los coeficientes de extinción para betanina y vulgaxantina-I, respectivamente.

Clorofila total y carotenos

Se determinaron mediante la técnica descrita por Lichtenthaler (1987). A 0.1 g de muestra (pulpa o cáscara) se le añadieron 5 mL de metanol al 100 % y se homogeneizaron, posteriormente se centrifugaron por 25 min y se obtuvo la absorbancia a 665, 652 y 470 nm. Los cálculos se realizaron con las fórmulas descritas a continuación: clorofila a: $C_a = 16.72A_{665.2} - 9.16A_{652.4}$; clorofila b: $C_b = 34.09A_{652.4} - 15.28A_{665.2}$; clorofila total: $C_{a+b} = 1.44A_{665.2} + 24.93A_{652.4}$ y carotenos: $C_{x-c} = [1000A_{470} - 1.63C_a - 104.96C_b]/221$. Los resultados fuerse expresaron en $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ de peso fresco.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANAVA) y comparación de medias Tukey ($\alpha=0.05$) empleando el programa de análisis estadístico Statistical Analysis System, ver. 9.0 (SAS, 2002).

3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Capacidad antioxidante de la pulpa

En relación a este parámetro se encontró que al comienzo de la evaluación los cultivares ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ con 0.95 y 0.96 mg VCEAC g⁻¹ fueron iguales y estadísticamente diferentes de ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Cristalina’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Chinchilla’, ‘Nicolaita’ y ‘Caidilla’ cuyos valores fueron de 0.49, 0.42, 0.37, 0.51, 0.42, 0.53, 0.55 y 0.67 mg VCEAC g⁻¹, respectivamente. A su vez se observó que para el día 3 el cultivar ‘Coral’ (1.04 mg VCEAC g⁻¹) presentó diferencias estadísticas respecto a ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Cristalina’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’, ‘Nicolaita’ y ‘Caidilla’ con 0.38, 0.37, 0.38, 0.52, 0.42, 0.65, 0.61, 0.51 y 0.77 mg VCEAC g⁻¹, respectivamente (Cuadro 2). Al respecto Coria-Cayupán y Nazareno (2015) reportaron valores de capacidad antioxidante de 0.21-0.50 mg VCEAC g⁻¹ similares a los obtenidos en este estudio, a su vez encontraron que los frutos de *Opuntia ficus-indica* de pulpa púrpura mostraron los valores más altos, mientras que los valores más bajos correspondieron a *O. megacantha* de pulpa amarilla. En este sentido, Repo y Encina (2008) en un estudio con frutas de Perú donde incluyeron a *O. ficus-indica* concluyeron que la capacidad antioxidante está directamente relacionada con el contenido de pigmentos de la fruta y con la variedad; sin embargo, en el presente trabajo no se observó dicha tendencia, lo cual contrasta con lo reportado por Figueroa-Cares *et al.* (2010) y Scalzo *et al.* (2005),

donde mencionaron que esto podría deberse al efecto del genotipo, tanto de especies como cultivares, así como a las condiciones de cultivo.

A los 6 dda el cultivar ‘Coral’ con 0.92 mg VCEAC g⁻¹, fue significativamente diferente de ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Cristalina’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Chinchilla’ y ‘Nicolaita’ que tuvieron valores que fueron de 0.37 a 0.56 mg VCEAC g⁻¹. Posteriormente a los 9 y 12 dda nuevamente el cultivar ‘Coral’ tuvo diferencias estadísticas con la mayoría de los cultivares, excepto con ‘Cuaresmeño’. Por otro lado, ‘Reyna’ (4.45 mg VCEAC g⁻¹) mostró diferencias significativas a los 15 dda con ‘Amarilla Plátano’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’ y ‘Nicolaita’ con niveles de capacidad antioxidante de 0.40, 0.44, 0.39 y 0.50 mg VCEAC g⁻¹, respectivamente. Estos resultados fueron superiores a los encontrados por Coria-Cayupán *et al.* (2011) en *O. megacantha* de pulpa amarilla y naranja con valores de 0.13-0.30 mg VCEAC g⁻¹, y de 0.17-0.33 mg VCEAC g⁻¹, respectivamente después de 8 semanas de maduración del fruto.

A los 18 dda ‘Rojo Pelón’ (0.46 mg VCEAC g⁻¹) presentó diferencias estadísticas con ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ con valores de 0.73 y 0.85 mg VCEAC g⁻¹. Para el día 21 nuevamente ‘Rojo Pelón’ con 0.51 mg VCEAC g⁻¹ presentó diferencias estadísticas con ‘Cuaresmeño Blanco’ cuyo valor de capacidad antioxidante fue de 0.68 mg VCEAC g⁻¹ y finalmente a los 24 dda este mismo cultivar con 0.53 mg VCEAC g⁻¹ tuvo diferencias estadísticas con ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ con valores de 0.76 y 0.86 mg VCEAC g⁻¹. Otros autores mostraron valores que fueron de 0.81 mg eq. de ácido ascórbico mL⁻¹ para frutos de pulpa roja y de 3.91 mg eq. de ácido ascórbico mL⁻¹ para frutos de pulpa amarilla (Abdel-Hameed *et al.*, 2014), éste último fue mayor a lo encontrado en este estudio. Asimismo, estos resultados contrastan con lo señalado por

Kugler *et al.* (2007) para los cultivares ‘Gialla’ y ‘Rossa’ con valores de 0.73 y 0.69 mg eq. de ácido ascórbico mL⁻¹.

Los cultivares de xoconostle presentaron los valores más altos de capacidad antioxidante, seguidos de los de xocotuna y tuna, los cuales fueron disminuyendo en su mayoría conforme pasó el tiempo de evaluación. Los resultados obtenidos indicaron que los frutos estudiados presentan alta capacidad antioxidante, lo cual es una característica importante debido a que los antioxidantes naturales son considerados elementos esenciales que protegen de la oxidación a las macromoléculas biológicas en el cuerpo humano (Figuerroa-Cares *et al.* 2010).

Cuadro 2. Capacidad antioxidante (mg VCEAC g⁻¹) evaluada en pulpa de frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.

CULTIVAR	DÍAS DE EVALUACIÓN								
	0	3	6	9	12	15	18	21	24
Tuna									
‘Amarilla Montesa’ (am)	0.49 de [†]	0.38 f	0.45 c	0.38 g	0.43 ef	-	-	-	-
‘Amarilla Plátano’ (am)	0.42 e	0.37 f	0.45 c	0.35 g	0.38 f	0.40 c	-	-	-
‘Reyna’ (vc)	0.79 abc	0.91 ab	0.76 ab	0.80 bc	0.79 bc	0.89 a	-	-	-
‘Cristalina’ (vc)	0.37 e	0.38 f	0.37 c	0.39 fg	0.39 f	-	-	-	-
‘Rojo Pelón’ (rj)	0.51 de	0.52 ef	0.50 c	0.44 efg	0.44 ef	0.44 c	0.46 b	0.51 b	0.53 b
‘Liso Forrajero’ (rj)	0.42 e	0.42 ef	0.42 c	0.39 g	0.39 f	0.39 c	-	-	-
Xocotuna									
‘Cascarón’ (rj)	0.85 ab	0.65 cde	0.72 ab	0.58 def	0.62 cde	0.71 abc	0.64 ab	-	-
‘Chinchilla’ (rj)	0.53 de	0.61 def	0.56 bc	0.62 cde	0.51 def	-	-	-	-
‘Coral’ (pu)	0.88 ab	1.04 a	0.92 a	1.02 a	1.03 a	-	-	-	-
‘Nicolaita’ (rs)	0.55 cde	0.51 ef	0.48 c	0.48 defg	0.64 cde	0.50 bc	-	-	-
‘Caidilla’ (rj)	0.67 bcd	0.77 bcd	0.76 ab	0.67 cd	0.69 bcd	0.82 ab	-	-	-
Xoconostle									
‘Cuaresmeño Blanco’ (vc)	0.95 a	0.84 abcd	0.76 ab	0.77 bc	0.73 bc	0.77 ab	0.73 a	0.68 a	0.76 a
‘Cuaresmeño’ (rj)	0.96 a	0.89 abc	0.76 ab	0.90 ab	0.87 ab	0.80 ab	0.85 a	0.67 ab	0.86 a
[‡] DMSH	0.24	0.25	0.21	0.18	0.22	0.31	0.21	0.16	0.17

[†]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [‡]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($P \leq 0.05$). am: amarillo; vc: verde claro; rj: rojo; pu: púrpura; rs: rosa.

Capacidad antioxidante de la cáscara

Respecto a esta variable se encontró que el cultivar ‘Reyna’ con niveles de capacidad antioxidante que fueron de 4.83 a 5.66 mg VCEAC g⁻¹ presentó diferencias estadísticas a los 0, 3, 6, 9, 12 y 15 dda con ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Cristalina’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’, ‘Coral’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’, cuyos valores de capacidad antioxidante tuvieron un rango entre 0.63 y 1.22 mg VCEAC g⁻¹. Posteriormente a los 18 dda el cultivar ‘Rojo Pelón’ con 0.85 mg VCEAC g⁻¹ mostró ser significativamente diferente de ‘Cascarón’ y ‘Cuaresmeño’ con 1.08 y 1.05 mg VCEAC g⁻¹, respectivamente. Finalmente a los 21 y 24 dda ‘Rojo Pelón’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ no tuvieron diferencias estadísticas entre sí (Cuadro 3). En este sentido, Fernández-López *et al.* (2010) en cáscara de frutos de *O. ficus-indica*, *Opuntia stricta* y *Opuntia undulata*, reportaron valores de capacidad antioxidante de 6.70, 5.98 y 1.58 µmol TE g⁻¹ (equivalentes a trolox), respectivamente mientras que, Guzmán-Maldonado *et al.* (2010) encontraron para xoconostle cv. Cuaresmeño capacidad antioxidante de 0.06 mmol eq. Trolox g⁻¹, menor a la reportada en este estudio. Otros autores señalaron que la cáscara de frutos de *Opuntia ficus-indica* Mill tuvo una alta capacidad antioxidante con valores de 7.6 mg eq. ác. ascórbico mL⁻¹ para frutos rojos y de 2.28 mg eq. ác. ascórbico mL⁻¹ para frutos amarillos (Abdel-Hameed *et al.*, 2014), estos resultados fueron mayores a los obtenidos en el presente estudio. Por su parte, Yeddes *et al.* (2013) encontraron valores de 0.54, 0.57 y 0.40 mg mL⁻¹ (eq. Trolox) para cáscara de frutos de *O. ficus-indica* con espinas, sin espinas, y para *O. stricta* respectivamente, los cuales fueron menores a lo reportado en este estudio. Como puede observarse hay diferencias marcadas respecto a

los resultados encontrados por diferentes autores, dicha variabilidad podría deberse a los métodos utilizados y a los cultivares evaluados.

En general se observó que a medida que se incrementan los días de almacenamiento aumentan también los valores de capacidad antioxidante en la mayoría de los cultivares, y destacó el cultivar ‘Reyna’ con los niveles más altos.

Cuadro 3. Contenido de capacidad antioxidante (mg VCEAC g⁻¹) en cáscara de frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.

CULTIVAR	DÍAS DE EVALUACIÓN								
	0	3	6	9	12	15	18	21	24
Tuna									
‘Amarilla Montesa’ (an)	0.99 b [†]	0.99 b	0.96 b	1.03 b	1.09 b	-	-	-	-
‘Amarilla Plátano’ (am)	0.91 b	0.97 b	1.11 b	1.22 b	1.04 b	0.94 b	-	-	-
‘Reyna’ (vc)	4.83 a	5.15 a	4.66 a	4.78 a	4.70 a	5.66 a	-	-	-
‘Cristalina’ (vc)	1.04 b	0.90 b	0.99 b	0.97 b	1.05 b	-	-	-	-
‘Rojo Pelón’ (ro)	0.94 b	1.01 b	1.16 b	0.78 b	0.94 b	0.97 b	0.85 b	0.94 a	0.93 a
‘Liso Forrajero’ (ro)	0.83 b	0.86 b	0.89 b	0.85 b	0.85 b	0.87 b	-	-	-
Xocotuna									
‘Cascarón’ (rj)	1.15 b	1.05 b	0.95 b	1.03 b	0.95 b	1.07 b	1.08 a	-	-
‘Chinchilla’ (ro)	1.05 b	0.97 b	0.91 b	1.07 b	0.95 b	-	-	-	-
‘Coral’ (pu)	0.63 b	0.97 b	1.05 b	0.85 b	0.93 b	-	-	-	-
‘Nicolaita’ (rs)	0.91 b	1.07 b	1.06 b	1.13 b	1.07 b	1.14 b	-	-	-
‘Caidilla’ (ro)	0.86 b	0.80 b	0.81 b	1.00 b	0.60 b	0.87 b	-	-	-
Xoconostle									
‘Cuaresmeño Blanco’ (vc)	0.97 b	0.96 b	1.07 b	0.99 b	1.08 b	1.08 b	0.97 ab	1.03 a	0.97 a
‘Cuaresmeño’ (rj)	1.03 b	1.10 b	0.96 b	1.03 b	1.04 b	1.01 b	1.05 a	0.94 a	1.13 a
[†] DMSH	0.73	0.35	0.57	0.59	0.55	0.75	0.17	0.23	0.21

[†]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [†]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($P \leq 0.05$). an: anaranjado; am: amarillo; vc: verde claro; ro: rojo oscuro; rj: rojo; pu: púrpura; rs: rosa.

Fenoles totales en la pulpa

Para esta variable al comienzo de la evaluación el cultivar ‘Cuaresmeño’ con 44.61 mg GAE 100 g⁻¹ fue significativamente diferente de ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’, ‘Coral’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’ y ‘Cuaresmeño Blanco’ con valores de 9.71, 6.27, 19.56,

17.56, 30.32, 6.36, 11.91, 11.76, 9.41, 7.07, 10.30 y 29.61 mg GAE 100 g⁻¹, respectivamente. Para el día 3 el cultivar ‘Reyna’ (21.21 mg GAE 100 g⁻¹) tuvo diferencias estadísticas respecto a ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’, ‘Coral’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ con niveles de 6.06, 5.60, 5.80, 7.59, 9.28, 11.62, 6.49, 9.38, 52.31 y 30.19 mg GAE 100 g⁻¹, respectivamente. Posteriormente a los 6 dda se observó un comportamiento similar al del inicio del periodo de evaluación (Cuadro 4). Estos resultados contrastan con los obtenidos por Chavez-Santoscoy *et al.* (2009) para los cultivares ‘Gavia’, ‘Cardón’, ‘Amarillo’, ‘Pelón’, ‘Moradillo’, ‘Rastrero’, ‘Duraznillo Blanco’, ‘Duraznillo Rojo’ y ‘Tapón’ con valores de 11.43, 19.55, 5.54, 17.21, 7.28, 12.19, 10.92, 22.63 y 2.23 mg GAE 100 g⁻¹, respectivamente. Estos autores propusieron que hay una aparente relación entre el contenido de fenoles totales y el color del fruto, aunque éste depende principalmente de la especie. En otro estudio, Coria-Cayupán *et al.* (2015) reportaron valores de fenoles totales en un rango entre 37 y 73 mg GAE 100 g⁻¹, siendo los frutos rosados de *O. ficus-indica* los de menor valor, mientras que los frutos púrpura de esta misma especie presentaron los más altos. Los frutos de *O. megacantha* y *Opuntia* spp. exhibieron niveles intermedios entre 49 y 65 mg GAE 100 g⁻¹, los cuales fueron más altos que los encontrados en este estudio. De la misma manera, Bendhifi *et al.* (2013) encontraron valores superiores a los aquí reportados en frutos de *O. streptacantha* (134.6 mg GAE 100 g⁻¹), *O. robusta* (98.66 mg GAE 100 g⁻¹) y *O. ficus-indica* (59.33 mg GAE 100 g⁻¹).

A los 9 dda ‘Liso Forrajero’ con 4.68 mg GAE 100 g⁻¹ mostró diferencias significativas con ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Rojo Pelón’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ que tuvieron valores de 18.52, 13.30, 12.50, 28.46 y 27.29 mg GAE 100 g⁻¹, respectivamente.

Asimismo a los 12 dda ‘Reyna’ y ‘Cristalina’ (con 16.65 y 15.99 mg GAE 100 g⁻¹) fueron iguales y estadísticamente diferentes de ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Liso Forrajero’, ‘Chinchilla’, ‘Nicolaita’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’, cuyos valores fueron de 6.49, 5.71, 4.77, 7.37, 5.82, 24.39 y 31.93 mg GAE 100 g⁻¹, respetivamente. Los resultados aquí mostrados concuerdan con lo obtenido por Stintzing *et al.* (2005) para cultivares de pulpa verde, naranja, rojo y púrpura con valores de 24.2, 24.7, 33.5 y 66 mg GAE 100 g⁻¹, respectivamente, mientras que fueron menores a lo reportado por Hernández-Fuentes *et al.* (2015) para xoconostles donde los niveles más altos se encontraron en las accesiones de ‘Matizado’, ‘Ulapa’ y ‘Cambray’ con valores de 313, 278 y 235 mg GAE 100 g⁻¹, respectivamente. Los valores más bajos fueron para ‘Cuaresmeño Zacatecano’, ‘Cuerón’ y ‘Borrego’ con valores de 108, 118 y 135 mg GAE 100 g⁻¹, respectivamente.

De la misma manera, a los 15 dda ‘Rojo Pelón’ con 13.73 mg GAE 100 g⁻¹ reveló diferencias significativas con ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Liso Forrajero’, ‘Nicolaita’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ que mostraron valores en un rango que fue de 5.11 a 33.62 mg GAE 100 g⁻¹. Para el día 21 ‘Cuaresmeño Blanco’ (30.90 mg GAE 100 g⁻¹) presentó diferencias estadísticas con ‘Rojo Pelón’ y ‘Cuaresmeño’ con valores de 18.21 y 22.98 mg GAE 100 g⁻¹. Finalmente a los 24 dda ‘Rojo Pelón’ con 17.81 mg GAE 100 g⁻¹ fue significativamente diferente de ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ con 31 y 28.13 mg GAE 100 g⁻¹. Los resultados anteriores fueron semejantes a los encontrados por Figueroa-Cares *et al.* (2010) con valores de fenoles totales que fueron de 2.14 a 42.06 mg GAE 100 mL⁻¹ para doce cultivares de *Opuntia* spp., donde el valor más bajo fue encontrado en ‘Vaquera’ y el más alto en ‘Tapón Aguanoso’; en contraste Coria-Cayupán *et al.* (2011) encontraron que el total de compuestos fenólicos fue entre

54 y 120 mg GAE 100 g⁻¹, donde los frutos púrpuras de *O. spp*, los púrpura oscuro de *O. ficus-indica* y los naranja de *O. megacantha* presentaron los más altos niveles (120, 110 y 100 mg GAE 100 g⁻¹, respectivamente); mientras que los frutos amarillos de *O. megacantha* exhibieron los valores más bajos (54 mg GAE 100 g⁻¹). A su vez Chougui *et al.* (2013) evaluaron cuatro cultivares de tuna donde la cantidad de fenoles totales varió en un rango de 47.23 a 66.60 mg GAE 100 g⁻¹, los más altos niveles fueron detectados en el cultivar de pulpa naranja, y los más bajos en el cultivar de pulpa amarilla; al respecto, estos autores mencionaron que factores como el tipo de cultivar, las condiciones climáticas y la composición del suelo podrían explicar la variabilidad en los resultados encontrados.

Cuadro 4. Contenido de fenoles totales (mg GAE 100 g⁻¹) en pulpa de frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.

CULTIVAR	DÍAS DE EVALUACIÓN								
	0	3	6	9	12	15	18	21	24
Tuna									
‘Amarilla Montesa’ (am)	9.71 de [†]	6.06 e	7.40 ef	6.06 cde	6.49 d	-	-	-	-
‘Amarilla Plátano’ (am)	6.27 e	5.60 e	5.31 f	5.66 de	5.71 d	5.13 e	-	-	-
‘Reyna’ (vc)	19.56 bcd	21.21 c	17.35 b	18.52 b	16.65 b	19.92 b	-	-	-
‘Cristalina’ (vc)	17.56 de	15.03 cd	15.98 bcd	13.30 bc	15.99 b	-	-	-	-
‘Rojo Pelón’ (rj)	30.32 b	15.76 cd	16.07 bc	12.50 bcd	14.27 bc	13.73 c	13.65 b	18.21 b	17.81 b
‘Liso Forrajero’ (rj)	6.36 e	5.80 e	5.67 f	4.68 e	4.77 d	5.11 e	-	-	-
Xocotuna									
‘Cascarón’ (rj)	11.91 de	7.59 e	9.16 ef	6.68 cde	11.22 bcd	8.32 cde	7.27 b	-	-
‘Chinchilla’ (rj)	11.76 de	9.28 de	9.20 def	9.93 cde	7.37 cd	-	-	-	-
‘Coral’ (pu)	9.41 de	11.62 de	12.95 bcde	8.39 cde	11.11 bcd	-	-	-	-
‘Nicolaita’ (rs)	7.07 de	6.49 e	4.89 f	5.75 de	5.82 d	6.14 de	-	-	-
‘Caidilla’ (rj)	10.30 de	9.38 de	10.16 cdef	11.55 bcde	9.30 bcd	11.35 cd	-	-	-
Xoconostle									
‘Cuaremeño Blanco’ (vc)	29.61 bc	52.31 a	18.38 b	28.46 a	24.39 a	33.62 a	28.86 a	30.90 a	31.00 a
‘Cuaremeño’ (rj)	44.61 a	30.19 b	28.01 a	27.29 a	31.93 a	23.24 b	25.61 a	22.98 b	28.13 a
†DMSH	12.58	6.92	6.79	7.50	7.57	5.48	7.29	4.82	9.79

†DMSH: diferencia mínima significativa honesta. †Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($P \leq 0.05$). am: amarillo; vc: verde claro; rj rojo; pu: púrpura; rs: rosa.

En el presente estudio los cultivares de xoconostle mostraron los valores más altos, mientras los de tuna y xocotuna fueron similares. En la mayoría de los cultivares evaluados, la cantidad de fenoles de la pulpa fue disminuyendo conforme se incrementaron los días de almacenamiento.

Fenoles totales de la cáscara

En un principio el cultivar ‘Coral’ tuvo un valor de 10.94 mg GAE 100 g⁻¹ y presentó diferencias estadísticas con los cultivares ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ con valores de 43.74, 62.55, 109.12, 55.67, 60.42, 84.47, 68.18 y 69.88 mg GAE 100 g⁻¹, respectivamente. A los 3 dda se observó que el cultivar ‘Reyna’ con 21.21 mg GAE 100 g⁻¹ fue estadísticamente diferente de ‘Amarilla Montesa’, ‘Cristalina’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Coral’, ‘Nicolaita’ y ‘Caidilla’ cuyos valores fueron de 38.15, 30.56, 46.69, 44.27, 11.37, 33.18 y 19.75 mg GAE 100 g⁻¹, respectivamente (Cuadro 5). Los niveles encontrados de fenoles totales fueron bajos en comparación con los señalados por Fernández-López *et al.* (2010) para *Opuntia ficus-indica* de 218.8 mg GAE 100 g⁻¹, para *Opuntia stricta* de 204.4 mg GAE 100 g⁻¹ y para *Opuntia undulata* de 164.6 mg GAE 100 g⁻¹, así con respecto a lo encontrado por Guzmán-Maldonado *et al.* (2010) para xoconostle cv. Cuaresmeño de 919-986 mg GAE 100 g⁻¹. Sin embargo estos autores mencionan que los resultados obtenidos podrían estar sobreestimados debido a que el Folin-Ciocalteu reacciona con la vitamina C (Coria-Cayupán y Nazareno, 2015). Asimismo, el contenido de fenoles en frutos podría estar afectado por el grado de madurez en la cosecha, diferencias genéticas y las condiciones medioambientales entre otros factores (Osorio-Esquivel *et al.*, 2011).

Por otra parte a los 6 dda ‘Coral’ con 11.33 mg GAE 100 g⁻¹ mostro diferencias significativas con ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Chinchilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ que tuvieron valores que fueron de 46.12 a 73.25 mg GAE 100 g⁻¹. Al llegar a los 9 dda el cultivar ‘Reyna’ (85.64 mg GAE 100 g⁻¹) fue estadísticamente diferente de ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’, ‘Coral’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ que exhibieron valores de 31.14, 47.03, 49.35, 35.06, 36.71, 54.10, 12.14, 38.03, 35.19, 63.66 y 60.90 mg GAE 100 g⁻¹, respectivamente. Por su parte, Cardador-Martínez *et al.* (2011) obtuvieron altos niveles de compuestos fenólicos en la cáscara del cultivar ‘Esmeralda’ en el estado maduro (376 mg GAE 100 g⁻¹), mientras que el nivel más bajo se encontró en ‘Pelón-Liso’ en el estado inmaduro (44 mg GAE 100 g⁻¹), siendo este último similar a lo encontrado en este estudio. Asimismo, estos investigadores reportaron valores intermedios en el cultivar ‘Amarilla Montesa’ en ambos estados (maduro e inmaduro) de 229 y 223 mg GAE 100 g⁻¹, mientras ‘Cristalina’ tuvo valores de 141 y 172 mg GAE 100 g⁻¹, superiores a lo reportado en este estudio.

A los 12 dda se observó que ‘Coral’ (10.38 mg GAE 100 g⁻¹) y ‘Caidilla’ (11.85 mg GAE 100 g⁻¹) fueron iguales y significativamente diferentes de ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Rojo Pelón’, ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ con valores entre 48.59 y 75.17 mg GAE 100 g⁻¹. Después a los 15 dda el cultivar ‘Reyna’ con 81.50 mg GAE 100 g⁻¹ tuvo diferencias estadísticas con ‘Rojo Pelón’, ‘Nicolaita’ y ‘Caidilla’ que mostraron valores de 35.39, 43.24 y 17.71 mg GAE 100 g⁻¹, respectivamente. Para el día 18 no hubo diferencias significativas entre cultivares y finalmente a los 21 y 24 dda ‘Rojo Pelón’ presentó

diferencias estadísticas respecto a ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’. Los valores de fenoles totales entre cultivares fueron similares, asimismo se observó que en la mayoría de ellos este parámetro se fue incrementando conforme avanzó el periodo de evaluación. Otros autores encontraron valores de 207 mg GAE 100 g⁻¹ para *Opuntia joconostle* mayores a los reportados en este estudio, y también explicaron que los compuestos fenólicos ayudan a proteger a la planta del daño de la luz ultravioleta, contribuyen en el desarrollo de la pigmentación de los frutos y actúan como defensa protegiéndola de los microorganismos patógenos (Vicente *et al.*, 2009; Osorio-Esquivel *et al.*, 2011). Al respecto, se sabe que este tipo de protección puede ser necesaria para el fruto y puede justificar el alto contenido de fenoles encontrado en la cáscara comparado con la pulpa. Finalmente cabe mencionar que los valores de fenoles totales encontrados en tuna y xoconostle fueron similares, mientras que los más bajos se observaron en algunos de los cultivares de xocotuna (‘Coral’, ‘Nicolaita’ y ‘Caidilla’).

Cuadro 5. Contenido de fenoles totales (mg GAE 100 g⁻¹) en cáscara de frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.

CULTIVAR	DÍAS DE EVALUACIÓN								
	0	3	6	9	12	15	18	21	24
Tuna									
‘Amarilla Montesa’ (an)	43.74 cdef [†]	38.15 bcd	46.12 abcd	31.14 ef	51.70 abc	-	-	-	-
‘Amarilla Plátano’ (am)	62.55 bcd	64.98 ab	61.58 ab	47.03 cde	73.84 a	66.06 abc	-	-	-
‘Reyna’ (vc)	109.12 a	91.55 a	73.25 a	85.64 a	70.19 a	81.50 a	-	-	-
‘Cristalina’ (vc)	55.67 bcde	30.56 bcd	62.11 ab	83.82 ab	53.73 abc	-	-	-	-
‘Rojo Pelón’ (ro)	34.50 defg	54.22 abc	57.23 ab	49.35 cde	48.59 abc	35.39 de	28.34 a	34.12 b	38.76 b
‘Liso Forrajero’ (ro)	33.50 defg	46.69 bcd	51.75 abc	35.06 de	30.81 bcd	55.88 abcd	-	-	-
Xocotuna									
‘Cascarón’ (rj)	60.42 bcd	44.27 bcd	36.71 bcde	36.71 de	71.48 a	53.48 bcd	53.08 a	-	-
‘Chinchilla’ (ro)	84.47 ab	59.78 ab	62.27 ab	54.10 cd	56.95 ab	-	-	-	-
‘Coral’ (pu)	10.94 g	11.37 d	11.33 e	12.14 f	10.38 d	-	-	-	-
‘Nicolaita’ (rs)	27.28 efg	33.18 bcd	26.33 cde	38.03 de	26.19 cd	43.24 cde	-	-	-
‘Caidilla’ (ro)	17.20 fg	19.75 cd	21.30 de	35.19 de	11.85 d	17.71 e	-	-	-
Xoconostle									
‘Cuaresmeño Blanco’ (vc)	68.18 bc	61.49 ab	69.49 a	63.66 bc	75.17 a	73.72 ab	68.30 a	73.85 a	69.16 a
‘Cuaresmeño’ (rj)	69.88 bc	64.26 ab	52.03 abc	60.90 c	57.96 ab	58.28 abcd	61.72 a	67.24 a	69.99 a
[‡] DMSH	31.91	37.75	30.35	21.77	29.05	26.52	16.34	16.45	24.89

[†]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [‡]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($P \leq 0.05$). an: anaranjado; am: amarillo; vc: verde claro; ro: rojo oscuro; rj: rojo; pu: púrpura; rs: rosa.

Vitamina C en la pulpa

En los cultivares bajo estudio se encontró que al comienzo de la evaluación ‘Amarilla Montesa’ y ‘Chinchilla’ fueron iguales entre sí con valores de 5.92 y 9.64 mg 100 g⁻¹, y presentaron diferencias estadísticas respecto a ‘Rojo Pelón’, ‘Cascarón’, ‘Coral’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ que tuvieron valores de 37.53, 32.34, 49.75, 63.97, 95.99 y 103.72 mg 100 g⁻¹, respectivamente. Para el día 3 el cultivar ‘Cuaresmeño’ (97.40 mg 100 g⁻¹) mostró diferencias estadísticas con ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’, ‘Coral’, ‘Nicolaita’ y ‘Caidilla’ cuyos niveles de vitamina C

fueron de 5.45, 24.27, 21.43, 14.46, 28.12, 16, 25.68, 8.03, 59.74, 18.99 y 42.21 mg 100 g⁻¹, respectivamente (Cuadro 6). Los resultados anteriores fueron similares a los obtenidos por Corral-Aguayo *et al.* (2008) de 40 mg 100 g⁻¹ para *Opuntia ficus-indica* M. cv Milpa Alta. Asimismo, Chougui *et al.* (2013) presentaron cantidades significativas de ácido ascórbico con valores que varían dentro del rango de 23.65 a 32.19 mg 100 g⁻¹, donde los cultivares de pulpa verde, amarillo y naranja mostraron las cantidades más altas, mientras que el de pulpa rojo fue el más bajo, estos valores también fueron semejantes a los obtenidos por Kugler *et al.* (2007) para los cultivares ‘Gialla’ y ‘Rossa’ de 31.5 y 23.9 mg 100 mL⁻¹.

Posteriormente a los 6 dda se encontró que el cultivar ‘Caidilla’ con 51.27 mg 100 g⁻¹ tuvo diferencias significativas con ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Liso Forrajero’, ‘Chinchilla’, ‘Nicolaita’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ cuyos valores de ácido ascórbico fueron de 5.52, 19.20, 15.41, 13.31, 19.46, 10.53, 12.52, 96.01 y 109.65 mg 100 g⁻¹, respectivamente. Pasados los 9 dda se formaron 3 grupos estadísticamente diferentes, el primero formado por ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’ y ‘Nicolaita’ que tuvieron valores de vitamina C en un rango de 3.58 a 26.22 mg 100 g⁻¹, el segundo conformado por ‘Coral’ y ‘Caidilla’ con 59.87 y 58.01 mg 100 g⁻¹, y finalmente el tercero incluyó a ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ con valores de 92.25 y 96.67 mg 100 g⁻¹. En relación con este parámetro, Livrea y Tesoriere (2009) determinaron niveles de ácido ascórbico de 28 a 30 mg 100 g⁻¹ para los cultivares ‘Sulfarina’ (pulpa amarilla), ‘Sanguigna’ (pulpa roja) y ‘Muscareda’ (pulpa blanca), los cuales también fueron similares a los reportados por Morales *et al.* (2012) para *Opuntia joconostle* cv. ‘Cuaresmeño’ de 20.63 mg 100 g⁻¹ y para *Opuntia*

matudae cv. Rosa de 31.67 mg 100 g⁻¹, pero mayores a los encontrados por Yahia y Modragón-Jacobo (2011) con valores de 4 y 2.1 mg 100 g⁻¹ para los cultivares ‘Camuesa’ y ‘Cardona’ respectivamente. La variabilidad observada podría ser explicada por la ruta biosintética del ácido ascórbico que es ligeramente más eficiente en algunos cultivares que en otros, así como a la influencia de factores como las condiciones climáticas y tipo de suelo (Chougui *et al.*, 2013).

A los 12 dda ‘Amarilla Montesa’ con 2.34 mg 100 g⁻¹ mostró diferencias significativas con ‘Rojo Pelón’, ‘Cascarón’, ‘Coral’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ (25.87, 28.87, 68.03, 51.83, 41.80 y 95.71 mg 100 g⁻¹, respectivamente). Asimismo para el día 15 ‘Cuaresmeño Blanco’ con 94.04 mg 100 g⁻¹ fue estadísticamente diferente de ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’ y ‘Cuaresmeño’ que tuvieron valores de 23.06, 21.83, 29.31, 24.74, 31.21, 13.93, 56.66 y 125.22 mg 100 g⁻¹, respectivamente. En un estudio realizado por Coria-Cayupán *et al.* (2011) reportaron valores similares de ácido ascórbico para *O. megacantha* de frutos amarillos que fueron de 8 a 26 mg 100 g⁻¹ y de 11 a 30 mg 100 g⁻¹ para frutos naranjas a las 8 semanas de maduración. A su vez Díaz-Medina *et al.* (2007) presentaron valores de 17.2 mg 100 g⁻¹ para *O. ficus-indica* y de 29.7 mg 100 g⁻¹ para *O. dillenii*.

El cultivar ‘Cuaresmeño Blanco’ con el valor más alto de vitamina C a los 18 dda (137.61 mg 100 g⁻¹) presentó diferencias estadísticas con ‘Rojo Pelón’, ‘Cascarón’ y ‘Cuaresmeño’ que mostraron niveles de 29.81, 39.64 y 97.99 mg 100 g⁻¹, respectivamente. Para el día 21 ‘Rojo Pelón’ (42.54 mg 100 g⁻¹) tuvo diferencias significativas con ‘Cuaresmeño’ (110.41 mg 100 g⁻¹) y finalmente este mismo cultivar fue estadísticamente diferente de ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ con 125.98 y

70.39 mg 100 g⁻¹ a los 24 dda. Cabe señalar que Coria-Cayupán y Nazareno (2015) encontraron valores similares de vitamina C los cuales variaron entre 22 y 71 mg 100 g⁻¹, donde *O. megacantha* amarilla presentó la concentración más baja, a diferencia de *O. ficus-indica* con la concentración más alta. Asimismo Figueroa-Cares *et al.* (2010) obtuvieron valores en un rango que fue de 5.31-25 mg 100 g⁻¹, donde los valores más bajos fueron mostrados en los cultivares ‘Mango’, ‘Cristalina’ y ‘Amarilla Montesa’ (5.31, 9.35 y 8.22 mg 100 g⁻¹, respectivamente) y los más altos se encontraron en ‘Cacalote’, ‘Tapón Aguanoso’ y ‘Amarilla Diamante’ (25, 23.55 y 18.94 mg 100 g⁻¹). Las diferencias entre especies y cultivares podrían deberse a las condiciones de cultivo, ya que el género *Opuntia* al crecer en condiciones limitadas de suelo y agua, podría modificar su composición, principalmente del fruto.

En este estudio se observó el mayor contenido de vitamina C en los cultivares de xoconostle, seguido de los de xocotuna (‘Cascarón’, ‘Coral’ y ‘Caidilla’) mientras que los cultivares ‘Chinchilla’ y ‘Nicolaita’ fueron similares a los de tuna.

Cuadro 6. Contenido de Vitamina C (mg 100 g⁻¹) en pulpa de frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.

CULTIVAR	DÍAS DE EVALUACIÓN								
	0	3	6	9	12	15	18	21	24
Tuna									
‘Amarilla Montesa’ (am)	5.92 f [†]	5.45 e	5.52 d	3.58 c	2.34 f	-	-	-	-
‘Amarilla Plátano’ (am)	21.95 def	24.27 de	19.20 cd	25.28 c	20.96 def	23.06 d	-	-	-
‘Reyna’ (vc)	16.90 def	21.43 de	15.41 cd	20.34 c	23.83 def	21.83 d	-	-	-
‘Cristalina’ (vc)	13.26 ef	14.46 e	13.31 cd	14.16 c	17.26 ef	-	-	-	-
‘Rojo Pelón’ (rj)	37.53 cd	28.12 de	33.96 bcd	25.76 c	25.87 de	29.31 d	29.81 c	42.54 b	38.98 c
‘Liso Forrajero’ (rj)	19.70 def	16.00 e	19.46 cd	21.61 c	16.99 ef	24.74 d	-	-	-
Xocotuna									
‘Cascarón’ (rj)	32.34 cde	25.68 de	30.07 bcd	26.22 c	28.87 de	31.21 d	39.64 c	-	-
‘Chinchilla’ (rj)	9.64 f	8.03 e	10.53 d	10.73 c	10.90 ef	-	-	-	-
‘Coral’ (pu)	49.75 bc	59.74 bc	43.26 bc	59.87 b	68.03 b	-	-	-	-
‘Nicolaita’ (rs)	12.13 ef	18.99 de	12.52 cd	11.43 c	16.56 ef	13.93 d	-	-	-
‘Caidilla’ (rj)	63.97 b	42.21 cd	51.27 b	58.01 b	51.83 bc	56.66 d	-	-	-
Xoconostle									
‘Cuaresmeño Blanco’ (vc)	95.99 a	79.16 ab	96.01 a	92.25 a	41.80 cd	94.04 b	137.61 a	79.29 ab	125.98 a
‘Cuaresmeño’ (rj)	103.72 a	97.40 a	109.65 a	96.67 a	95.71 a	125.22 a	97.99 b	110.41 a	70.39 b
[‡] DMSH	22.04	26.07	31.08	28.11	22.17	24.84	21.75	39.17	27.11

[†]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [‡]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($P \leq 0.05$). am: amarillo; vc: verde claro; rj: rojo; pu: púrpura; rs: rosa.

Vitamina C en la cáscara

En este parámetro se observó al comienzo de la evaluación que el cultivar ‘Cascarón’ con 31.72 mg 100 g⁻¹ presentó diferencias estadísticas con ‘Amarilla Montesa’, ‘Reyna’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Coral’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ con valores de 77.93, 74.08, 107.45, 95.51, 72.12, 87.53, 107.67, 120.92 y 89.72 mg 100 g⁻¹, respectivamente. A los 3 dda ‘Cristalina’ (33.07 mg 100 g⁻¹) fue significativamente diferente de ‘Amarilla Montesa’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Coral’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ con valores de 96.37, 113.96, 121.48, 97.88, 90.85, 78.19 y 83.16 mg 100 g⁻¹, respectivamente. A los 6 dda

nuevamente el cultivar ‘Cristalina’ con 24.47 mg 100 g⁻¹ mostró tener diferencias significativas con respecto a ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Coral’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ cuyos valores de vitamina C se encontraron en un rango que fue de 74.42-156.08 mg 100 g⁻¹ (Cuadro 7). Por lo que se refiere al contenido de vitamina C en cáscara Guzmán-Maldonado *et al.* (2010) han reportado valores similares a los obtenidos en el presente estudio de 38.1 mg 100 g⁻¹ para xoconostle cv. Cuaresmeño. De igual forma Gallegos-Vázquez *et al.* (2014) encontraron que el contenido de vitamina C en el xoconostle variedad Invierno fue de 42.49 mg 100 g⁻¹. Este resultado es interesante ya que recientemente se ha incrementado el interés por estos compuestos debido a su potencial para prevenir el estrés oxidativo y las enfermedades crónicas (Frankel y German, 2006).

Por otro lado, a los 9 dda los cultivares ‘Reyna’ y ‘Chinchilla’ (34.30 y 32.70 mg 100 g⁻¹) fueron iguales entre sí y estadísticamente diferentes de ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ con valores de 129.89, 133.85, 57.32, 87.58, 84.30 y 104.82 mg 100 g⁻¹, respectivamente. También se encontró que a los 12 dda el cultivar ‘Coral’ con 113.17 mg 100 g⁻¹ mostró diferencias significativas con respecto a ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’ y ‘Cuaresmeño Blanco’ que tuvieron valores de 50.67, 69.65, 55.02, 67.10, 41.17 y 41.21 mg 100 g⁻¹, respectivamente. Pasados los 15 dda ‘Reyna’ con 26.89 mg 100 g⁻¹ fue estadísticamente diferente de ‘Amarilla Plátano’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ con valores de 98.47, 102.86, 150.28, 71.61, 79.89, 84.21, 76.48 y 94.96 mg 100 g⁻¹, respectivamente. Finalmente a los 18, 21 y 24 dda ‘Rojo Pelón’ mostró diferencias significativas con el resto de los cultivares. En contraste, Fernández-López *et al.* (2010)

reportaron valores de ácido ascórbico de la cáscara de *Opuntia ficus-indica*, *Opuntia stricta* y *Opuntia undulata* de 18.5, 23.3 y 14.5 mg 100 g⁻¹, mientras que Cereza y Duarte (2005) mostraron valores de 11.99 mg 100 g⁻¹ para *Opuntia ficus-indica* cosechadas en el altiplano andino de Chile. Estos niveles fueron relativamente bajos en comparación con los obtenidos en el presente estudio. Los resultados obtenidos demuestran que las cáscaras de los frutos consideradas un subproducto podrían constituir una interesante fuente de fitoquímicos, los cuales pueden ser extraídos y potencialmente ser utilizados en la preparación de productos de alto valor agregado (Sumaya-Martínez *et al.*, 2010).

Cuadro 7. Contenido de vitamina C (mg 100 g⁻¹) en cáscara de frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.

CULTIVAR	DÍAS DE EVALUACIÓN								
	0	3	6	9	12	15	18	21	24
Tuna									
‘Amarilla Montesa’ (an)	77.93 bc [†]	96.37 abc	90.93 b	70.93 cde	95.81 abc	-	-	-	-
‘Amarilla Plátano’ (am)	41.28 cd	70.12 cde	89.96 b	76.47 cde	50.67 de	98.47 b	-	-	-
‘Reyna’ (vc)	74.08 bc	70.41 cde	44.25 cd	34.30 e	69.65 bcde	26.89 c	-	-	-
‘Cristalina’ (vc)	43.63 cd	33.07 e	24.47 d	37.30 de	55.02 de	-	-	-	-
‘Rojo Pelón’ (ro)	107.45 ab	113.96 ab	84.91 b	129.89 ab	109.33 ab	102.86 b	127.35 a	120.21 a	124.59 a
‘Liso Forrajero’ (ro)	95.51 ab	121.48 a	156.08 a	133.85 a	108.79 ab	150.28 a	-	-	-
Xocotuna									
‘Cascarón’ (rj)	31.72 d	73.47 bcde	46.19 cd	57.32 cde	67.10 cde	71.61 b	83.78 b	-	-
‘Chinchilla’ (ro)	42.20 cd	35.97 de	42.35 d	32.70 e	41.17 e	-	-	-	-
‘Coral’ (pu)	72.12 bc	97.88 abc	81.63 b	68.11 cde	113.17 a	-	-	-	-
‘Nicolaita’ (rs)	87.53 ab	72.50 bcde	77.53 b	70.98 cde	77.47 abcde	79.89 b	-	-	-
‘Caidilla’ (ro)	107.67 ab	90.85 abc	86.05 b	87.58 abc	79.84 abcde	84.21 b	-	-	-
Xoconostle									
‘Cuaremeño Blanco’ (vc)	120.92 a	78.19 abcd	74.42 bc	84.30 bcd	41.21 e	76.48 b	56.77 b	79.76 b	67.67 b
‘Cuaremeño’ (rj)	89.72 ab	83.16 abc	102.34 b	104.82 abc	83.08 abcd	94.96 b	73.45 b	48.15 c	42.07 b
[‡] DMSH	37.11	43.51	30.21	48.79	39.69	42.82	37.91	16.28	31.04

[†]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [‡]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($P \leq 0.05$).

an: anaranjado; am: amarillo; vc: verde claro; ro: rojo oscuro; rj: rojo; pu: púrpura; rs: rosa.

En esta variable, no hubo una clara diferenciación entre los cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle, aunque se observó que el mayor contenido de vitamina C se encontró en los cultivares de tuna ‘Rojo Pelón’ y ‘Liso Forrajero’.

Betalaínas de la pulpa

Betacianinas

Las betalaínas han sido estudiadas por ser relativamente escasas en la naturaleza, no han sido muy exploradas como compuestos bioactivos, pero algunos estudios indican que tienen potencial como pigmentos antioxidantes. Son pigmentos solubles en agua que contienen nitrógeno y se sintetizan a partir del aminoácido tirosina en dos grupos estructurales: betacianinas rojo-violeta y betaxantinas ‘Amarillo’-naranja (Azeredo, 2009).

En el presente estudio se observó que en un inicio el cultivar ‘Nicolaita’ con 19.38 mg 100 g⁻¹ mostró diferencias significativas con respecto a ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’, ‘Coral’, ‘Caidilla’ y ‘Cuaresmeño’ que tuvieron valores de 0.97, 0.43, 0.04, 0.05, 44.62, 33.10, 70.08, 83.52 y 1.18 mg 100 g⁻¹, respectivamente. Cabe mencionar que en el cultivar ‘Cuaresmeño Blanco’ no se detectaron estos pigmentos (Cuadro 8). Al respecto, Saénz *et al.* (2012) reportaron valores similares de contenido de betanina de 17.52 a 58.57 mg 100 g⁻¹ para *Opuntia* sp., de 17.64 a 60.10 mg 100 g⁻¹ para *Opuntia ficus-indica*, de 19.21 mg 100 g⁻¹ para *O. streptacantha* y de 21.45 mg 100 g⁻¹ para *O. pumila*. También mencionaron que el contenido de betalaínas en los frutos es afectado por factores como el cultivar o variedad, la distribución en el fruto (cáscara o pulpa) y el clima o sitio geográfico de

distribución, por lo que podrían ser usados como un ingrediente funcional en la industria alimenticia y tener una aplicación potencial como colorante natural saludable.

Para el día 3 ‘Chinchilla’ ($26.27 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) tuvo diferencias estadísticas con ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Coral’, ‘Caidilla’ y ‘Cuaremeño’ que presentaron valores de 1.29, 0.40, 0.04, 0.06, 5.58, 49.09, 94.68, 81.26 y $1.10 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente. A su vez, a los 6 dda el cultivar ‘Cascarón’ con $40.79 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ fue estadísticamente diferente de ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Coral’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’ y ‘Cuaremeño’ que tuvieron niveles de 0.99, 0.34, 0.11, 0.04, 17.93, 7.75, 79.30, 21.05, 84.79 y $0.89 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente. Dantas *et al.* (2015) observaron que el contenido de betacianinas de *O. stricta* se incrementó con el progreso de la maduración del fruto, con valores de fueron de 6.9 a $51.6 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$. En otro estudio Livrea y Tesoriere (2009) mostraron niveles de betanina para los cultivares ‘Sulfarina’ (pulpa amarilla), ‘Sanguigna’ (pulpa roja) y ‘Muscaredda’ (pulpa blanca) de 8.42, 2.61 y $5.86 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente. Por su parte Coria-Cayupán *et al.* (2011) obtuvieron valores que fueron de 0.5 a $1.4 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ para *O. megacantha* (pulpa amarilla) y de 0.62 a $2.81 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ para *O. megacantha* (pulpa naranja) a las 8 semanas de almacenamiento. Por lo que concluyeron que la concentración de betalaínas fue más alta en la pulpa que en la cáscara, tanto en frutos maduros como inmaduros.

En este estudio ‘Coral’ y ‘Caidilla’ no tuvieron diferencias significativas a los 9 dda y fueron significativamente diferentes del resto de los cultivares evaluados. Para el día 12 ‘Cascarón’ con $46.45 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ tuvo diferencias estadísticas con ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Coral’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’ y ‘Cuaremeño’ con valores de 3.07, 0.31, 0.05, 0.08, 16.77, 6.98,

84.41, 18.86, 73.04 y 1.05 mg 100 g⁻¹, respectivamente. Estos resultados contrastan con los señalados por Aquino *et al.* (2012) para *Opuntia* sp. con niveles de 13.55 a 86.69 mg 100 g⁻¹, donde el valor más bajo lo presentó el cultivar ‘Rubí Reyna’ y el más alto ‘Pintadera’. A su vez, Chavéz-Santoscoy *et al.* (2009) reportaron niveles de betanina que fueron de 0.16-30.05 mg 100 g⁻¹, el cultivar ‘Gavia’ mostró el más bajo nivel, mientras que ‘Tapón’ fue el más alto. Adicionalmente, Guzmán-Maldonado *et al.* (2010) mostraron valores de betacianinas de 0.40 a 5.21 mg 100 g⁻¹ para xoconostle c.v. ‘Cuaresmeño’.

A los 15 dda ‘Nicolaita’ con 19.26 mg 100 g⁻¹ presentó diferencias estadísticas con ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Caidilla’ y ‘Cuaresmeño’ cuyos valores fueron de 0.37, 0.11, 7.41, 38.98, 65.68 y 1.57 mg 100 g⁻¹, respectivamente. Finalmente a los 18, 21 y 24 dda se observaron diferencias significativas entre los cultivares restantes. En otro estudio, Hernández-Fuentes *et al.* (2015) encontraron que el contenido más alto de betacianinas se observó en las accesiones de xoconostle ‘Rojo Manso’ y ‘Matizado’ que fueron de 5.06 y 4.96 mg 100 g⁻¹, y los valores más bajos se encontraron en ‘Ulapa’ y ‘Borrego’ (0.76 y 1.46 mg 100 g⁻¹). Asimismo, Chougui *et al.* (2013) reportaron que en *Opuntia ficus-indica* el cultivar de pulpa roja mostró los niveles más altos de betacianina con valores promedio de 2.93 mg 100 g⁻¹, mientras que los más bajos se encontraron en los cultivares de pulpa verde, amarilla y naranja con valores entre 0.30 y 0.90 mg 100 g⁻¹. En este sentido, Kugler *et al.* (2007) también obtuvieron valores de betacianina para los cultivares ‘Gialla’ y ‘Rossa’ de 0.6 y 5.9 mg 100 g⁻¹, similares a los encontrados en este estudio. Ellos señalaron que las propiedades antioxidantes de las betacianinas son atribuidas a sus grupos libres fenólicos.

En el presente estudio menores contenidos de betacianinas se encontraron en los cultivares de tuna y xoconostle, mientras que los de xocotuna fueron más altos, probablemente debido a que los cultivares utilizados en este trabajo fueron de coloración roja y púrpura intenso. En la mayoría de los cultivares evaluados se observó una disminución en el contenido de betacianina conforme avanzó el periodo de almacenamiento. Las determinaciones cuantitativas realizadas permitieron comprobar que los diferentes colores de los frutos observados son el resultado de las variaciones en el contenido de betalaínas (Castellanos-Santiago y Yahia, 2008).

Cuadro 8. Contenido de betacianina (mg 100 g⁻¹) en pulpa de frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.

CULTIVAR	DÍAS DE EVALUACIÓN								
	0	3	6	9	12	15	18	21	24
Tuna									
‘Amarilla Montesa’ (am)	0.97 d [†]	1.29 d	0.99 ef	0.94 d	3.07 d	-	-	-	-
‘Amarilla Plátano’ (am)	0.43 d	0.40 d	0.34 f	0.27 d	0.31 d	0.37 e	-	-	-
‘Reyna’ (vc)	0.04 d	0.04 d	0.11 f	0.15 d	0.05 d	0.11 e	-	-	-
‘Cristalina’ (vc)	0.05 d	0.06 d	0.04 f	0.09 d	0.08 d	-	-	-	-
‘Rojo Pelón’ (rj)	12.66 cd	14.62 cd	17.93 de	15.61 c	16.77 cd	17.44 cd	16.70 b	19.11 a	22.25 a
‘Liso Forrajero’ (rj)	7.97 cd	5.58 d	7.75 def	11.82 cd	6.98 cd	7.41 de	-	-	-
Xocotuna									
‘Cascarón’ (rj)	44.62 b	49.09 b	40.79 b	37.70 b	46.45 b	38.98 b	36.29 a	-	-
‘Chinchilla’ (rj)	33.10 b	26.27 c	37.24 bc	29.90 b	30.13 bc	-	-	-	-
‘Coral’ (pu)	70.08 a	94.68 a	79.30 a	78.40 a	84.41 a	-	-	-	-
‘Nicolaita’ (rs)	19.38 c	15.23 cd	21.05 cd	16.25 c	18.86 cd	19.26 c	-	-	-
‘Caidilla’ (rj)	83.52 a	81.26 a	84.79 a	83.70 a	73.04 a	65.68 a	-	-	-
Xoconostle									
‘Cuaresmeño’ Blanco (vc)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
‘Cuaresmeño’ (rj)	1.18 d	1.10 d	0.89 ef	1.31 d	1.05 d	1.57 e	2.20 c	0.80 b	0.97 b
[‡] DMSH	13.67	15.89	17.11	11.75	26.13	10.5	6.93	2.33	3.60

[†]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [‡]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($P \leq 0.05$). n.d. no detectado. am: amarillo; vc: verde claro; rj: rojo; pu: púrpura; rs: rosa.

Betaxantinas

El cultivar ‘Amarilla Montesa’ con contenido de betaxantina de 30.77 mg 100 g⁻¹ presentó diferencias estadísticas al comienzo de la evaluación (Cuadro 9) con ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Chinchilla’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’ y ‘Cuaresmeño’ cuyos valores fueron 47.88, 0.21, 0.19, 9.52, 8.85, 9.91, 9.07, 54.68 y 0.34 mg 100 g⁻¹, respectivamente. En el cultivar ‘Cuaresmeño Blanco’ no se detectaron betaxantinas. En relación con este parámetro Chávez-Santoscoy *et al.* (2009) categorizaron el contenido de betaxantinas en tres grupos, de tal manera que los cultivares ‘Gavia’, ‘Amarillo’, ‘Duraznillo Blanco’ y ‘Duraznillo Rojo’ presentaron valores < 0.88 mg 100 g⁻¹, seguidos por ‘Cardón’, Pelón, ‘Moradillo’ y ‘Rastrero’ que estuvieron entre 3.31 y 8.62 mg 100 g⁻¹, mientras que la variedad ‘Tapón’ presentó 18.99 mg 100 g⁻¹. En otro estudio Dantas *et al.* (2015) observaron un claro incremento en los niveles de betaxantinas de *Opuntia stricta* con el avance de la maduración, en un rango de 1.04 a 7.74 mg 100 g⁻¹.

A los 3 dda el cultivar ‘Coral’ con 42.26 mg 100 g⁻¹ fue significativamente diferente de ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’ y ‘Cuaresmeño’ que mostraron valores de 0.24, 0.35, 13.62, 9.21, 25.72, 10.06, 7.42, 82.38 y 0.37 mg 100 g⁻¹, respectivamente. Por su parte, Yahia *et al.* (2010) encontraron que el contenido de betaxantinas fue más alto en los cultivares de pulpa roja ‘Camuesa’, ‘Roja Pelota’ y ‘Cardona’ (2.86, 0.99 y 1.04 mg 100 g⁻¹, respectivamente) que en los cultivares de pulpa amarilla, lo cual demuestra nuevamente que las determinaciones cuantitativas de los diferentes colores de frutos son el resultado de la variación en el contenido de betaxantinas y betacianinas. Adicionalmente Guzmán-Maldonado *et al.* (2010) mencionaron que la alta variabilidad observada en el contenido

de pigmento de la pulpa probablemente esta relacionada con la considerable diversidad de colores del mucilago que une y rodea a las semillas, al reportar valores de 2.23 a 3.05 mg 100 g⁻¹ para frutos de xoconostle cv. 'Cuaresmeño.

Posteriormente a los 9 dda nuevamente el cultivar 'Amarilla Montesa' (42.64 mg 100 g⁻¹) reveló diferencias estadísticas con los cultivares 'Amarilla Plátano', 'Reyna', 'Cristalina', 'Rojo Pelón', 'Liso Forrajero', 'Nicolaita', 'Caidilla' y 'Cuaresmeño' que tuvieron valores de 76.28, 0.41, 0.34, 14.14, 9.87, 8.34, 78.19 y 0.77 mg 100 g⁻¹, respectivamente. Para el día 12 se observó que este mismo cultivar mostró diferencias significativas respecto al resto de los cultivares. A los 18, 21 y 24 dda los cultivares fueron diferentes entre sí. En este sentido, Coria-Cayupán *et al.* (2011) obtuvieron valores cercanos a éstos (1.01 a 5.84 mg 100 g⁻¹) para *O. megacantha* amarillo y de 1.49 a 10.33 mg 100 g⁻¹ para *O. megacantha* naranja, lo cual concuerda con Chougui *et al.* (2013) quienes obtuvieron valores promedio para el cultivar naranja de 6.79 mg 100 g⁻¹, para el cultivar rojo de 6.04 mg 100 g⁻¹, mientras los cultivares verde y amarillo mostraron valores de 0.41 y 3.44 mg 100 g⁻¹, respectivamente. Resultados similares fueron reportados por Livrea y Tesoriere (2009) para los cultivares 'Amarillo' 'Sulfarina' con 8.42 mg 100 g⁻¹, rojo 'Sanguigna' con 2.61 mg 100 g⁻¹ y blanco 'Muscareda' con 5.86 mg 100 g⁻¹.

Los contenidos de betaxantinas fueron similares entre cultivares observándose valores bajos entre las tunas y xoconostles, mientras que los niveles más altos se encontraron en los cultivares de xocotuna; asimismo se observó que todos los cultivares evaluados tendieron a incrementar sus contenidos de betaxantinas conforme se incrementó el periodo de almacenamiento.

Cuadro 9. Contenido de betaxantina (mg 100 g⁻¹) en pulpa de frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.

CULTIVAR	DÍAS DE EVALUACIÓN								
	0	3	6	9	12	15	18	21	24
Tuna									
‘Amarilla Montesa’ (am)	30.77 b [†]	35.93 bc	38.84 b	42.64 b	109.46 a	-	-	-	-
‘Amarilla Plátano’ (am)	47.88 a	30.73 bc	33.96 bc	76.28 a	44.75 bc	45.02 a	-	-	-
‘Reyna’ (vc)	0.21 d	0.24 e	0.48 e	0.41 d	0.25 e	0.37 c	-	-	-
‘Cristalina’ (vc)	0.19 d	0.35 e	0.21 e	0.34 d	0.42 e	-	-	-	-
‘Rojo Pelón’ (rj)	9.52 cd	13.62 de	13.36 de	14.14 cd	18.12 de	21.78 b	11.60 b	11.23 a	19.91 a
‘Liso Forrajero’ (rj)	8.85 d	9.21 e	8.59 e	9.87 d	4.92 e	7.53 bc	-	-	-
Xocotuna									
‘Cascarón’ (rj)	16.07 bcd	25.72 cd	24.41 cd	25.35 bcd	27.97 cd	23.06 b	29.21 a	-	-
‘Chinchilla’ (rj)	9.91 cd	10.06 e	12.79 de	18.13 bcd	14.81 de	-	-	-	-
‘Coral’ (pu)	25.63 bc	42.26 b	34.10 bc	42.25 bc	49.30 b	-	-	-	-
‘Nicolaita’ (rs)	9.07 d	7.42 e	13.21 de	8.34 d	7.90 e	9.87 bc	-	-	-
‘Caidilla’ (rj)	54.68 a	82.38 a	93.42 a	78.19 a	55.16 b	54.10 a	-	-	-
Xoconostle									
‘Cuaresmeño Blanco’ (vc)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
‘Cuaresmeño’ (rj)	0.34 d	0.37 e	0.30 e	0.77 d	0.52 e	2.35 bc	0.95 c	0.54 b	0.44 b
[†] DMSH	16.33	13.76	13.83	28.28	18.74	21.07	7.78	7.36	7.80

[†]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [†]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($P \leq 0.05$). n.d. no detectado. am: amarillo; vc: verde claro; rj: rojo; pu: púrpura; rs: rosa.

Betalaínas en la cáscara

Betacianinas

Las betalaínas son pigmentos solubles en agua que contienen nitrógeno, los cuales son encontrados en plantas como betabel (*B. vulgaris* spp.), amaranto (*Amaranthus* spp.) y en frutos de cactáceas (*Cactaceae*). Están comprendidas por betacianinas rojo-violeta y betaxantinas amarillo-naranja, se considera que tienen alta actividad antioxidante y potencial para prevenir enfermedades degenerativas (Moussa-Ayoub *et al.*, 2011). En cuanto al contenido de betacianinas en cáscara, al comienzo de la evaluación el cultivar ‘Caidilla’ con 39.71 mg 100 g⁻¹ fue significativamente diferente de ‘Amarilla Montesa’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’,

‘Nicolaita’ y ‘Cuaresmeño’ con valores de 4.85, 0.05, 0.19, 13.97, 21.03, 11.07, 16.56, 19.63 y 0.45 mg 100 g⁻¹, respectivamente. Cabe mencionar que en el cultivar ‘Amarilla Montesa’ este pigmento sólo se detectó al comienzo, mientras que en ‘Cuaresmeño Blanco’ no se detectó durante todo el periodo evaluado (Cuadro 10). Al respecto, Guzmán-Maldonado *et al.* (2010) reportaron valores de betacianinas en cáscara de frutos de xoconostle cv. Cuaresmeño de 1.14 a 1.30 mg 100 g⁻¹, también señalaron que las diferencias en betalaínas se encuentran correlacionadas con el hecho de que los colores amarillo-rosa son mucho más intensos en la cáscara que en la pulpa, lo cual coincide con lo señalado por Dantas *et al.* (2015) al mencionar que el desarrollo de las características de pigmentación de diferentes tejidos (endocarpo, mesocarpo y epicarpo) parece estar regulado por diferentes mecanismos, sin embargo también creen que la coloración completa de la cáscara se alcanza solo después de que los tejidos internos llegan a completar la pigmentación, posiblemente en respuesta al incremento del contenido de azúcares.

A los 3 dda ‘Cascarón’ (22.80 mg 100 g⁻¹) presentó diferencias estadísticas con ‘Amarilla Montesa’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Coral’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’ y ‘Cuaresmeño’ que tuvieron valores de 1.97, 0.04, 0.06, 46.69, 40.76, 49.74 y 0.35 mg 100 g⁻¹, respectivamente. Este mismo cultivar con valor de 18.34 mg 100 g⁻¹ mostró diferencias significativas a los 6 dda respecto a ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’ y ‘Cuaresmeño’ cuyos valores fueron de 0.09, 0.02, 35.44, 92.52 y 0.41 mg 100 g⁻¹, respectivamente. En otro estudio Coria-Cayupán *et al.* (2011) presentaron valores de betaxantinas para *O. megacantha* de frutos amarillos de 0.08 a 0.65 mg 100 g⁻¹ y para *O. megacantha* de frutos naranjas de 0.13 a 1.57 mg 100 g⁻¹ a las 8 semanas de maduración; mientras que Saénz *et al.* (2012) reportaron valores de 19.91 a 46.03 mg

100 g⁻¹ para *Opuntia* sp., de 37.78 a 69.18 mg 100 g⁻¹ para *O. ficus-indica*, de 24.72 mg 100 g⁻¹ para *O. streptacantha* y de 35.04 mg 100 g⁻¹ para *O. pumila*. Ambos resultados coincidieron con lo encontrado en este estudio.

Posteriormente se observó que nuevamente el cultivar ‘Cascarón’ con 35.22 mg 100 g⁻¹ fue estadísticamente diferente de ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Rojo Pelón’, ‘Caidilla’ y ‘Cuaresmeño’, los cuales tuvieron valores de 6.35, 2.24, 0.14, 0.25, 14.69, 52.39 y 0.48 mg 100 g⁻¹, respectivamente. A los 15 dda ‘Caidilla’ (36.21 mg 100 g⁻¹) mostró diferencias significativas con ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’ y ‘Cuaresmeño’ (2.50, 0.08, 14.38, 9.28 y 0.33 mg 100 g⁻¹, respectivamente). Finalmente a los 18, 21 y 24 dda se encontraron diferencias entre los cultivares restantes. Por su parte, Gallegos-Vázquez *et al.* (2014) obtuvieron valores de 3.26 mg 100 g⁻¹ de betacianinas para el cultivar ‘Invierno’ (*Opuntia tezontepecana*) y a su vez Fernández-López *et al.* (2010) presentaron niveles de betacianinas para frutos de *Opuntia ficus-indica*, *Opuntia stricta* y *Opuntia undulata* de 15.2, 80.1 y 24.6 mg 100 g⁻¹, respectivamente, semejantes a los reportados en este estudio.

El contenido de betacianinas fue mayor en los cultivares de xocotuna, seguido de los de tuna y xoconostle; asimismo en su mayoría se observó una tendencia a incrementarse el contenido conforme avanzó el periodo de almacenamiento.

Cuadro 10. Contenido de betacianina (mg 100 g⁻¹) en cáscara de frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.

CULTIVAR	DÍAS DE EVALUACIÓN								
	0	3	6	9	12	15	18	21	24
Tuna									
‘Amarilla Montesa’ (an)	4.85 de [†]	6.38 bc	5.31 cd	6.35 de	9.33 de	-	-	-	-
‘Amarilla Plátano’ (am)	n.d.	1.97 c	2.59 cd	2.24 e	2.16 e	2.50 c	-	-	-
‘Reyna’ (vc)	0.05 e	0.04 c	0.09 d	0.14 e	0.08 e	0.08 c	-	-	-
‘Cristalina’ (vc)	0.19 e	0.06 c	0.02 d	0.25 e	0.26 e	-	-	-	-
‘Rojo Pelón’ (ro)	13.97 cd	14.21 bc	10.38 cd	14.69 cde	11.43 de	14.38 bc	16.01 a	18.14 a	13.70 a
‘Liso Forrajero’ (ro)	21.03 bc	17.41 bc	18.67 bc	22.16 bcd	13.03 cde	9.28 c	-	-	-
Xocotuna									
‘Cascarón’ (rj)	11.07 cde	22.80 b	18.34 c	35.22 b	25.77 bc	29.37 ab	11.90 b	-	-
‘Chinchilla’ (ro)	16.56 bcd	12.89 bc	16.68 cd	20.82 bcd	19.02 cd	-	-	-	-
‘Coral’ (pu)	27.52 ab	46.69 a	19.24 bc	23.12 bc	43.12 a	-	-	-	-
‘Nicolaita’ (rs)	19.63 bc	40.76 a	35.44 b	36.53 ab	20.96 cd	27.62 ab	-	-	-
‘Caidilla’ (ro)	39.71 a	49.74 a	92.52 a	52.39 a	37.08 ab	36.21 a	-	-	-
Xoconostle									
‘Cuaresmeño Blanco’ (vc)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
‘Cuaresmeño’ (rj)	0.45 e	0.35 c	0.41 d	0.48 e	0.47 e	0.33 c	0.49 c	0.35 b	0.47 b
[†] DMSH	12.80	17.89	16.96	16.66	13.07	16.43	3.79	2.5	2.06

[†]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [†]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($P \leq 0.05$). n.d. no detectado. an: anaranjado; am: amarillo; vc: verde claro; ro: rojo oscuro; rj: rojo; pu: púrpura; rs: rosa.

Betaxantinas

A los 0, 3, 6, 9 y 12 dda el cultivar ‘Amarilla Montesa’ presentó los valores más altos (53.29-95.72 mg 100 g⁻¹) y fue significativamente de ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’ y ‘Caidilla’ cuyos niveles de betaxantinas se encontraron en un rango que fue de 0.42 a 34.65 mg 100 g⁻¹. En los cultivares ‘Coral’, ‘Nicolaita’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ no se detectó este pigmento (Cuadro 11). En contraste, Coria-Cayupán *et al.* (2011) reportaron valores de 0.28-3.03 mg 100 g⁻¹ para frutos amarillos y de 0.29-4.42 mg 100 g⁻¹ para frutos naranjas a las 8 semanas de maduración en *O. megacantha*. Asimismo, Guzmán-

Maldonado *et al.* (2010) obtuvieron valores de 2 a 2.34 mg 100 g⁻¹ para xoconostle cv. Cuaresmeño, y mencionaron que la variabilidad observada en el contenido de betaxantinas y betacianinas en estos frutos podría deberse a la cosecha, la cual pudo no ser estrictamente homogénea o regulada durante el cultivo.

Para el día 15 el cultivar ‘Reyna’ (0.60 mg 100 g⁻¹) presentó diferencias estadísticas con ‘Amarilla Plátano’ y ‘Rojo Pelón’ cuyos valores fueron de 30.29 y 20.71 mg 100 g⁻¹, respectivamente. Finalmente a los 18 dda ‘Rojo Pelón’ y ‘Cascarón’ fueron estadísticamente diferentes con 17.11 y 1.33 mg 100 g⁻¹. Otros autores reportaron valores similares de betaxantinas en *O. ficus-indica* de 25.4 mg 100 g⁻¹ y en *O. undulata* de 17.8 mg 100 g⁻¹, adicionalmente se han encontrado valores de 2.8 mg 100 g⁻¹ para el cultivar de xoconostle Invierno (Fernández-López *et al.*, 2010; Gallegos-Vázquez *et al.*, 2014). En este estudio el contenido de betaxantinas en la cáscara fue similar entre los cultivares evaluados, a la vez que se observó una disminución de dicho parámetro conforme pasaron los días de almacenamiento.

Cuadro 11. Contenido de betaxantina (mg 100 g⁻¹) en cáscara de frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.

CULTIVAR	DÍAS DE EVALUACIÓN						
	0	3	6	9	12	15	18
Tuna							
‘Amarilla Montesa’ (an)	53.29 a [†]	48.63 a	58.91 a	88.55 a	95.72 a	-	-
‘Amarilla Plátano’ (am)	9.00 cd	16.50 bcd	34.65 b	22.44 bc	25.02 b	30.29 a	-
‘Reyna’ (vc)	0.43 d	0.42 d	0.63 d	0.71 e	0.56 d	0.60 c	-
‘Cristalina’ (vc)	0.82 d	0.59 d	0.86 d	0.49 e	0.73 d	-	-
‘Rojo Pelón’ (ro)	18.68 bc	27.47 b	14.10 cd	17.84 cd	17.31 bc	20.71 ab	17.11 a
‘Liso Forrajero’ (ro)	29.75 b	26.24 bc	22.36 bc	34.44 b	15.33 bc	8.42 bc	-
Xocotuna							
‘Cascarón’ (rj)	2.43 d	5.05 d	3.29 d	5.81 de	3.35 cd	4.91 bc	1.33 b
‘Chinchilla’ (ro)	8.01 cd	3.74 d	4.58 d	5.95 de	5.29 cd	-	-
‘Coral’ (pu)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	-	-
‘Nicolaita’ (rs)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	-
‘Caidilla’ (ro)	9.60 cd	10.50 cd	24.20 bc	12.11 cde	8.04 cd	8.10 bc	-
Xoconostle							
‘Cuaresmeño Blanco’ (vc)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
‘Cuaresmeño’ (rj)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
[†] DMSH	14.67	16.4	15.34	13.7	14.04	16.16	8.01

[†]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [†]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($P \leq 0.05$). n.d. no detectado. an: anaranjado; am: amarillo; vc: verde claro; ro: rojo oscuro; rj: rojo; pu: púrpura; rs: rosa.

Clorofila total en la pulpa

El contenido de clorofila total se determinó solamente en los cultivares ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’ y ‘Cuaresmeño Blanco’, debido a que en ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’, ‘Coral’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’ y ‘Cuaresmeño’ no fue detectada. Al comienzo de la evaluación ‘Amarilla Plátano’ con 19.55 mg 100 g⁻¹ presentó diferencias estadísticas con ‘Amarilla Montesa’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’ y ‘Cuaresmeño Blanco’ que tuvieron valores de 70.11, 47.15, 53.23 y 46.53 mg 100 g⁻¹, respectivamente. Asimismo para el día 3 ‘Amarilla Plátano’ (17.79 mg 100 g⁻¹) fue significativamente diferente de ‘Amarilla Montesa’, ‘Reyna’ y ‘Cristalina’ con 71.67, 48.18 y 53.19 mg 100 g⁻¹, respectivamente (Cuadro 12). En

relación con este parámetro Figueroa-Cares *et al.* (2010) encontraron que los cultivares de tuna blanca y amarilla presentaron el mayor contenido de clorofila total, de tal manera que los cultivares ‘Cristalina’, ‘Vaquera’, ‘Amarilla Diamante’ y ‘Mango’ tuvieron valores de 118.82, 170.23, 119.10 y 125.59 mg 100 g⁻¹, mientras que los cultivares ‘Amarilla Montesa’, ‘Cacalote’ y ‘Tapón Aguanoso’ de pulpa naranja y púrpura mostraron valores de 35.98, 50.45 y 59.30 mg 100 g⁻¹, parecidos a los reportados en este estudio. Estos autores mencionaron que los resultados encontrados permiten inferir que la relación entre el color de la pulpa y la presencia de clorofila es indirecta, por tanto esta característica es un mal indicador del contenido de pigmentos.

A los 6 dda ‘Amarilla Montesa’ (75.95 mg 100 g⁻¹) mostró diferencias significativas con respecto a ‘Amarilla Plátano’, ‘Cristalina’ y ‘Cuaresmeño’ con valores de 22.73, 52.16 y 49.88 mg 100 g⁻¹, respectivamente. También se observó que a los 9 y 12 dda nuevamente ‘Amarilla Montesa’ tuvo diferencias estadísticas con ‘Amarilla Plátano’ y ‘Reyna’. Finalmente para el día 15 ‘Amarilla Plátano’ (25.56 mg 100 g⁻¹) fue estadísticamente diferente de ‘Cuaresmeño Blanco’ (53.14 mg 100 g⁻¹). Yahia *et al.* (2010) también encontraron una gran variación en el contenido de clorofila en 10 cultivares evaluados, cuyos valores oscilaron entre 5.6 y 15.5 mg 100 g⁻¹, donde el valor más bajo fue observado en el cultivar ‘Reina’, mientras que el más alto se obtuvo en ‘Camuesa’. Por su parte Coria-Cayupán *et al.* (2011) en frutos de *O. megacantha* de coloración amarilla y naranja reportaron valores de 3.37-1.69 mg 100 g⁻¹ y de 5.65-1.58 mg 100 g⁻¹, respectivamente, a las 8 semanas de maduración. Estos valores fueron menores a los reportados en este estudio.

En general se observó que el contenido de clorofila se incrementó en la mayoría de los cultivares evaluados conforme avanzó el tiempo de almacenamiento, destacando el cultivar ‘Amarilla Montesa’ con los niveles más altos seguido por ‘Cristalina’.

Cuadro 12. Contenido de clorofila total (mg 100 g⁻¹) en pulpa de frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.

CULTIVAR	DÍAS DE EVALUACIÓN					
	0	3	6	9	12	15
Tuna						
‘Amarilla Montesa’ (am)	70.11 a [†]	71.67 a	75.95 a	68.99 a	70.75 a	-
‘Amarilla Plátano’ (am)	19.55 b	17.79 b	22.73 c	18.85 c	21.97 b	25.56 b
‘Reyna’ (vc)	47.15 a	48.18 a	65.04 ab	44.88 b	46.84 ab	43.80 ab
‘Cristalina’ (vc)	53.23 a	53.19 a	52.16 b	59.75 ab	56.94 a	-
Xoconostle						
‘Cuaresmeño Blanco’ (vc)	46.53 a	43.11 ab	49.88 b	53.85 ab	59.32 a	53.14 a
[†] DMSH	25.62	29.03	21.2	22.24	33.64	20.77

[†]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [†]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($P \leq 0.05$). am: amarillo; vc: verde claro; rj: rojo; pu: púrpura; rs: rosa.

Clorofila total en la cáscara

El contenido de clorofila total se determinó solamente en los cultivares ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’ y ‘Cuaresmeño Blanco’, debido a que en ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’, ‘Coral’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’ y ‘Cuaresmeño’ no fue detectada. En este sentido, al inicio de la evaluación el cultivar ‘Reyna’ (78.95 mg 100 g⁻¹) fue significativamente diferente de ‘Amarilla Montesa’ y ‘Amarilla Plátano’ con valores de 36.37 y 40.48 mg 100 g⁻¹. A los 3 dda ‘Amarilla Plátano’ con 27.72 mg 100 g⁻¹ mostró diferencias estadísticas con ‘Cuaresmeño Blanco’ (74.82 mg 100 g⁻¹) (Cuadro 13). Después a los 9 dda se observaron dos grupos distintos, el primero formado por ‘Amarilla Montesa’ y ‘Amarilla Plátano’ con valores de 32.70 y 26.93 mg 100 g⁻¹, y el segundo integrado por los

cultivares ‘Reyna’, ‘Cristalina’ y ‘Cuaresmeño Blanco’ cuyos valores fueron de 74.32, 77.95 y 73.98 mg 100 g⁻¹, respectivamente. A los 12 dda ‘Amarilla Plátano’ (21.14 mg 100 g⁻¹) mostró diferencias estadísticas con ‘Reyna’ (72.29 mg 100 g⁻¹), ‘Cristalina’ (55.15 mg 100 g⁻¹) y ‘Cuaresmeño Blanco’ (74.13 mg 100 g⁻¹). Finalmente a los 15 dda ‘Amarilla Plátano’ con 25.78 mg 100 g⁻¹ fue estadísticamente diferente de ‘Reyna’ y ‘Cuaresmeño Blanco’ con valores de 87.78 y 92.21 mg 100 g⁻¹. Al respecto, Coria-Cayupán *et al.* (2011) han reportado para cáscara de frutos de *O. megacantha* de coloración amarilla y naranja contenidos de clorofila de 8.68-4.55 mg 100 g⁻¹ y de 10.45-6.44 mg 100 g⁻¹, respectivamente, a las 8 semanas de maduración; también señalaron que los cambios en el color de la cáscara de los frutos se encuentran relacionados con modificaciones en la composición de los principales pigmentos durante la maduración. Cabe mencionar que los valores encontrados en este estudio fueron superiores, lo cual podría atribuirse a diferencias debidas al cultivar.

Cuadro 13. Contenido de clorofila total (mg 100 g⁻¹) en cáscara de frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.

CULTIVAR	DÍAS DE EVALUACIÓN					
	0	3	6	9	12	15
Tuna						
‘Amarilla Montesa’ (an)	36.37 b [†]	38.37 ab	39.33 bc	32.70 b	42.19 bc	-
‘Amarilla Plátano’ (am)	40.48 b	27.72 b	27.08 c	26.93 b	21.14 c	25.78 b
‘Reyna’ (vc)	78.95 a	60.65 ab	67.41 ab	74.32 a	72.29 a	87.78 a
‘Cristalina’ (vc)	63.59 ab	64.40 ab	71.28 ab	77.95 a	55.15 ab	-
Xoconostle						
‘Cuaresmeño Blanco’ (vc)	58.43 ab	72.23 a	74.82 a	73.28 a	74.13 a	92.21 a
[†] DMSH	30.27	38.47	34.00	29.21	28.53	35.83

[†]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [†]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($P \leq 0.05$). an: anaranjado; am: amarillo; vc: verde claro; ro: rojo oscuro; rj: rojo; pu: púrpura; rs: rosa.

En la mayoría de los cultivares evaluados, hubo una tendencia a incrementarse el contenido de clorofila en la cáscara conforme avanzó el tiempo de almacenamiento, siendo ‘Reyna’ y ‘Cuaresmeño’ Blanco los que presentaron los niveles más altos.

Carotenos en la pulpa

El contenido de carotenos se determinó solamente en los cultivares de tuna ‘Amarilla Montesa’ y ‘Amarilla Plátano’, debido a que en ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’, ‘Coral’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ no se detectaron. Se observaron diferencias estadísticas a los 0, 6, 9 y 12 dda. El cultivar ‘Amarilla Montesa’ destacó con los valores más altos que fueron de 34.95 a 93.28 mg 100 g⁻¹, mientras que en el cultivar ‘Amarilla Plátano’ fue de 27.81 a 30.15 mg 100 g⁻¹ a los 12 dda. Cabe mencionar que en ambos cultivares se observó un incremento del contenido de carotenos (Cuadro 14). Estos resultados fueron mayores a los obtenidos por Figueroa-Cares *et al.* (2010) en los cultivares ‘Cristalina’, ‘Mansa’ y ‘Vaquera’ los cuales fueron de 0.7 a 1.19 mg 100 g⁻¹, y también mayores a los reportados para ‘Amarilla Diamante’, ‘Cacalote’ y ‘Tapón Aguanoso’ de 132.12 a 158.38 mg 100 g⁻¹. No obstante cabe mencionar que para el cultivar ‘Amarilla Montesa’ el contenido de carotenos fue de 36.73 mg 100 g⁻¹, similar a lo encontrado en este estudio para este mismo cultivar. Otros autores reportaron niveles similares para el cultivar ‘Naranjona’ donde el contenido de carotenos fue de 85 mg 100 g⁻¹ a la cosecha, y disminuyó a 52 mg 100 g⁻¹ a los 14 días, a su vez encontraron que en Blanca ‘Cristalina’ estos valores fueron de 4 a 25 mg 100 g⁻¹ y en ‘Esmeralda’ de 7 a 27 mg 100 g⁻¹ a los 28 días (Hernández-Pérez *et al.*, 2005).

Cuadro 14. Contenido de carotenos (mg 100 g⁻¹) en pulpa de frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.

CULTIVAR	DÍAS DE EVALUACIÓN				
	0	3	6	9	12
Tuna					
‘Amarilla Montesa’ (am)	34.95 a [†]	32.54 a	34.53 a	46.81 a	93.28 a
‘Amarilla Plátano’ (am)	27.81 b	27.54 a	25.76 b	36.67 b	30.15 b
[‡] DMSH	3.17	8.97	6.30	9.23	11.69

[†]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [‡]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($P \leq 0.05$). am: amarillo; vc: verde claro; rj: rojo; pu: púrpura; rs: rosa.

Carotenos en la cáscara

El contenido de carotenos se determinó solamente en los cultivares de tuna ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’ y ‘Reyna’, debido a que en ‘Cristalina’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’, ‘Coral’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ no se detectaron. Se encontraron diferencias estadísticas durante todo el periodo evaluado entre los cultivares ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’ y ‘Reyna’. Asimismo ‘Amarilla Montesa’ presentó los valores más altos que fueron de 17.10 a 34.25 mg 100 g⁻¹, mientras que los más bajos se observaron en ‘Reyna’ y fueron de 8.80 a 5.12 mg 100 g⁻¹ con una clara disminución de estos a los 15 dda (Cuadro 15). Estos resultados fueron mayores que los señalados por Fernández-López *et al.* (2010), los cuales obtuvieron contenidos de carotenos de 2.58, 4.71 y 6.68 mg 100 g⁻¹ para *Opuntia ficus-indica*, *Opuntia stricta* y *Opuntia undulata* respectivamente. En este contexto, la variabilidad en el contenido de carotenos puede ser debida a varios factores, tales como el tipo de fruto, cultivar, las diferencias en los constituyentes del mismo y los métodos usados para su extracción y cuantificación (Corral-Aguayo *et al.*, 2008).

Cuadro 15. Contenido de carotenos (mg 100 g⁻¹) en cáscara de frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.

CULTIVAR	DÍAS DE EVALUACIÓN					
	0	3	6	9	12	15
Tuna						
‘Amarilla Montesa’ (an)	17.10 a [†]	42.93 a	28.58 a	34.11 a	34.25 a	-
‘Amarilla Plátano’ (am)	13.84 b	20.07 b	13.50 b	15.18 b	21.77 b	17.00 a
‘Reyna’ (vc)	8.80 c	7.57 c	5.03 c	7.60 c	7.46 c	5.12 b
[†] DMSH	2.03	6.41	4.69	4.95	6.12	2.91

[†]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($P \leq 0.05$). an: anaranjado; am: amarillo; vc: verde claro; ro: rojo oscuro; rj: rojo; pu: púrpura; rs: rosa.

3.6 CONCLUSIONES

Los cultivares de xoconostle y xocotuna presentaron altos niveles de capacidad antioxidante. El mayor contenido de fenoles totales se encontró en los xoconostles, mientras que los de tuna y xocotuna fueron similares. El contenido de vitamina C fue mayor en los xoconostles, seguido de las xocotunas y tunas. Las concentraciones de betalainas, clorofila total y carotenos estuvieron en función del color característico del fruto.

Finalmente, los cultivares analizados, principalmente los de xoconostle y xocotuna, mostraron ser una buena fuente de vitamina C y antioxidantes, por lo que podrían ser considerados una excelente alternativa para ser incorporados a la dieta o como ingredientes naturales en otros productos.

3.7 LITERATURA CITADA

Abdel-Hameed, E.-S. S., M.A. Nagaty, M.S. Salman and S.A. Bazaid. 2014.

Phytochemicals, nutritionals and antioxidant properties of two prickly pear

- cactus cultivars (*Opuntia ficus indica* Mill.) growing in Taif, KSA. 2014. Food Chemistry 160: 31-38.
- Aquino, E.N.B., Y.M. Chavarria, J.L.S. Chávez, R.I.G. Guzmán, E.R.H. Silva y I.G. Verdalet. 2012. Caracterización fisicoquímica de siete variedades de tuna (*Opuntia* spp.) color rojo-violeta y estabilidad del pigmento de las dos variedades con mayor concentración. Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes 55: 3-10.
- Azeredo, H.M.C. 2009. Betalains: properties, sources, applications, and stability - a review. International Journal of Food Science and Technology 44: 2365-2376.
- Bendhifi, M., M. Trifi, S. Souid and L. Zourgui. 2013. Chemical characterization of *Opuntia* spp. fruits in Tunisia. Acta Hort. 995: 279-283.
- Bravo, H.H. y L. Scheinvar. 1999. El interesante mundo de las cactáceas. 2ª edición. Fondo de Cultura Económica. México, D. F. 233 p.
- Bravo-Hollis, H. 1978. Las cactáceas de México. Vol.1. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria. México, D.F. 743 p.
- Cantwell, M. 1995. Postharvest Management of Fruits and Vegetables Stems. In: Agroecology, Cultivation and Uses of Cactus Pear. Barbera, G., P. Inglese, E. Pimienta-Barrios (eds.). FAO, Rome, Italy. Paper 132:120-143.
- Cardador-Martínez, A., C. Jiménez-Martínez and G.Sandoval. 2011. Revalorization of cactus pear (*Opuntia* spp.) wastes as a source antioxidants. Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas 31(3): 782-788.
- Castellanos-Santiago, E. and E.M. Yahia. 2008. Identification and quantification of betalains from the fruits of 10 mexican prickly pear cultivars by high-

- performance liquid chromatography and electrospray ionization mass spectrometry. J. Agric. Food Chem. 56: 5758-5764.
- Cerezal, P. y G. Duarte. 2005. Algunas características de tunas (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller) cosechadas en el altiplano andino de la 2da Región de Chile. J.PACD 7: 34-60.
- Chavéz-Santoscoy, R.A., J.A. Gutiérrez-Urbe and S.O. Serna-Saldívar. 2009. Phenolic composition, antioxidant capacity and *In Vitro* cancer cell cytotoxicity of nine prickly pear (*Opuntia* spp.) juices. Plant foods Hum Nutr 64: 146-152.
- Chougui, N., H. Louaileche, S. Mohedeb, Y. Mouloudj, Y. Hammoui and A. Tamendjari. 2013. Physico-chemical characterization and antioxidant activity of some *Opuntia ficus-indica* varieties grown in North Algeria. African Journal of Biotechnology 12(3): 299-307.
- Coria-Cayupán, Y. and M.A. Nazareno. 2015. Betalain profile and antioxidant phytochemicals of *Opuntia* fruits from Santiago del Estero, Argentina. Acta Hort. 1067: 311-317.
- Coria-Cayupán, Y., Ma. J. Ochoa and M.A. Nazareno. 2011. Health-promoting substances and antioxidant properties of *Opuntia* sp. fruits. Changes in bioactive-compound contents during ripening process. Food Chemistry 126: 514-519.
- Corral-Aguayo, R.D., E.M. Yahia, A. Carrillo-López and G. González-Aguilar. 2008. Correlation between some nutritional components and the total antioxidant capacity measured with six different assays in eight horticultural crops. J. Agric. Food Chem. 56: 10498-10504.

- Dantas, R.L., S.M. Silva, D.M. Brito Primo, A.S.B. Sousa, E.S. Brito and E.M.S. Macedo. 2015. Changes during maturation in the bioactive compounds and antioxidant activity of *Opuntia stricta* (Haw.) fruits. *Acta Hort.* 1067: 159-165.
- Díaz-Medina, E.M., E.M. Rodríguez-Rodríguez and C. Díaz-Romero. 2007. Chemical characterization of *Opuntia dillenii* and *Opuntia ficus indica* fruits. *Food Chemistry* 103: 38-45.
- Fernández-López, J. A., L. Almela, J.M. Obón and R. Castellar. 2010. Determination of antioxidant constituents in cactus pear fruits. *Plant Foods Hum. Nutr.* 65: 253-259.
- Figuerola-Cares, I., Ma. T. Martínez-Damián, E. Rodríguez-Pérez, Ma. T. Colinas-León, S. Valle-Guadarrama, S. Ramírez-Ramírez y C. Gallegos-Vázquez. 2010. Contenido de pigmentos, otros compuestos y capacidad antioxidante en 12 cultivares de tuna (*Opuntia* spp.) de México. *Agrociencia* 44(7): 763-771.
- Frankel, E.N. and J.B. German. 2006. Antioxidants in foods and health: problems and fallacies in the field. *J. Sci Food Agric.* 86: 1999-2001.
- Gallegos-Vázquez, C., A.F. Barrientos-Priego, J.A. Reyes-Agüero, C.A. Núñez-Colín and C. Mondragón-Jacobo. 2011. Clusters of commercial varieties of cactus pear and xoconostle using UPOV morphological traits. *J. PACD* 13: 10-22.
- Gallegos-Vázquez, C. y C. Mondragón-Jacobo. 2011. Cultivares selectos de tuna de México al mundo. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas - Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) - Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 159 p.

- Gallegos-Vázquez, C., L. Scheinvar, H. Silos-Espino, A.D. Fuentes-Hernández, C.A. Núñez-Colín y G. Olalde-Parra. 2014. 'Invierno', cultivar de xoconostle para la región central de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7: 1349-1354.
- Guzmán-Maldonado, S.H., A.L. Morales-Montelongo, C. Mondragón-Jacobo, G. Herrera-Hernández, F. Guevara-Lara and R. Reynoso-Camacho. 2010. Physicochemical, nutritional, and functional characterization of fruits xoconostle (*Opuntia matudae*) pears from Central-México region. *Journal of Food Science* 75(6): 485-492.
- Hegwood, D.A. 1990. Human health discoveries with *Opuntia* sp. (Prickly pear). *HortScience* 25(12): 1515-1516.
- Hernández-Fuentes, A.D., A. Trapala-Islas, C. Gallegos-Vázquez, R.G. Campos-Montiel, J.M. Pinedo-Espinoza and S.H. Guzmán-Maldonado. 2015. Physicochemical variability and nutritional and functional characteristics of xoconostles (*Opuntia* spp.) accessions from México. *Fruits* 70(2): 109-116.
- Hernández, H. M. y H. Godínez .1994. Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. *Acta Botánica Mexicana* 26:33-52.
- Hernández-Pérez, T., A. Carrillo-López, F. Guevara-Lara, A. Cruz-Hernández and O. Paredes-López. 2005. Biochemical and nutritional characterization of three pear species with different ripening behavior. *Plants Foods for Human Nutrition* 60: 195-200.
- Jagota, S.K. and H.M. Dani. 1982. A new colorimetric technique for the estimation of vitamin C using Folin phenol reagent. *Analytical Biochemistry* 127: 178-182.

- Kugler, F., F.C. Stintzing and R. Carle. 2007. Evaluation of the antioxidant capacity of betalainic fruits and vegetables. *Journal of Applied Botany and Food Quality* 81: 69-76.
- Lichtenthaler, H. K. 1987. Chlorophylls and carotenoids, pigments of photosynthetic biomembranes. *In: Methods in enzymology*. Packer, L.; Donce, R. (eds.). Academic Press Inc. New York, USA. pp. 350-383.
- Livrea, M.A. and L. Tesoriere. 2009. Antioxidative effects of cactus pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. Fruits from Sicily and bioavailability of betalain components in healthy humans. *Acta Hort.* 811: 197-204.
- Morales, P., E. Ramírez-Romero, Ma. C. Sánchez-Mata, A. Ma. Carvalho and I.C.F.R. Ferreira. 2012. Nutritional and antioxidant properties of pulp and seeds of two xoconostle cultivars (*Opuntia joconostle* F.A.C. Weber ex Diguet and *Opuntia matudae* Scheinvar) of high consumption in México. *Food Research International* 46: 279-285.
- ‘Moussa’-Ayoub, T.E., S.K. El-Samahy, S. Rohn and L.W. Kroh. 2011. Flavonols, betacyanins content and antioxidant activity of cactus *Opuntia macrorhiza* fruits. *Food Research International* 44: 2169-2174.
- Nilsson, T. 1970. Studies into the pigments in beetroot (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris* var. *rubra* L.). *Lantbrukshögskolans Annaler* 36: 179-219.
- Osorio-Esquivel, O., A. Ortiz-Moreno, V.B. Álvarez, L. Dorantes-Álvarez and M.M. Giusti. 2011. Phenolics, betacyanins and antioxidant activity in *Opuntia joconostle* fruits. *Food Research International* 44: 2160-2168.
- Ozgen, M., R.R. Neil, Jr. A.Z. Tulio, J.C. Scheerens and A.M. Raymond. 2006. Modified 2,2-Azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid (ABTS) Method

- to measure antioxidant capacity of selected small fruits and comparison to ferric reducing antioxidant power (FRAP) and 2,2'-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) Methods. J. Agric. Food Chem. 54: 1151-1157.
- Repo, R.C. y C.R.Z. Encina. 2008. Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas. Rev. Soc. Quím. Perú. 74(2): 108-124.
- Reyes-Agüero, J.A., J.R.R. Aguirre. y J.J.F. Flores. 2005. Variación morfológica de *Opuntia (cactaceae)* en relación con su domesticación en la altiplanicie meridional de México. Interciencia 30(8): 476-484.
- Rice-Evans, A.C., N.J. Miller and G. Paganga. 1997. Antioxidant properties of phenolic compounds. Trends in Plant Science 2(4): 152-158.
- Rzedowski, J. 1991. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. Acta Botánica Mexicana, 14: 3-21.
- Scalzo, J., A. Politi, N. Pellegrini, B. Mezzetti and M. Battino. 2005. Plant genotype affects total antioxidant capacity and phenolic contents in fruit. Nutrition 21: 207-213.
- Saénz, C. 2006. *Opuntia* spp. Bioactive compounds in foods: a *Plus* for health. Acta Hort. 728: 231-240.
- Saénz, C., B. Cancino and P. Robert. 2012. Red betalains from *Opuntia* spp.: Natural colorants with potential applications in foods. Israel Journal of Plant Sciences 60: 291-299.
- Scheinvar, L. y G. Manzanero. 2009. *Opuntia chianguiana*, Una nueva especie de Cactaceae de Oaxaca, México. Journal for Botanical Nomenclature 19(2): 222-228.

- Statistical Analysis System. 2002. SAS/STAT users guide: Statics, Ver. 9.00. SAS Institute Inc. Cary, North Caroline, USA, 1503 p.
- Stintzing, F., K.M. Herbach, M.R. Mosshammer, R. Carle, W. Yi, S. Sellappan, C.C. Akoh, R. Bunch and P. Felker. 2005. Color, betalain pattern, and antioxidant properties of cactus pear (*Opuntia* spp.) clones. J. Agric. Food Chem. 53: 442-451.
- Sumaya-Martínez, Ma. T., T. Suárez-Diéguez, N.S. Cruz-Cansino, E. Alanís-García y J.G. Sampedro. 2010. Innovación de productos de alto valor agregado a partir de la tuna mexicana. Revista Mexicana de Agronegocios 27: 435-441.
- Vicente, A.R., G.A. Manganaris, G.O. Sozzi and C.H. Crisosto. 2009. Nutritional quality of fruits and vegetables. *In*: Postharvest handling: A systems approach. Florkowski, W.J., R.L. Shewfelt, B. Brueckner, S.E. Prussia (eds.). Elsevier Inc. Academic Press. pp. 58-93.
- Waterman, P. G. and S. Mole. 1994. Analysis of Phenolic Plant Metabolites. Blackwell Scientific Publications, Oxford. UK. 238 p.
- Yahia, E.M., E. Castellanos and C. Mondragón-Jacobo. 2010. Identification and quantification of pigments in prickly pear fruit. Acta Hort. 877:1129-1136.
- Yahia, E.M. and C. Mondragón-Jacobo. 2011. Nutritional components and anti-oxidant capacity of ten cultivars and lines of cactus pear fruit (*Opuntia* spp.). Food Research International 44: 2311-2318.
- Yeddes, N., J.K. Chérif, S. Guyot, H. Sotin and M.T. Ayadi. 2013. Comparative study of antioxidant power, poliphenols, flavonoids and betacyanins of the peel and pulp of three Tunisian *Opuntia* forms. Antioxidants 2: 37-51.

**4. RESPIRACIÓN, ETILENO Y CONTENIDO DE METABOLITOS
ANAEROBIOS EN FRUTOS DE XOCOTUNA, TUNA Y XOCONOSTLE EN
POSTCOSECHA**

4.1 RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar la intensidad respiratoria, producción de etileno y contenido de metabolitos anaerobios de xocotuna en comparación con tuna y xoconostle. Las determinaciones se realizaron a partir de frutos frescos cosechados en madurez fisiológica en los meses de junio, agosto y octubre del año 2013. La evaluación comprendió 24 días en almacenamiento a temperatura ambiente (22 °C). Cada 3 días se tomaron muestras para respiración (CO₂), producción de etileno (C₂H₄) y metabolitos anaerobios (etanol y acetaldehído), los cuales posteriormente fueron cuantificados mediante cromatografía de gases. Los resultados mostraron que los cultivares de xocotuna ‘Cascarón’ y ‘Chinchilla’ tuvieron los niveles más altos de respiración con valores de 26.30 a 31.63 a los 18 días y de 37.87 a 32.37 mL CO₂.kg⁻¹.h⁻¹ a los 12 días respectivamente. En relación a la producción de etileno el cultivar de xocotuna ‘Caidilla’ presentó los valores más altos que fueron de 0.53-0.66 µL C₂H₄.kg⁻¹.h⁻¹, a los 15 días. La concentración más alta de acetaldehído se observó en el cultivar de tuna ‘Liso Forrajero’ (6.28 mg/ 100mL), mientras que la de etanol en el cultivar de tuna ‘Cristalina’ (65.63 mg/ 100mL). Los resultados obtenidos demuestran que los frutos de tuna, xocotuna y xoconostle presentaron un patrón respiratorio típico de los frutos no climatéricos y que las concentraciones similares de etanol y acetaldehído podrían estar relacionadas con la descomposición del fruto aunado al proceso de maduración.

Palabras clave: etileno, etanol, acetaldehído, maduración.

4.2 ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate respiratory intensity, ethylene concentration and of anaerobic metabolites content of xocotuna fruits compared to prickly pear and xoconostle. Measurements were obtained for fresh fruits harvested at physiological maturity during June, August and October 2013. Fruits were evaluated during 24 days storage at room temperature (22 ° C). Samples were taken every 3 days to evaluate respiration intensity (CO_2), ethylene production (C_2H_4) and anaerobic metabolites (ethanol and acetaldehyde) content, which were quantified by gas chromatography. The obtained results showed that xocotuna cultivars ‘Cascarón’ and ‘Chinchilla’ had higher levels of respiration with values of 26.30 to 31.63 at 18 days, and 37.87 to 32.37 mL $\text{CO}_2\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ at 12 days of storage, respectively. Regarding the production of ethylene, xocotuna cultivar ‘Caidilla’ presented higher concentrations from 0.53 to 0.66 $\mu\text{L C}_2\text{H}_4\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$, at 15 days. The highest concentration of acetaldehyde was observed for the cultivar of prickly pear ‘Liso Forrajero’ (6.28 mg / 100 mL), while high ethanol was obtained for the cultivar of prickly pear ‘Cristalina’ (65.63 mg / 100 mL). The results in this study that compared fruits of prickly pear, xocotuna and tuna presented a typical respiratory pattern of non-climateric, fruits while that similar concentrations of ethanol and acetaldehyde could be related to the decomposition of fruit coupled to maturation process.

Keywords: ethylene, ethanol, acetaldehyde, maturation.

4.3 INTRODUCCIÓN

El género *Opuntia* es considerado un recurso fitogenético valioso, donde más de 40 especies silvestres y domesticadas son utilizadas en la medicina, la alimentación humana y animal, pues su contenido de fibra cruda, proteínas, sales, minerales, y otras sustancias digestibles, hacen de éstas un alimento de alta calidad nutricional. En este sentido, se sabe que la mayoría de las especies de este género producen frutos de sabor dulce denominados tunas, mientras que una minoría produce frutos de sabor ácido, los cuales son conocidos como xoconostles. Al mismo tiempo, las xocotunas son frutos poco conocidos, y se considera que probablemente son híbridos derivados de las tunas y xoconostles. Éstos se caracterizan por ser frutos pequeños, con mesocarpio carnoso, esponjoso y un paquete de semillas en el núcleo central, de pulpa semi-ácida o ligeramente dulce (Hegwood 1990; Gallegos-Vázquez *et al.*, 2012).

A pesar de su importancia, los frutos de esta especie son altamente perecederos debido principalmente a los daños físicos que sufren en la epidermis y en la zona peduncular durante la cosecha y el manejo poscosecha, asimismo se han caracterizado como frutos no climatéricos, debido a que su tasa de respiración en poscosecha es relativamente baja en comparación con la de otros frutos y además, ésta tiende a disminuir con el paso del tiempo, así como por no presentar un incremento en la síntesis de etileno (Cantwell, 1995; Ávalos-Andrade *et al.*, 2006).

Este comportamiento se encuentra estrechamente relacionado con la maduración de los frutos, en la cual ocurren importantes cambios desde las últimas etapas del crecimiento y desarrollo, hasta las primeras etapas de senescencia, incluyendo ablandamiento, cambio de color, acumulación de compuestos volátiles, y azúcares que derivan en ácidos

orgánicos resultado de la actividad de enzimas específicas; dichos cambios se traducen en las características de calidad de los frutos (Sanz, 2005). Con base en lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la intensidad respiratoria y contenido de metabolitos anaerobios de xocotuna en comparación con tuna y xoconostle.

4.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Se utilizaron frutos de xocotuna, tuna y xoconostle (Cuadro 1) frescos en madurez fisiológica de acuerdo con los parámetros visuales comerciales usados regionalmente de tamaño y llenado del fruto, uniformidad e intensidad de color característico para cada cultivar; así como la ausencia de defectos y pudriciones (Cantwell, 1995). Las determinaciones experimentales se realizaron a partir de frutos cosechados en los meses de junio, agosto y octubre del año 2013. El material vegetal se obtuvo de El Orito, Zacatecas, México.

Cuadro 1. Material vegetal utilizado.

Clave*DNO	Variante	Nombre científico
Tuna		
O-024	‘Amarilla Montesa’	<i>O. megacantha</i> Salm-Dick
O-089	‘Amarilla Plátano’	<i>O. megacantha</i> Salm-Dick
O-110	‘Reyna’	<i>Opuntia albicarpa</i> Scheinvar
O-015	‘Cristalina’	<i>Opuntia albicarpa</i> Scheinvar
O-050	‘Rojo Pelón’	<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.
O-027	‘Liso Forrajero’	<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.
Xocotuna		
O-076	‘Cascarón’	<i>O. chavena</i> Griffiths
O-239	‘Chinchilla’	<i>O. streptacantha</i> Lem.
O-291	‘Coral’	<i>O. affinis lindheimeri</i>
O-294	‘Nicolaita’	<i>Opuntia</i> sp.
O-232	‘Caidilla’	<i>Opuntia</i> sp.
Xoconostle		
O-301	‘Cuaresmeño Blanco’	<i>O. matudae</i> Scheinvar
O-190	‘Cuaresmeño’	<i>O. matudae</i> Scheinvar

*Depositorio Nacional de Opuntia. El Orito, Zacatecas, México.

Diseño experimental

El diseño experimental fue completamente al azar, con cuatro repeticiones. Se consideró como unidad experimental a un fruto. La evaluación comprendió 24 días de almacenamiento (dda) de fruto en condiciones de temperatura ambiente, las determinaciones fueron realizadas cada 3 días a partir del día cero de almacenamiento.

Caracteres evaluados:

Tasa de respiración y producción de etileno

La respiración (CO_2) y producción de etileno (C_2H_4) se cuantificaron mediante un sistema estático (Mendoza-Wilson y Báez-Sañudo, 2000) que consistió en colocar un fruto de peso conocido, en recipientes con volumen también conocido y cerrados herméticamente durante 1 h. Posteriormente se tomó una muestra de 6 mL de gas del espacio libre con una jeringa de plástico y se colocó en un tubo de vacío de marca Vacutainer, del cual se tomó 1 mL del gas y se inyectó al cromatógrafo de gases VARIAN modelo 3400 CX equipado con una columna empacada tipo abierta de capa porosa de sílica SS Porapak 80/100 de 2 mm x 1/8", conectada simultáneamente a un detector (A) de conductividad térmica (TCD) y otro (B) de ionización de flama (FID). La temperatura de la columna fue de 80 °C, la del detector A de 170 °C y la del detector B de 210 °C. Como testigos se inyectaron muestras estándar de etileno (101 ppm) y CO_2 (460 ppm). El gas de arrastre fue helio con un flujo de 32.3 psi. La tasa de respiración se expresó en $\text{mL CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ y la concentración de etileno en $\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$.

Contenido de acetaldehído y etanol.

Las concentraciones de etanol y acetaldehído se evaluaron de acuerdo a la metodología de Davis y Chace (1969). Se tomaron muestras de 5 g de pulpa del fruto, se colocaron en

viales de 37 mL y se incubaron a 60 °C por una hora, posteriormente se tomó 1 mL del gas del espacio libre y se inyectó al cromatógrafo de gases VARIAN modelo 3400 CX equipado con una columna empacada tipo abierta de capa porosa de sílica SS Porapak 80/100 de 2 mm x 1/8”, conectada simultáneamente a un detector (A) de conductividad térmica (TCD) y otro (B) de ionización de flama (FID). La temperatura de la columna fue de 170 °C, la del detector A de 170 °C y la del detector B de 210 °C. Como testigo se inyectaron muestras estándar de etanol y acetaldehído. El gas de arrastre fue helio con un flujo de 32.3 psi. La producción de cada metabolito fue expresada en mg/ 100mL.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANAVA) y comparación de medias Tukey ($\alpha=0.05$) empleando el programa de análisis estadístico Statistical Analysis System, ver. 9.0 (SAS, 2002).

4.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tasa de respiración

Los frutos de tuna, xocotuna y xoconostle presentaron un patrón respiratorio no climatérico (Cuadro 2). En este sentido se observó que al inicio de la evaluación el cultivar ‘Cascarón’ con 26.30 mL CO₂.kg⁻¹.h⁻¹ presentó diferencias estadísticas respecto a ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Chinchilla’, ‘Coral’, ‘Nicolaita’ y ‘Cuaresmeño’, cuya tasa de respiración fue de 17.14, 11.56, 7.80, 9.86, 7.49, 13.17, 37.87, 12.70, 9.37 y 13.86 mL CO₂.kg⁻¹.h⁻¹, respectivamente. A los 3 dda ‘Rojo Pelón’ con 6.57 mL CO₂.kg⁻¹.h⁻¹ fue significativamente diferente de ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ con valores de respiración de 25.67, 28.24, 23.59, 21.40 y

16.42 mL CO₂.kg⁻¹.h⁻¹, respectivamente. Los resultados obtenidos contrastan con los reportados por Corrales y Hernández (2005) para frutos de tuna, los cuales presentaron típicamente un patrón respiratorio no climatérico con valores que oscilaron entre los 15 y 35 mL CO₂.kg⁻¹.h⁻¹. Estos autores mencionaron que a menor tasa de respiración hay menor ablandamiento y pérdida de peso en los frutos; mientras que D'Aquino *et al.* (2014) obtuvieron valores promedio de actividad respiratoria de 20 mL CO₂.kg⁻¹.h⁻¹ a la cosecha para *Opuntia ficus-indica* cv Gialla.

Para el día 6 se formaron dos grupos diferentes, el primero conformado por los cultivares 'Cascarón', 'Chinchilla', 'Caidilla' y 'Cuaresmeño Blanco' con tasas de respiración entre 23.91 y 27.18 mL CO₂.kg⁻¹.h⁻¹, mientras en el segundo grupo se encontraron los cultivares 'Amarilla Montesa', 'Amarilla Plátano', 'Reyna', 'Cristalina', 'Rojo Pelón', 'Liso Forrajero', 'Coral', 'Nicolaita' y 'Cuaresmeño' con valores entre 6.71 y 11.65 mL CO₂.kg⁻¹.h⁻¹. Por su parte Ávalos-Andrade *et al.* (2006) reportaron niveles de respiración en frutos de *Opuntia* similares a los obtenidos en este estudio en las fases de maduración inicial, intermedia, máxima y final de los cuales fueron 17.70, 24.19, 29.89 y 13.32 mL CO₂.kg⁻¹.h⁻¹, respectivamente; ellos mencionaron las máximas concentraciones de CO₂ se dieron en el periodo en que los frutos maduraron completamente, asimismo el valor final disminuyó y fue similar al del inicio, lo cual podría corresponder al comienzo de la senescencia. Lo anterior también concuerda con lo obtenido por Corrales-García y Canche-Canche (2008) para frutos de pitahaya donde la velocidad de respiración fluctuó entre 26.52 y 31.97 mL CO₂.kg⁻¹.h⁻¹.

A los 9 dda 'Caidilla' (24.57 mL CO₂.kg⁻¹.h⁻¹) mostró diferencias significativas con 'Reyna', 'Cristalina', 'Rojo Pelón', 'Cascarón', 'Chinchilla' y 'Nicolaita' con concentraciones de 7.80, 7.54, 8.82, 38.11, 44.36 y 10.85 mL CO₂.kg⁻¹.h⁻¹,

respectivamente. Por otro lado, ‘Cascarón’ con $40.71 \text{ mL CO}_2.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ fue estadísticamente diferente de ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Coral’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ con niveles de tasa respiratoria entre 7.50 y $24.86 \text{ mL CO}_2.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$. En otro estudio, Corrales *et al.* (2006) mostraron que la intensidad respiratoria fue relativamente baja a los 0, 2, 4, 6 y 8 días en frutos de *Opuntia* spp., encontrándose en un rango entre 20 y $35 \text{ mL CO}_2.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ similar a lo reportado para este trabajo. Asimismo, se han encontrado valores similares a los obtenidos en este estudio para otros frutos como pitahaya roja, pepino, fresa y arándano con niveles de respiración que oscilaron entre 20 y $45 \text{ mL CO}_2.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ (Galletti *et al.*, 2005; Hernández-Muñoz *et al.*, 2008; Romero-Escobedo *et al.*, 2012; Rodoni *et al.*, 2014).

A los 15 dda nuevamente el cultivar ‘Cascarón’ ($36.78 \text{ mL CO}_2.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$) presentó diferencias estadísticas respecto a ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ cuyas concentraciones fueron de 6.49 , 7.18 , 8.91 , 17.90 , 13.94 , 20.46 , 22.54 y $16.04 \text{ mL CO}_2.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$, respectivamente. El cultivar ‘Rojo Pelón’ ($7.03 \text{ mL CO}_2.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$) mostró diferencias significativas con ‘Cascarón’ y ‘Cuaresmeño Blanco’ que tuvieron tasas de respiración de 31.63 y $25.85 \text{ mL CO}_2.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ a los 18 dda. Finalmente a los 21 y 24 dda este mismo cultivar tuvo diferencias estadísticas respecto a ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’. Otros autores encontraron que a los 15 dda la velocidad de respiración de las variedades ‘Rojo 3589’, ‘Rojo Pelón’ y ‘Alfajayucan’ fueron de 22.50 , 22.00 y $31.10 \text{ mL CO}_2.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$, respectivamente. Asimismo, observaron que en frutos de *O. amyclaea* hubo una mayor tasa de respiración ($36.88 \text{ mL CO}_2.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$) debido posiblemente a una mayor transformación de azúcares ya que sus frutos son más dulces (12°Brix) que los

frutos de xoconostle *O. oligacantha* donde la mayor concentración obtenida en la fase máxima de maduración (18.08 mL CO₂.kg⁻¹.h⁻¹) podría estar relacionada con los cambios de color y sabor de sus frutos (Ávalos-Andrade *et al.*, 2006; López-Castañeda *et al.*, 2010). Estos resultados contrastan con los aquí señalados.

Las concentraciones más altas de CO₂ fueron observadas en los cultivares de xocotuna, seguidas de las de xoconostle y tuna. Cabe señalar que se observó que la tasa de respiración tendió a disminuir conforme avanzó el periodo de almacenamiento. Al respecto los frutos no climatéricos deben recolectarse en plena madurez fisiológica y de consumo, ya que en esta etapa han desarrollado sus principales características organolépticas (Magaña-Benítez *et al.*, 2013).

Cuadro 2. Tasa de respiración (mL CO₂.kg⁻¹.h⁻¹) en frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.

CULTIVAR	DÍAS DE EVALUACIÓN								
	0	3	6	9	12	15	18	21	24
Tuna									
‘Amarilla Montesa’	17.14 cde [†]	10.71 cd	11.65 b	17.12 bcd	15.20 cd	-	-	-	-
‘Amarilla Plátano’	11.56 ef	8.89 cd	8.43 b	12.66 bcd	9.42 d	6.49 d	-	-	-
‘Reyna’	7.80 f	9.41 cd	8.57 b	7.80 d	8.22 d	7.18 d	-	-	-
‘Cristalina’	9.86 ef	7.90 cd	7.70 b	7.54 d	10.29 d	-	-	-	-
‘Rojo Pelón’	7.49 f	6.57 d	6.71 b	8.82 d	10.17 d	8.91 cd	7.03 c	11.81 b	6.44 c
‘Liso Forrajero’	13.17 def	9.44 cd	10.78 b	14.84 bcd	13.64 cd	17.90 bc	-	-	-
Xocotuna									
‘Cascarón’	26.30 b	25.67 ab	27.18 a	38.11 a	40.71 a	36.78 a	31.63 a	-	-
‘Chinchilla’	37.87 a	28.24 a	24.92 a	44.36 a	32.37 ab	-	-	-	-
‘Coral’	12.70 ef	9.65 cd	9.37 b	17.39 bcd	11.74 cd	-	-	-	-
‘Nicolaita’	9.37 f	11.23 cd	9.03 b	10.85 cd	7.50 d	13.94 bcd	-	-	-
‘Caidilla’	24.43 bc	23.59 ab	23.91 a	24.57 b	24.86 bc	20.46 b	-	-	-
Xoconostle									
‘Cuaresmeño Blanco’	20.52 bcd	21.40 ab	25.23 a	22.90 bc	24.66 bc	22.54 b	25.85 ab	21.77 a	23.42 a
‘Cuaresmeño’	13.86 def	16.42 bc	9.21 b	15.54 bcd	15.89 cd	16.04 bcd	11.22 bc	19.17 a	16.75 b
[†] DMSH	7.42	9.48	8.45	12.57	13.62	10.69	16.04	6.59	5.39

[†]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [†]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($P \leq 0.05$).

Producción de etileno

El etileno (C_2H_4) es un compuesto orgánico simple que afecta los procesos fisiológicos de las plantas, ya que es un producto natural de su metabolismo y es producido por todos sus tejidos, también se considera una fitohormona que regula muchos aspectos del crecimiento, desarrollo y senescencia o bien como promotor en la abscisión de órganos vegetales (Kader, 2007; Paul *et al.*, 2012). En relación a este parámetro se encontró que al comienzo de la evaluación el cultivar ‘Nicolaita’ con $0.06 \mu L C_2H_4.kg^{-1}.h^{-1}$ fue significativamente diferente de ‘Chinchilla’ y ‘Caidilla’ con 0.37 y $0.53 \mu L C_2H_4.kg^{-1}.h^{-1}$. A su vez, se observó que para el día 3 ‘Caidilla’ con $0.91 \mu L C_2H_4.kg^{-1}.h^{-1}$ mostró diferencias estadísticas con el resto de los cultivares evaluados (Cuadro 3). Lo anterior contrasta con lo reportado por D’Aquino *et al.* (2014) para *Opuntia ficus-indica* cv ‘Gialla’ con valores entre 0.10 y $2 \mu L C_2H_4.kg^{-1}.h^{-1}$, los cuales afirmaron que la velocidad de producción de etileno es un indicador importante del estado fisiológico de las frutas y vegetales.

A los 6 dda nuevamente ‘Caidilla’ con $0.70 \mu L C_2H_4.kg^{-1}.h^{-1}$ presentó diferencias estadísticas con respecto a ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Coral’, ‘Nicolaita’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ con niveles entre 0.04 y $0.30 \mu L C_2H_4.kg^{-1}.h^{-1}$. A los 9 dda se observó el mismo comportamiento que a los 6 dda. Para el día 12 se encontró que el cultivar ‘Amarilla Plátano’ ($0.07 \mu L C_2H_4.kg^{-1}.h^{-1}$) fue significativamente diferente de ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’, ‘Nicolaita’ y ‘Caidilla’ con valores entre 0.27 y $0.86 \mu L C_2H_4.kg^{-1}.h^{-1}$. En este sentido Ávalos-Andrade *et al.* (2006) encontraron que las concentraciones de etileno más altas se presentaron en la fase inicial, intermedia y máxima de maduración de los frutos, mientras que en la fase final

se encontró la concentración más baja con valores entre 1.00 y 2.63 $\mu\text{L C}_2\text{H}_4.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$. También mencionaron que en las especies *O. amyclaea*, *O. oligacantha* y *O. matudae* los niveles fueron de 3.14, 1.92 y 1.33 $\mu\text{L C}_2\text{H}_4.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$, respectivamente, estos valores fueron superiores a los reportados en este estudio.

Por otra parte, a los 15 dda el cultivar ‘Caidilla’ con 0.66 $\mu\text{L C}_2\text{H}_4.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ mostró diferencias significativas con ‘Amarilla Plátano’ y ‘Reyna’ cuyos valores fueron de 0.07 y 0.11 $\mu\text{L C}_2\text{H}_4.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$. Después a los 18 dda ‘Rojo Pelón’ con 0.10 $\mu\text{L C}_2\text{H}_4.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ tuvo diferencias estadísticas con ‘Cuaresmeño Blanco’ (0.37 $\mu\text{L C}_2\text{H}_4.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$). A los 21 y 24 dda los cultivares ‘Rojo Pelón’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ no fueron significativamente diferentes. Estos resultados fueron similares a los reportados por Schirra *et al.* (1999) para *Opuntia ficus-indica* cv Gialla entre 0.58 y 0.61 $\mu\text{L C}_2\text{H}_4.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$. Otros autores han reportado valores semejantes en frutos de pepino donde la velocidad de producción de etileno se encontró entre 0.03 y 0.07 $\mu\text{L C}_2\text{H}_4.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ a los 16 dda sin grandes cambios, mientras que en frutos de arándano la velocidad de producción de etileno permaneció de baja a moderada con valores de 0.002-0.004 $\mu\text{L C}_2\text{H}_4.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$, lo que podría estar relacionado con su condición de no climatérico (Srilaong y Tatsumi, 2003; Rodoni *et al.*, 2014).

En la mayoría de los cultivares se observó un incremento en la concentración de etileno, conforme avanzó el periodo de almacenamiento, los cultivares de xocotuna mostraron las concentraciones más altas, mientras que los de tuna y xoconostle fueron similares entre sí.

Cuadro 3. Producción de etileno ($\mu\text{L C}_2\text{H}_4.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$) en frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.

CULTIVAR	DÍAS DE EVALUACIÓN								
	0	3	6	9	12	15	18	21	24
Tuna									
‘Amarilla Montesa’	0.14 bc [†]	0.19 bc	0.14 c	0.16 b	0.13 bc	-	-	-	-
‘Amarilla Plátano’	0.08 bc	0.10 c	0.07 c	0.08 b	0.07 c	0.07 b	-	-	-
‘Reyna’	0.05 bc	0.06 c	0.04 c	0.07 b	0.09 bc	0.11 b	-	-	-
‘Cristalina’	0.11 bc	0.11 c	0.09 c	0.11 b	0.12 bc	-	-	-	-
‘Rojo Pelón’	0.08 bc	0.11 c	0.14 c	0.17 b	0.16 bc	0.17 ab	0.10 b	0.15 a	0.15 a
‘Liso Forrajero’	0.14 bc	0.15 bc	0.22 bc	0.25 b	0.15 bc	0.14 ab	-	-	-
Xocotuna									
‘Cascarón’	0.32 abc	0.28 b	0.30 bc	0.26 b	0.27 b	0.29 ab	0.19 ab	-	-
‘Chinchilla’	0.37 ab	0.30 b	0.47 ab	0.29 b	0.27 b	-	-	-	-
‘Coral’	0.13 bc	0.18 bc	0.09 c	0.11 b	0.20 bc	-	-	-	-
‘Nicolaita’	0.06 c	0.09 c	0.07 c	0.16 b	0.27 b	0.35 ab	-	-	-
‘Caidilla’	0.53 a	0.91 a	0.70 a	0.92 a	0.86 a	0.66 a	-	-	-
Xoconostle									
‘Cuaresmeño Blanco’	0.09 bc	0.15 bc	0.15 c	0.26 b	0.14 bc	0.18 ab	0.37 a	0.22 a	0.21 a
‘Cuaresmeño’	0.11 bc	0.12 c	0.18 bc	0.10 b	0.10 bc	0.21 ab	0.22 ab	0.12 a	0.15 a
[†] DMSH	0.29	0.15	0.32	0.39	0.19	0.54	0.24	0.18	0.16

[†]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [‡]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($P \leq 0.05$).

Producción de metabolitos anaerobios: etanol y acetaldehído

El etanol y el acetaldehído son dos importantes volátiles precursores de los componentes naturales del aroma en los frutos, cuyos niveles se encuentran frecuentemente asociados a varios tipos de estrés fisiológico. Es así, que condiciones anaeróbicas, daños por temperatura y exposición a temperaturas altas pueden causar daño transitorio o irreversible; asimismo, una alta producción de ambos volátiles, también puede inducir alteraciones visibles en el tejido del fruto y sabores indeseables (Pesis, 2005; Paul y Pandey, 2014). De acuerdo a los resultados obtenidos al comienzo de la evaluación en el presente estudio no hubo diferencias estadísticas entre cultivares respecto a la concentración de acetaldehído en los frutos. Sin embargo, para el día 3 el cultivar ‘Cuaresmeño’ con 0.15 mg/ 100mL mostró diferencias significativas respecto a

‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Rojo Pelón’, ‘Chinchilla’ y ‘Nicolaita’ con niveles de acetaldehído de 3.79, 2.32, 3.86, 4.87 y 2.96 mg/ 100mL, respectivamente (Cuadro 4). Al respecto, Schirra *et al.* (1999) y Schirra *et al.* (2002) observaron que en frutos de *O. ficus-indica* los niveles de acetaldehído fueron de 0.46-1.24 mg/ 100mL a las seis semanas de almacenamiento.

A los 6 dda los cultivares ‘Reyna’ (0.25 mg/ 100mL), ‘Cuaresmeño Blanco’ (0.34 mg/ 100mL) y ‘Cuaresmeño’ (0.08 mg/ 100mL) fueron similares y estadísticamente diferentes de ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’ y ‘Chinchilla’ con concentraciones de 2.95, 3.14, 3.15, 2.50, 2.25 y 3.24 mg/ 100mL, respectivamente. Después a los 9 dda ‘Chinchilla’ con 4.57 mg/100mL tuvo diferencias estadísticas respecto a ‘Reyna’, ‘Cascarón’, ‘Coral’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ con niveles de acetaldehído entre 0.07 y 1.01 mg/ 100mL. Otros autores han reportado valores similares en frutos de pitahaya con niveles de acetaldehído que fueron de 1.87 a 5.23 mg/ 100mL a los 21 días de almacenamiento, en fresa cv Camarosa con concentraciones promedio de 0.28 mg/ 100mL y en chicozapote con niveles de 1.38 a 5.43 mg/ 100mL (Rizzolo *et al.*, 2007; Corrales-García y Canche-Canche, 2008; Bolívar-Fernández *et al.*, 2011).

Para el día 12 ‘Amarilla Plátano’ y ‘Nicolaita’ con 2.22 y 2.78 mg/ 100mL fueron iguales y significativamente diferentes de ‘Coral’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ cuyos valores se encontraron entre 0.006 y 0.51 mg/ 100mL. Adicionalmente a los 15 dda ‘Liso Forrajero’ (6.28 mg/ 100mL) presentó diferencias estadísticas con ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Rojo Pelón’, ‘Cascarón’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ con niveles de acetaldehído de 1.62, 1.42, 1.89, 1.27, 2.15, 0.20, 0.42 y 0.09 mg/ 100mL, respectivamente. A los 18 y 21 dda

el cultivar ‘Rojo Pelón’ fue estadísticamente diferente de ‘Cuaresmeño Blanco’, mientras que a los 24 dda no se encontraron diferencias significativas. De igual forma a los 18, 21 y 24 dda no se detectaron concentraciones de acetaldehído en el cultivar ‘Cuaresmeño’. Por otro lado D’Aquino *et al.* (2014) encontraron niveles de producción de etileno en frutos de *Opuntia ficus-indica* cv Gialla que fueron de 1.48 a 1.68 mg/100mL a las cuatro semanas de almacenamiento, estos resultados contrastan con los obtenidos en este estudio; sin embargo fueron similares a lo reportado por Piga *et al.* (1996) para estos mismo frutos con concentraciones que fueron de 2.05 a 0.48 mg/100mL.

Cuadro 4. Producción de acetaldehído (mg/ 100mL) en frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.

CULTIVAR	DÍAS DE EVALUACIÓN								
	0	3	6	9	12	15	18	21	24
Tuna									
‘Amarilla Montesa’	1.70 a [†]	3.79 ab	2.95 a	2.02 ab	1.17 abc	-	-	-	-
‘Amarilla Plátano’	1.17 a	2.32 bcd	3.14 a	2.45 ab	2.22 a	1.62 b	-	-	-
‘Reyna’	2.82 a	0.47 de	0.25 d	0.27 b	2.14 ab	1.42 b	-	-	-
‘Cristalina’	5.63 a	1.44 cde	1.49 abcd	2.10 ab	2.12 ab	-	-	-	-
‘Rojo Pelón’	3.45 a	3.86 ab	3.15 a	1.68 ab	2.09 ab	1.89 b	1.81 a	0.94 a	0.86 a
‘Liso Forrajero’	1.31 a	1.77 bcde	2.50 ab	3.17 ab	1.49 abc	6.28 a	-	-	-
Xocotuna									
‘Cascarón’	1.65 a	1.78 bcde	2.25 abc	0.86 b	1.38 abc	1.27 b	1.20 ab	-	-
‘Chinchilla’	2.70 a	4.87 a	3.24 a	4.57 a	1.12 abc	-	-	-	-
‘Coral’	1.62 a	0.80 de	0.99 bcd	0.63 b	0.51 bc	-	-	-	-
‘Nicolaita’	2.39 a	2.96 abc	1.92 abcd	1.96 ab	2.78 a	2.15 b	-	-	-
‘Caidilla’	1.18 a	0.63 de	0.46 cd	1.01 b	0.42 c	0.20 b	-	-	-
Xoconostle									
‘Cuaresmeño Blanco’	0.67 a	0.23 de	0.34 d	0.16 b	0.41 c	0.42 b	0.36 bc	0.19 b	0.10 a
‘Cuaresmeño’	0.32 a	0.15 e	0.08 d	0.07 b	0.006 c	0.09 b	n.d.	n.d.	n.d.
[†] DMSH	7.20	2.15	1.89	3.26	1.66	3.63	0.96	0.53	1.03

[†]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [†]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($P \leq 0.05$).

En el presente trabajo observó un comportamiento similar entre los cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle, presentando una disminución en la concentración de acetañdehído conforme avanzó la maduración del fruto.

En cuanto al contenido de etanol, en un principio los cultivares ‘Amarilla Montesa’ (9.37 mg/ 100mL) y ‘Cristalina’ (10.27 mg/ 100mL) no exhibieron diferencias significativas entre si y fueron estadísticamente diferentes de ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Coral’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ que tuvieron concentraciones de 4.22, 1.62, 2.21, 1.28, 2.62, 2.76, 2.20, 1.40, 2.00 y 2.50 mg/ 100mL, respectivamente. Para el día 3 ‘Amarilla Montesa’ con 18.33 mg/100mL tuvo diferencias estadísticas con ‘Reyna’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Coral’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ con niveles de etanol entre 1.57 y 3.77 mg/ 100mL (Cuadro 5). Estos resultados contrastan con D’Aquino *et al.* (2014) quienes reportaron niveles de etanol de 1.12 a 12.83 mg/ 100mL en frutos de *Opuntia ficus-indica* cv ‘Gialla’ a las cuatro semanas de almacenamiento y a lo señalado por Schirra *et al.* (2002) para este mismo cultivar con valores que fueron de 0 a 5.90 mg/ 100mL a las seis semanas de almacenamiento. Estos autores mencionaron que tales incrementos no afectaron negativamente el sabor del fruto.

A los 6 dda nuevamente ‘Amarilla Montesa’ (23.52 mg/ 100mL) fue significativamente diferente de ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’, ‘Coral’, ‘Nicolaita’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ con concentraciones de etanol entre 1.51 y 9.93 mg/ 100mL. Posteriormente a los 9 dda el cultivar ‘Liso Forrajero’ tuvo diferencias estadísticas con ‘Amarilla Montesa’, ‘Cristalina’ y ‘Chinchilla’ cuyos niveles de etanol fueron de 25.07, 26.15 y 13.60 mg/

100mL, respectivamente. Para el día 12 ‘Amarilla Plátano’ con 7.28 mg/ 100mL mostró diferencias significativas con ‘Cristalina’, ‘Liso Forrajero’ y ‘Coral’ que tuvieron concentraciones de etanol de 65.63, 0.93 y 1.08 mg/ 100mL respectivamente. Al respecto, Schirra *et al.* (1999) observaron concentraciones de etanol en frutos de *O. ficus-indica* que fueron de 2.71 a 37.10 mg/ 100mL a las cinco semanas de almacenamiento, mientras que Corrales-García y Canche-Canche (2008) obtuvieron concentraciones de etanol que fueron de 23.20 a 111.04 en frutos de pitahaya a los 21 días de almacenamiento semejantes a lo reportado en este trabajo.

El cultivar ‘Amarilla Plátano’ con 5.52 mg/ 100mL de etanol fue estadísticamente diferente de ‘Reyna’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Caidilla’, ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’ que presentaron niveles entre 1.53 y 3.08 mg/ 100mL a los 15 dda. A los 18 dda no se observaron diferencias significativas, sin embargo, a los 21 dda ‘Cuaresmeño Blanco’ (1.39 mg/ 100mL) mostró diferencias estadísticas con ‘Cuaresmeño’ (3.13 mg/ 100mL), y finalmente a los 24 dda ‘Cuaresmeño’ con 3.09 mg/ 100mL fue significativamente diferente de ‘Rojo Pelón’ y ‘Cuaresmeño Blanco’ con 1.26 y 1.47 mg/ 100mL. Por su parte, Hernández-Fuentes *et al.* (2003) encontraron en frutos de durazno niveles de etanol que fueron de 13.70 a 18.00 mg/ 100mL superiores a lo reportado de los 15 a los 24 dda en este estudio; sin embargo éstos fueron similares a lo señalado por Bolívar-Fernández *et al.* (2011) con concentraciones entre 1.27 y 3.11 mg/ 100mL en frutos de chicozapote.

En el presente estudio las concentraciones de etanol más altas se observaron en los cultivares de tuna (‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’ y ‘Cristalina’), seguidas por los cultivares de xocotuna y xoconostle.

Finalmente podría considerarse que las concentraciones similares de etanol y acetaldehído durante todo el proceso de maduración y su incremento al inicio de la senescencia se encuentran relacionadas con desórdenes fisiológicos del fruto, y también sugieren que estos volátiles en las concentraciones encontradas, son producto de la descomposición y no sustratos en la síntesis de etileno tal y como lo afirmaron Bolívar-Fernández *et al.* (2011).

Cuadro 5. Producción de etanol (mg/ 100mL) en frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.

CULTIVAR	DÍAS DE EVALUACIÓN								
	0	3	6	9	12	15	18	21	24
Tuna									
‘Amarilla Montesa’	9.37 a [†]	18.33 a	23.52 a	25.07 ab	4.12 bc	-	-	-	-
‘Amarilla Plátano’	4.22 bc	7.56 ab	9.93 bc	7.93 cd	7.28 b	5.52 a	-	-	-
‘Reyna’	1.62 c	1.57 b	1.51 c	2.20 cd	2.34 bc	1.53 c	-	-	-
‘Cristalina’	10.27 a	10.52 ab	19.50 ab	26.15 a	65.63 a	-	-	-	-
‘Rojo Pelón’	2.21 c	2.17 b	2.58 c	2.46 cd	2.48 bc	2.03 c	2.41 a	1.70 ab	1.26 b
‘Liso Forrajero’	1.28 c	3.77 b	2.21 c	1.08 d	0.93 c	1.75 c	-	-	-
Xocotuna									
‘Cascarón’	2.62 c	1.78 b	1.85 c	1.49 cd	1.64 bc	1.65 c	2.27 a	-	-
‘Chinchilla’	6.79 ab	7.09 ab	9.09 c	13.60 bc	3.38 bc	-	-	-	-
‘Coral’	2.76 c	1.59 b	1.91 c	1.30 cd	1.08 c	-	-	-	-
‘Nicolaita’	2.20 c	2.89 b	5.77 c	1.97 cd	2.20 bc	4.86 ab	-	-	-
‘Caidilla’	1.40 c	1.77 b	2.09 c	2.25 cd	1.78 bc	1.56 c	-	-	-
Xoconostle									
‘Cuaresmeño Blanco’	2.00 c	2.47 b	2.46 c	2.74 cd	2.68 bc	2.40 c	1.22 a	1.39 b	1.47 b
‘Cuaresmeño’	2.50 c	2.14 b	2.26 c	2.40 cd	2.56 bc	3.08 bc	2.92 a	3.13 a	3.09 a
[‡] DMSH	3.59	12.69	9.60	12.47	5.72	2.11	2.13	1.60	0.71

[†]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [‡]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($P \leq 0.05$).

4.6 CONCLUSIONES

Los cultivares de xocotuna y xoconostle presentaron niveles de intensidad respiratoria y producción de etileno de moderados a altos, mientras que los de tuna se encontraron entre bajos y moderados dependiendo del cultivar.

Las concentraciones de acetaldehído fueron similares entre cultivares, mientras que las de etanol fueron más altas en los cultivares de tuna, lo cual podría asociarse al estado de maduración del fruto.

Los cultivares evaluados presentaron un patrón respiratorio típico de los frutos no climatéricos.

4.7 LITERATURA CITADA

- Ávalos-Andrade, A., Y. Ramírez-Córdova, Ma. A. Goytia-Jiménez, A.F. Barrientos-Priego y C. Saucedo-Veloz. 2006. Etileno en la abscisión del fruto de tres especies del género *Opuntia*. Revista Chapingo Serie Horticultura 12(1): 127-133.
- Bolívar-Fernández, N., C. Saucedo-Veloz y E. Sauri-Duch. 2011. Respiración y parámetros relacionados durante la maduración del chicozapote cosechado en la Península de Yucatán. Rev. Bras.Frútic., Jaboticabal E: 261-266.
- Cantwell, M. 1995. Postharvest Management of Fruits and Vegetables Stems. In: Agroecology, Cultivation and Uses of Cactus Pear. Barbera, G., P. Inglese, E. Pimienta-Barrios (eds.). FAO, Rome, Italy. Paper 132:120-143.
- Corrales, J.C., F.M. Franco and J.C. Rodriguez. 2006. Fruit characterization of twenty accessions of cactus pear (*Opuntia spp.*) II. Changes in post-harvest. Acta Hort. 728: 205-209.
- Corrales, J.C. y J.L.S. Hernández. 2005. Cambios en la calidad postcosecha de variedades de tuna con y sin semilla. Rev. Fitotec. Mex. 28(1): 9-16.

- Corrales-García, J., E. Canche-Canche. 2008. Physical and physiological changes in low-temperature-stored pitahaya fruit (*Hylocereus undatus*). J. PACD 10: 108-119.
- D'Aquino, S., I. Chessa and M. Schirra. 2014. Heat treatment at 38 °C and 75-80 % relative humidity ameliorates storability of cactus pear fruit (*Opuntia ficus-indica* cv "'Gialla'"). Food Bioprocess Technol 7: 1066-1077.
- Davis, P.L. and W.G. Chace. 1969. Determination of alcohol in citrus juice by gas chromatographic analysis of head space. HortScience. 4:117-119.
- Gallegos-Vázquez, C., L. Scheinvar, C.A. Núñez-Colín and C. Mondragón-Jacobo. 2012. Morphological diversity of xoconostles (*Opuntia spp.*) or acidic cactus pears: a Mexican contribution to functional foods. Fruits 67(2): 109-120.
- Galletti, L., L.A. Lizana, H. Berger and M. Tapia. 2005. Pepino fruits respiration rate. Acta Hort. 682: 205-207.
- Hegwood, D.A. 1990. Human health discoveries with *Opuntia* sp. (Prickly pear). HortScience 25(12): 1515-1516.
- Hernández-Fuentes, A.D., C. Saucedo-Veloz, M.T. Colinas-León, J. Rodríguez-Alcazar, J.I. Cortés-Flores y P. Sánchez-García. 2003. La fertilización en la calidad postcosecha de durazno (*Prunus persica* L. Batsch) bajo frigoconservación. Revista Chapingo Serie Horticultura 9(1): 115-133.
- Hernández-Muñoz, P., E. Almenar, V. Del Valle, D. Velez and R. Gavara. 2008. Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria x ananassa*) quality during refrigerated storage. Food Chemistry 110: 428-435.

- Kader, A.A. 2007. Biología y tecnología postcosecha: un panorama. *In: Tecnología Postcosecha de Cultivos Hortofrutícolas*. Kader, A.A. (Ed.). 3° ed. Universidad de California, División de Agricultura y Recursos Naturales. Davis, CA. pp. 43-53.
- López-Castañeda, J., J. Corrales-García, T. Terrazas-Salgado, T. Colinas-León. 2010. Effect of saturated air heat treatments on weight loss reduction and epicuticular changes in six varieties of cactus pear fruit (*Opuntia* spp.). *J. PACD* 12: 37-47.
- Magaña-Benítez, W., E. Sauri-Duch, J. Corrales-García y C. Saucedo-Veloz. 2013. Variaciones bioquímicas-fisiológicas y físicas de las frutas de pitahaya (*Hylocereus undatus*) almacenadas en ambiente natural. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 14(1): 21-30.
- Mendoza-Wilson, A. M. y R. Báez-Sañudo. 2000. Medición de la tasa respiratoria por sistema cerrado en melón cantaloupe. *Horticultura Mexicana* 8 (2): 58-163.
- Paul, V., R. Pandey and G.C. Srivastava. 2012. The fading distinctions between classical patterns of ripening in climateric and non-climateric fruit and the ubiquity of ethylene-An overview. *J. Food Sci. Technol.* 49(1): 1-21.
- Paul, V and R. Pandey. 2014. Role of internal atmosphere on fruit ripening and storability-a review. *J. Food Sci. Technol.* 51(7): 1223-1250.
- Pesis, E. 2005. The role of anaerobic metabolites, acetaldehyde and ethanol, in fruit ripening, enhancement of fruit quality and fruit deterioration. *Postharvest Biology and Technology* 37: 1-19.
- Piga, A., S. D'Aquino, M. Agabbio and M. Schirra. 1996. Storage life and quality attributes of cactus pears cv "Gialla" as affected by packaging. *Agr. Med.* 126: 423-427.

- Rizzolo, A., F. Gerli, C. Prinzivalli, S. Buratti and D. Torreggiani. 2007. Headspace volatile compounds during osmotic dehydration of strawberries (cv Camarosa): Influence of osmotic solution composition and processing time. *LWT* 40: 529-535.
- Rodoni, L.M., V. Feuring, M.J. Zaro, G.O. Sozzi, A.R. Vicente and M.E. Arena. 2014. Ethylene responses and quality of antioxidant-rich stored barberry fruit (*Berberis microphylla*). *Scientia Horticulturae* 179: 233-238.
- Romero-Escobedo, M.B., A. Pérez-López y C.A. Villaseñor-Perea. 2012. Evaluación de frutos de pitahaya roja (*Hylocereus undatus*) sometidos a carga de compresión axial. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas* 4(1): 25-30.
- Sanz, C. 2005. Postharvest management beyond quality maintenance. *Acta Hort.* 682: 427-435.
- Schirra M., P. Inglese and T. La Mantia. 1999. Quality of cactus pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.] fruit in relation to ripening time, CaCl_2 pre-harvest sprays and storage conditions. *Scientia Horticulturae* 81: 425-436.
- Schirra, M., V. Brandolini, P. Cabras, A. Angioni and P. Inglese. 2002. Thiabendazole uptake and storage performance of cactus pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. Cv 'Gialla'] fruit following postharvest treatments with reduced doses of fungicide at 52 °C. *J. Agric. Food Chem.* 50: 739-743.
- Srilaong, V. and Y. Tatsumi. 2003. Changes in respiratory and antioxidative parameters in cucumber fruit (*cucumis sativus* L.) stored under high and low oxygen concentrations. *J. Japan Soc. Hort. Sci.* 72(6): 525-532.
- Statistical Analysis System. 2002. SAS/STAT users guide: Statics, Ver. 9.00. SAS Institute Inc. Cary, North Caroline, USA. 1503 p.

5. CONCLUSIONES GENERALES

1. Los cultivos de tuna y xocotuna tuvieron menor pérdida de peso, mientras ésta fue mayor en los xoconostles.
2. El color de los frutos estuvo en función de las características típicas de cada cultivar.
3. Los cultivos de xoconostle y xocotuna presentaron un mayor contenido de capacidad antioxidante.
4. El mayor contenido de vitamina C se encontró en el cultivar de xoconostle ‘Cuaresmeño’.
5. El contenido de betalaínas varió entre cultivos, sin embargo las concentraciones más altas se encontraron en los frutos de xocotuna de coloración rojo a púrpura intenso.
6. Los cultivos evaluados presentaron un patrón respiratorio típico de los frutos no climatéricos.

6. LITERATURA GENERAL CITADA

- Ávalos-Andrade, A., Y. Ramírez-Córdova, Ma. A. Goytia-Jiménez, A.F. Barrientos-Priego y C. Saucedo-Veloz. 2006. Etileno en la abscisión del fruto de tres especies del género *Opuntia*. Revista Chapingo Serie Horticultura 12(1): 127-133.
- Bravo-Hollis, H. 1978. Las cactáceas de México. Vol.1. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria. México, D.F. 743 p.
- Bravo, H.H. y L. Scheinvar. 1999. El interesante mundo de las cactáceas. 2ª edición. Fondo de Cultura Económica. México, D. F. 233 p.

- Cantwell, M. 1995. Postharvest Management of Fruits and Vegetables Stems. *In: Agro-ecology, Cultivation and Uses of Cactus Pear*. Barbera, G., P. Inglese, E. Pimienta-Barrios (eds.). FAO, Rome, Italy. Paper 132:120-143.
- Gallegos-Vázquez, C., A.F. Barrientos-Priego, J.A. Reyes-Agüero, C.A. Núñez-Colín. and C. Mondragón-Jacobo 2011. Clusters of commercial varieties of cactus pear and xoconostle using UPOV morphological traits. *J. PACD* 13: 10-22.
- Gallegos-Vázquez, C. y C. Mondragón-Jacobo. 2011. Cultivares selectos de tuna de México al mundo. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas - Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) - Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 159 p.
- Gallegos-Vázquez, C., L. Scheinvar, C.A. Núñez-Colín and C. Mondragón-Jacobo. 2012. Morphological diversity of xoconostles (*Opuntia spp.*) or acidic cactus pears: a Mexican contribution to functional foods. *Fruits* 67(2): 109-120.
- Hegwood, D.A. 1990. Human health discoveries with *Opuntia* sp. (Prickly pear). *HortScience* 25(12): 1515-1516.
- Saénz, C. 2006. *Opuntia* spp. Bioactive compounds in foods: a *Plus* for health. *Acta Hort.* 728: 231-240.