

Respiración, etileno y metabolitos anaerobios de tuna, xocotuna y xoconostle en poscosecha

Respiration, ethylene and anaerobic metabolites of cactus pear, xocotuna and xoconostle on postharvest

Respiração, etileno e metabolitos anaeróbicos em cactus, xocotuna e xoconostle pós-colheita

Teresa Monroy-Gutiérrez¹, Ma. Teresa Martínez-Damián^{1*},
Alejandro. F. Barrientos Priego¹, Haidel Vargas-Madríz¹ y
Martha Olivia Lázaro-Dzul²

¹Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Carretera México-Texcoco, Km. 38.5, CP 56230. Estado de México, México. Correos electrónicos: tere.monroy@gmail.com, teremdl3@gmail.com, abarrien@gmail.com, haidel_vargas@hotmail.com. ²Posgrado en Fitosanidad. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. km 36.5 Carr. México-Texcoco. Montecillo, Estado de México. C.P. 56230. Correo electrónico: dzulmartha@gmail.com. Fuente de financiamiento: Dirección General de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma Chapingo; Chapingo México. km 38.5 Carretera México-Texcoco. C.P. 56230.

Resumen

Debido a la gran amplitud del género *Opuntia* en el país y que México es considerado como uno de los lugares de origen y dispersión, los estudios respecto a este género son importantes para conocer su posible manejo agronómico, por lo que se planteó como objetivo de esta investigación comparar la firmeza, tasa de transpiración, producción de etileno, contenido de acetaldehído y etanol en cultivares de xocotuna, tuna, y xoconostle. El estudio se realizó en el Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar. Como resultado se encontró que la tuna cv. 'Reyna' presentó mayor firmeza. La mayor tasa de respiración fue para las xocotunas cv. 'Nicolaita' y 'Chinchilla' con 40,71 y 32,37 mL de CO₂·kg⁻¹·h⁻¹, respectivamente. Los cv. 'Cuahresmeño Blanco' y 'Cuahresmeño' de xoconostle mostraron mayor producción de etileno (P≤0,05), con valores de 0,21 y 0,25 µL de C₂H₄·kg⁻¹·h⁻¹. La producción

Recibido el 25-05-2016 • Aceptado el 12-10-2016

*Autor de correspondencia e-mail: teremdl3@gmail.com

de metabolitos anaerobios como el acetaldehído no presentó diferencias significativas; sin embargo, para el caso de etanol, el cv. de tuna sobresaliente fue ‘Cristalina’ con $65,63 \text{ mg} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$. De entre los cultivares de *Opuntia* evaluados, los cultivares de tuna ‘Reyna’, xocotuna ‘Nicolaita’ y xoconostle ‘Cuaresmeño’ presentaron un comportamiento poscosecha adecuado, esto en relación a mayor firmeza principalmente.

Palabras clave: *Opuntia*, vida de anaquel, acetaldehído, etanol, firmeza.

Abstract

Due to the wide range of *Opuntia* in the country and that Mexico is considered one of the places of origin and dispersion, the studies in respect to this genus are important to know their possible agronomic management, from which was raised as objective of this investigation to compare the firmness, transpiration rate, ethylene production, acetaldehyde and ethanol content in xocotuna, prickly pear and xoconostle cultivars. The study was conducted at the Department of Plant Science at the Universidad Autónoma Chapingo. The experimental design used was completely random. It was found that the prickly pear cv. ‘Reyna’ showed higher firmness. The respiration rate was greater for the xocotuna cultivars ‘Nicolaita’ and ‘Chinchilla’ with 40.71 and 32.37 mL of $\text{CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$. The ‘Cuaresmeño Blanco’ and ‘Cuaresmeño’ xoconostle cultivars showed higher percentage of ethylene production ($P < 0.05$) with values of 0.21 and 0.25 μL of $\text{C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, respectively. The production of anaerobic metabolites such as acetaldehyde were not significantly different; however, in the case of ethanol, the cactus pear cultivar ‘Cristalina’ was outstanding with $65.63 \text{ mg} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$. Of the *Opuntia* cultivars evaluated, the prickly pear ‘Reyna’, ‘Nicolaita’ xocotuna and ‘Cuaresmeño’ xoconostle showed an adequate postharvest behavior, this in relation to an increased firmness.

Key words: *Opuntia*, shelf life, acetaldehyde, ethanol, firmness.

Resumo

Devido à ampla gama de *Opuntia* no país e que o México é considerado um dos lugares de origem e dispersão, estudos sobre este gênero são importantes para saber sua possível gestão agrícola, que foi criado como um dos objetivos desta comparar firmeza, a taxa de transpiração, produção de etileno, etanol e acetaldeído em cultivares xocotuna, cactus e xoconostle. O estudo foi realizado no Departamento de Fitotecnia da Universidad Autónoma Chapingo. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado. Como resultado verificou-se que cv. “Reyna” pêra espinhosa, apresentaram maior firmeza. A taxa respiratória foi maior para xocotunas cv. ‘Nicolaita’ e ‘Chinchila’ com 40.71 e 32,37 mL de $\text{CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, respectivamente. cv. ‘White Cuaresmeño’ e ‘Cuaresmeño’ xoconostle apresentaram maior produção de etileno ($P \leq 0,05$), com valores de 0,21 e 0,25 mL

de $C_2H_4 \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$. A produção de metabolitos anaeróbicos tais como acetaldeído não há diferenças significativas; No entanto, no caso de etanol, cv. pêra espinhosa 'Crystalline' destacou com $65,63 \text{ mg} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$. Entre as cultivares *Opuntia*, xocotuna espinhosas cultivares de pêra espinhosa 'Reyna' 'Nicoláita' e 'xoconostle cuaresmeño' apresentaram comportamento pós-colheita adequada, isso em relação a mais firmemente, principalmente.

Palavras-chave: *Opuntia*, vida de prateleira, acetaldeído, etanol, firmeza.

Introducción

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 (especies silvestres y domesticados), llamadas tunas y xoconostles (Gallegos-Vázquez *et al.*, 2011; Majure *et al.*, 2012). Las xocotunas son probablemente híbridos naturales de 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. 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. En general 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. Así mismo se han caracterizado como frutos no climatéricos, debido a que su tasa de respiración en poscosecha es relativamente baja en

Introduction

Opuntia is a complex genus that includes species used for the consumption of tender cladodes, known in Mexico as "nopalitos", and mainly obtained from *O. ficus-indica*, or by the fruits (wild and domesticated species), called prickly pear and xoconostles (Gallegos-Vázquez *et al.*, 2011; Majure *et al.*, 2012). Xocotunas are probably natural hybrids of prickly pear and xoconostle, and belong to the following species: *O. chavena* Griffiths, *O. lasiacantha* Pfeiff, *O. megacantha* Salm-Dick, *O. streptacantha* Lem. and *O. robusta* Wendl. In such way that its type of fruit is similar to those of xoconostles but with semi-acid or slightly sweet pulp. These are different to xoconostle since these are acid pears (*Opuntia* spp.), and are also morphologically different from pears that are sweet, juicy and with seeds. In general, the fruits of this species are highly perishable mainly due to the physical damage suffered in the epidermis and in the stem area during the harvest and the post-harvest handling. Likewise, these have characterized as non-climacteric fruits, since their transpiration rate in post-harvest is relatively low compared to other fruits (Lakshminarayana and Estrella,

comparación con la de otros frutos (Lakshminarayana y Estrella, 1978). La cual tiende a disminuir con el paso del tiempo. Además, no presentan un incremento en la síntesis de etileno (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 catalizados por enzimas específicas, dichos cambios se traducen en las características de calidad de los frutos (Sanz, 2005). De acuerdo a lo anterior, el objetivo del presente estudio fue comparar la firmeza, tasa de transpiración, producción de etileno, contenido de acetaldehído y etanol en cultivares de xocotuna, tuna y xoconoxtle.

Material y métodos

Material vegetal: se utilizaron frutos frescos de tuna y xoconostle (cuadro 1) seleccionados con el índice de cosecha que utiliza el productor regional en cuanto a tamaño y llenado del fruto, uniformidad e intensidad de color característico para cada cultivar. Las determinaciones experimentales se realizaron a partir de los meses de junio, agosto y octubre del año 2013. Este material fue procedente del Depositario Nacional de *Opuntia*, ubicado en el municipio de El Orito, Zacatecas, México.

1978), which tends to diminish with the time. Additionally, these do not present an increase in the synthesis of ethylene (Ávalos-Andrade *et al.*, 2006). This behavior is closely related to the maturation of the fruits, where significant changes occur from the last growing and development stages to the early stages of senescence, including softening, color change, accumulation of volatile compounds, and sugars that result in catalyzed organic acids by specific enzymes, such changes are translated into the characteristics of quality of fruits (Sanz, 2005). Because of the latter, the aim of this research was to compare the firmness, transpiration rate, ethylene production, content of acetaldehyde and ethanol in cultivars of xocotuna, prickly pear, and xoconoxtle.

Materials and methods

Plant material: fresh fruits of prickly pear and xoconostle (table 1) were used selected with the harvest index used by the regional producer as regards the size and filled of the fruit, uniformity and intensity of color, which are typical for each cultivar. The experimental determinations were performed during June, August and October of 2013. This material came from the National Deposit of *Opuntia*, located in the municipality of Orito, Zacatecas, Mexico.

Experimental design: a completely randomized design was used with four replications. A fruit was considered as experimental unit. The assessments were carried out for 24 days with fruits stored at 20 °C. The determinations were carried out every

Cuadro 1. Material vegetal de *Opuntia* spp. utilizado en el estudio.**Table 1. Plant material of *Opuntia* spp. used in this research.**

Clave*DNO	Cultivar	Nombre científico
Tuna		
O-024	‘Amarilla Montesa’	<i>Opuntia megacantha</i> Salm-Dick
O-089	‘Amarilla Plátano’	<i>O. megacantha</i> Salm-Dick
O-110	‘Reyna’	<i>O. albicarpa</i> Scheinvar
O-015	‘Cristalina’	<i>O. albicarpa</i> Scheinvar
O-050	‘Rojo Pelón’	<i>O. ficus-indica</i> (L.) Mill.
O-027	‘Liso Forrajero’	<i>O. 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	‘Nicolaíta’	<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: se utilizó un diseño de experimento completamente al azar, con cuatro repeticiones. Se consideró como unidad experimental a un fruto. Las evaluaciones se realizaron durante 24 días con frutos almacenados a 20 °C. Las determinaciones se llevaron a cabo cada 3 días a partir del día cero de almacenamiento (dda).

Características evaluadas:

Firmeza: la medición se realizó en la zona ecuatorial de los frutos, con un penetrómetro marca Chatillón AMETEK con una fuerza de penetración de 25 kg, provista de un puntal cónico. Los resultados se expresaron en Newtons (N).

3 days from day zero of storing (dda).

Evaluated characteristics:

Firmness: the measurement was carried out in the equatorial area of the fruit, with a penetrometer Chatillon AMETEK with penetration strength of 25 kg, and equipped with a conical strut. The results were expressed in Newtons (N).

Transpiration rate and ethylene production: transpiration (CO_2) and ethylene (C_2H_4) production were quantified using a static system (Mendoza-Wilson and Báez-Sañudo, 2000) which consisted on placing a fruit with known weight in containers with volume also known and sealed during 1 h. After this time, 6 ml of air

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 biomasa conocida, en recipientes con volumen también conocido y cerrados herméticamente durante 1 h. Transcurrido el tiempo, se tomaron 6 mL de aire con una jeringa hipodérmica e inyectaron en un vacutainer al vacío el cual se almacenó a $-20\text{ }^\circ\text{C}$, hasta su lectura. Luego, 1 mL de las muestras fue inyectado en un 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 $80\text{ }^\circ\text{C}$, la del detector A de $170\text{ }^\circ\text{C}$ y la del detector B de $210\text{ }^\circ\text{C}$. Como testigo se inyectaron muestras estándar de etileno (101 ppm) y CO_2 (460 ppm). Para el gas de arrastre se usó helio con un flujo de 32,3 psi. La tasa de respiración se expresó en $\text{mL de CO}_2\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ y la concentración de etileno en $\mu\text{L de C}_2\text{H}_4\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$. Con el fin de observar el comportamiento de la tasa de respiración se generó un gráfico utilizando los datos de cada cultivar para generar líneas por grupo de *Opuntia* y así poder visualizar diferencias entre grupos.

Contenido de acetaldehído y etanol: las concentraciones de etanol y acetaldehído se evaluaron de acuerdo a la metodología establecida por Davis y Chace (1969). Se tomaron muestras de 5 g de pulpa del fruto, se colocaron

were taken with a hypodermic syringe, and injected into a vacutainer vacuum and stored at $-20\text{ }^\circ\text{C}$, until the reading. Later, 1 mL of the sample was injected into the gas chromatograph VARIAN® model 3400 CX equipped with an open type packed column with porous layer of silica SS Porapak 80/100 2 mm 1/8", simultaneously connected to a thermal conductivity detector (TCD) and another (B) of flame ionization (FID). The column temperature was $80\text{ }^\circ\text{C}$, the one of the detector A with $170\text{ }^\circ\text{C}$ and the one of detector B with $210\text{ }^\circ\text{C}$. Standard samples of ethylene (101 ppm) and CO_2 (460 ppm) were injected as control. The carrier gas was helium with a 32.3 psi flow. The transpiration rate was expressed in $\text{mL of CO}_2\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ and the concentration of ethylene in $\mu\text{L of C}_2\text{H}_4\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$. A graphic was generated in order to observe the behavior of transpiration rate using the data of each cultivar to generate lines by group of *Opuntia*; thus, to display differences between groups.

Content of acetaldehyde and ethanol: ethanol and acetaldehyde concentrations were evaluated according to the methodology established by Davis and Chace (1969). Samples of 5 g of the fruit pulp were taken, and were placed in 37 mL vials and incubated at $60\text{ }^\circ\text{C}$ for 1 h, subsequently 1 mL of the gas from the free space was taken and injected into the gas chromatograph VARIAN® model 3400 CX, equipped with an open type packed column with porous layer of silica SS Porapak 80/100 2 mm 1/8", at the same time connected to a detector (A) of thermal

en viales de 37 mL y se incubaron a 60 °C por 1 h, 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. Para el gas de arrastre se utilizó helio con un flujo de 32,3 psi. La producción de cada metabolito fue expresada en $\text{mg} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$.

Análisis estadístico: se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias Tukey ($\alpha=0,05$), en las que se empleó el programa de análisis estadístico Statistical Analysis System, ver. 9.0 (SAS, 2005). Se realizó un análisis de correlación múltiple entre la tasa de respiración, y los contenidos de etanol y acetaldehído, donde se utilizó el programa SigmaPlot ver. 11 (SYSTAT, 2008).

Resultados y discusión

Firmeza

Con relación a la variable de firmeza, se encontró que el cultivar 'Chinchilla' mostró un valor de 3,21 N. El cual presentó diferencias significativas con los cultivares 'Amarilla Montesa', 'Amarilla Plátano', 'Reyna', 'Cristalina', 'Cuaremeño Blanco' y 'Cuaremeño' cuyo intervalo de valores fue de 10,44-17,87 N (cuadro 2). En el tercer día de

conductivity detector (TCD) and the other (B) of flame ionization (FID). The temperature of the column was 170 °C, the one of the detector A 170 °C and 210 °C corresponding to the detector B. Standard samples of ethanol and acetaldehyde were injected as control. The carrier gas was helium with a 32.3 psi flow. The production of each metabolite was expressed in $\text{mg} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$.

Statistical analysis: a variance analysis (ANOVA) and Tukey mean test ($\alpha=0.05$) were used, employing a statistical analysis System version 9.0 (SAS, 2005). Also, a multiple correlation analysis was used among the transpiration rate and the contents of ethanol and acetaldehyde, where SigmaPlot program version 11 (SYSTAT, 2008) was employed.

Results and discussion

Firmness

In relation to the variable of firmness, it was found that the cultivar 'Chinchilla' showed a value of 3.21 N, which presented significant differences with the cultivars 'Amarilla Montesa', 'Amarilla Plátano', 'Reyna', 'Cristalina', 'Cuaremeño Blanco' and 'Cuaremeño' whose range of values was of 10.44-17.87 N (table 2). On the third day of evaluation, cultivar 'Cuaremeño Blanco' (14.32 N) was different from 'Amarilla Montesa', 'Amarilla Plátano', 'Rojo Pelón', 'Liso Forrajero', 'Cascarón', 'Chinchilla', 'Coral', 'Nicolaita', 'Caidilla' and 'Cuaremeño' which showed firmness range levels of 3.11-19.68 N. Within 6 days of storing, cultivar 'Chinchilla' (3.16 N) showed differences with the

Cuadro 2. Firmeza de pulpa (N) evaluada en frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.
Table 2. Firmness of the pulp (N) evaluated in fruit cultivars of prickly pear, xocotuna and 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≤0,05).

evaluación el cultivar 'Cuaresmeño Blanco' (14,32 N) fue diferente de 'Amarilla Montesa', 'Amarilla Plátano', 'Rojo Pelón', 'Liso Forrajero', 'Cascarón', 'Chinchilla', 'Coral', 'Nicoláita', 'Caidilla' y 'Cuaresmeño' que mostraron una amplitud de niveles de firmeza de 3,11-19,68 N. A los 6 días de almacenamiento el cultivar 'Chinchilla' (3,16 N) presentó diferencias con los cultivares 'Amarilla Montesa', 'Reyna', 'Cristalina', 'Cuaresmeño Blanco' y 'Cuaresmeño' que tuvieron un intervalo de valores de firmeza de 7,55-15,22 N, respectivamente (cuadro 2). Osuna *et al.* (2011) evaluaron en frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haw.) la firmeza, la cual disminuyó en los primeros 6 dda y fue mayor en frutos cosechados en madurez inicial que en madurez media y completa cuyo valor de firmeza fue similar, de tal manera que los intervalos de valores pasaron de 4,5 N a 7,1 N, estos resultados fueron similares a los encontrados para tuna y xocotuna en el presente estudio. A los 9 y 12 dda el cultivar 'Cristalina' tuvo diferencias estadísticas respecto a 'Rojo Pelón', 'Liso Forrajero', 'Cascarón', 'Chinchilla', 'Coral', 'Nicoláita', 'Caidilla', 'Cuaresmeño Blanco' y 'Cuaresmeño' (cuadro 2).

A los 15 dda el cultivar 'Reyna' presentó diferencias significativas con los cultivares 'Rojo Pelón', 'Liso Forrajero', 'Cascarón', 'Caidilla', 'Cuaresmeño Blanco' y 'Cuaresmeño', así mismo, a los 18, 21 y 24 dda se observó que los cultivares 'Rojo Pelón' y 'Cascarón' presentaron valores de firmeza diferentes de 'Cuaresmeño Blanco' y 'Cuaresmeño' (cuadro 2). Sin embargo, se observó que en la

cultivars 'Amarilla Montesa', 'Reyna', 'Cristalina', 'Cuaresmeño Blanco' and 'Cuaresmeño' which had a firmness range 7.55-15.22 N, respectively (table 2). Osuna *et al.* (2011) evaluated the firmness in pitahaya fruits (*Hylocereus undatus* Haw.), which decreased in the first 6 dda and was higher in harvested fruits in initial maturity than in half and full maturity whose firmness value was similar in such a way that the interval values went through 4.5 to 7.1 N, these results were similar to the ones found for prickly pear and xocotuna in the present study. At 9 and 12 dda cultivar 'Cristalina' had differences regarding 'Rojo Pelón', 'Liso Forrajero', 'Cascarón', 'Chinchilla', 'Coral', 'Nicoláita', 'Caidilla', 'Cuaresmeño Blanco' and 'Cuaresmeño' (table 2).

At 15 dda cultivar 'Reyna' showed significant differences with the cultivars 'Rojo Pelón', 'Liso Forrajero', 'Cascarón', 'Caidilla', 'Cuaresmeño Blanco' and 'Cuaresmeño'; likewise, at 18, 21 and 24 dda it was observed that cultivars 'Rojo Pelón' and 'Cascarón' presented strongly different values of 'Cuaresmeño Blanco' and 'Cuaresmeño' (table 2). However, it was noted that in most of cultivars there was a tendency to decrease firmness with the time of storing, these changes were characteristic of the maturation process of the fruit which agreed with Kader (2007), who pointed out that fruit softening was due to the dissolution of their tissue blade, because the cells of the fruits were increasingly more permeable during maturation since the compound integrity of the cell wall was lost and a series of hydrolytic enzymes were

mayoría de los cultivares existió una tendencia a disminuir la firmeza conforme transcurrieron los días de almacenamiento, estos cambios fueron característicos del proceso de maduración del fruto, lo cual coincidió con Kader (2007) quien señaló que el ablandamiento en frutos se debió a la disolución de la lámina de sus tejidos, porque las células de los frutos fueron cada vez más permeables durante la maduración ya que la integridad de los compuestos de las paredes celulares se perdieron y se activaron una serie de enzimas hidrolíticas (poligalacturonasa y celulosa) que rompió los enlaces entre los polisacáridos de la pared.

Tasa de respiración y producción de etileno

Se encontró que la tasa de respiración producto del promedio de los cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle, se mantuvieron constantes en tuna y xoconostle, mostrando un patrón no climatérico (figura 1), no siendo así para el cultivar xocotuna donde se observó una elevación climatérica contrario a lo indicado en la literatura, donde se consideró a los frutos de *Opuntia* como no climatéricos (Ávalos-Andrade *et al.*, 2006). En el cuadro 3 se desglosa el comportamiento individual de la tasa de respiración de cada uno de los cultivares evaluados, 'Cascarón', 'Chinchilla' y 'Nicolaita', que difirieron estadísticamente entre ellos y con el resto de los cultivares evaluados. A los 3 dda los cultivares 'Chinchilla' y 'Rojo Pelón' con tasas de respiración de 28,24 y 6,57 mL de $\text{CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ fueron estadísticamente diferentes de los demás cultivares.

activated (polygalacturonase and cellulose) that broke the links between polysaccharides wall.

Respiration rate and ethylene production

It was found that the respiration rate as a result of the cultivar average of prickly pear, xocotuna and xoconostle remained constant in prickly pear and xoconostle, showing a non-climacteric pattern (figure 1), result that differed in xocotuna, where a climacteric rise was observed contrary to what was stated in the literature, where fruits of *Opuntia* were considered as non-climacteric (Avalos-Andrade *et al.*, 2006). In table 3 is presented the individual behavior of the respiration rate of each of the cultivars evaluated, 'Cascarón', 'Chinchilla' and 'Nicolaita', which were statistically different among them and with the rest of the evaluated cultivars. At 3 dda, cultivars 'Chinchilla' and 'Rojo Pelón' with respiration rates of 28.24 and 6.57 mL of $\text{CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ were statistically different from the other cultivars. The results contrasted with those reported by Corrales and Hernández (2005) for prickly pear fruits, which typically presented a non-climacteric respiratory pattern with values ranging from 15 to 35 mL of $\text{CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, and by D'Aquino *et al.* (2014) for *O. ficus-indica* cultivar 'Gialla' where they obtained average values of respiratory activity of 20 mL of $\text{CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ to the harvest.

Two different groups were created in the 6 day, the first formed by cultivars 'Cascarón', 'Chinchilla', 'Caidilla' and 'Cuaremeño' with respiration rates of 23.91 and 27.18

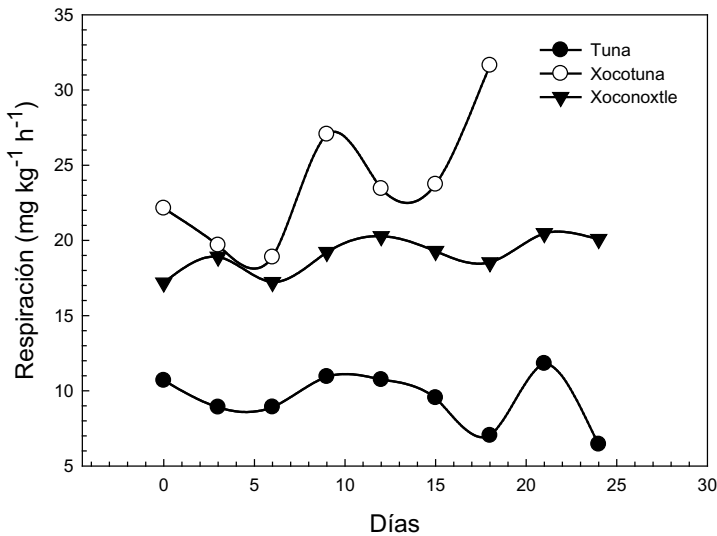


Figura 1. Respuesta de tasa de respiración en frutos de tuna, xocotuna y xoconostles (*Opuntia* spp.).
Figure 1. Response respiration rate in fruits of tuna, xocotuna and xoconostle (*Opuntia* spp.).

Los resultados obtenidos contrastaron 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 de CO₂·kg⁻¹·h⁻¹, y lo señalado por D’Aquino *et al.* (2014) para *O. ficus-indica* cultivar ‘Gialla’ donde obtuvieron valores promedio de actividad respiratoria de 20 mL de CO₂·kg⁻¹·h⁻¹ a la cosecha.

Para el día 6 se formaron dos grupos diferentes, el primero conformado por los cultivares ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’, ‘Caidilla’ y ‘Cuaremeño’ con tasas de

ml of CO₂·kg⁻¹·h⁻¹, while the second group was formed with cultivars ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Coral’, ‘Nicolaita’ and ‘Cuaremeño’ with values from 6.71 to 11.65 mL CO₂·kg⁻¹·h⁻¹ (table 3). On the other hand, Ávalos-Andrade *et al.* (2006) assessing fruits of *Opuntia*, reported similar values in the maturation phases: initial, intermediate, maximum and final of 17.70, 24.19, 29.89 and 13.32 mL of CO₂·kg⁻¹·h⁻¹, respectively and at the same time they mentioned that the maxima of CO₂ was obtained during

respiración entre 23,91 y 27,18 mL de $\text{CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, mientras en el segundo grupo se encontraron los cultivares ‘Amarilla Montesa’, ‘Amarilla Plátano’, ‘Reyna’, ‘Cristalina’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Coral’, ‘Nicolaita’ y ‘Cuaremeño’ con valores entre 6,71 y 11,65 mL de $\text{CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ (cuadro 3). Por su parte Ávalos-Andrade *et al.* (2006) quienes evaluaron frutos de *Opuntia*, reportaron valores similares en las fases de maduración inicial, intermedia, máxima y final de 17,70; 24,19; 29,89 y 13,32 mL de $\text{CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, respectivamente y a su vez mencionaron que las máximas de CO_2 se dieron en el periodo en que los frutos maduraron completamente. Por otro parte, el cultivar ‘Cascarón’ presentó valores de 40,71 y 36,78 mL de $\text{CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, respectivamente. El cual fue diferente estadísticamente del resto de los cultivares a los 12 y 15 dda (cuadro 3). De la misma manera Corrales *et al.* (2006) evaluaron frutos de *Opuntia* spp. y encontraron que la tasa respiratoria fue relativamente baja a los 0, 2, 4, 6 y 8 días entre 20 y 35 mL de $\text{CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ de acuerdo a lo obtenido en este trabajo.

Finalmente, a los 18, 21 y 24 dda, el cv. ‘Rojo Pelón’ mostró diferencias estadísticas significativas respecto a los cultivares ‘Cascarón’, ‘Cuaremeño’ y ‘Cuaremeño Blanco’ (cuadro 3). Otros autores encontraron que a los 15 dda la tasa de respiración de los cultivares ‘Rojo 3589’, ‘Rojo Pelón’ y ‘Alfajayucan’ (‘Reyna’) fueron de 22,50; 22,00 y 31,10 mL de $\text{CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, respectivamente, a su vez, observaron que en frutos de *O. amyclaea* hubo una mayor tasa de

the period where the fruits matured completely. Also, the cultivar ‘Cascarón’ presented values of 40.71 and 36.78 mL of $\text{CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, respectively, statistically different from the rest of the cultivars at 12 and 15 dda (table 3). Likewise, Corrales *et al.* (2006) assessed *Opuntia* spp. fruits and found that the respiratory rate was relatively low at 0, 2, 4, 6 and 8 days from 20 to 35 mL of $\text{CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ according to the one obtained in this research.

Finally, at 18, 21 and 24 dda, cv. ‘Rojo Pelón’ showed statistically significant differences regarding cultivars ‘Cascarón’, ‘Cuaremeño’ and ‘Cuaremeño Blanco’ (table 3). Others authors found that at 15 dda the respiration rate of cultivars ‘Rojo 3589’, ‘Rojo Pelón’ and ‘Alfajayucan’ (‘Reyna’) were of 22.50, 22.00 and 31.10 mL of $\text{CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$; respectively; at the same time, they observed that in *O. amyclaea* fruits there was a higher respiration rate (36.88 mL of $\text{CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) possibly due to a greater hydrolysis of complex sugars since their fruits were very sweet (12 °Brix) different to xoconostle fruits (*O. oligacantha*) where the highest concentration in the maximum maturation phase (18.08 mL of $\text{CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) could be related to the changes of color and flavor of their fruits, these results contrasted to the ones mentioned in this research (Ávalos-Andrade *et al.*, 2006; López-Castañeda *et al.*, 2010). It is worth mentioning that the highest concentrations of CO_2 were observed in cultivars of xocotuna followed by xoconostle and prickly pear.

Ethylene (C_2H_4) is a simple organic compound that affects the physiology

Cuadro 3. Tasa de respiración (mL de CO₂·kg⁻¹·h⁻¹) evaluada en frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.

Table 3. Respiration rate (mL of CO₂·kg⁻¹·h⁻¹) evaluated in fruit cultivars of prickly pear, xocotuna and 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	-	-	-	-	
‘Nicoláita’	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≤0,05).

respiración (36,88 mL de $\text{CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) debido posiblemente a una mayor hidrólisis de azúcares complejos ya que sus frutos fueron muy dulces (12 °Brix) a diferencia de los frutos de xoconostle (*O. oligacantha*) donde la mayor concentración en la fase máxima de maduración (18,08 mL de $\text{CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) podría estar relacionada con los cambios de color y sabor de sus frutos, estos resultados contrastaron con los aquí señalados (Ávalos-Andrade *et al.*, 2006; López-Castañeda *et al.*, 2010). Cabe mencionar que las concentraciones más altas de CO_2 fueron observadas en los cultivares de xocotuna, seguido de los de xoconostle y tuna.

El etileno (C_2H_4) es un compuesto orgánico simple que afecta los procesos fisiológicos de las plantas (Kader, 2007; Paul *et al.*, 2012). Con relación a esta variable se encontró que al comienzo de la evaluación los cultivares ‘Nicolaíta’ y ‘Caidilla’ fueron diferentes estadísticamente de los demás cultivares. Para el día 3 el cultivar ‘Caidilla’ con 0,91 μL de $\text{C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ mostró diferencias significativas con el resto de los cultivares evaluados, esta tendencia también se observó a los 6 y 9 dda para este mismo cultivar (cuadro 4). Lo anterior contrastó con lo reportado por D’Aquino *et al.* (2014) quienes evaluaron el cultivar ‘Gialla’ y obtuvieron valores entre 0,10 y 2 μL de $\text{C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, y a su vez afirmaron que la velocidad de producción de etileno es un indicador importante del estado fisiológico de las frutas y vegetales.

Para el día 12 se encontró que el cultivar ‘Amarilla Plátano’ (0,07 μL de $\text{C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) fue significativamente diferente del

of plants (Kader, 2007; Paul *et al.*, 2012). In relation to this variable it was found that at the beginning of the evaluation cultivars ‘Nicolaíta’ and ‘Caidilla’ were statistically different from the other cultivars. At day 3, cultivar ‘Caidilla’ with 0.91 μL $\text{C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ showed significant differences with the rest of cultivars evaluated, this trend was also observed at 6 and 9 dda for this same cultivar (table 4). This contrasted with D’Aquino *et al.* (2014) who evaluated the cultivar ‘Gialla’ and obtained values from 0.10 to 2 μL of $\text{C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, and at the same time they claimed that the speed of ethylene production was an important indicator of the physiological state of fruits and vegetables.

At day 12 it was found that the cultivar ‘Amarilla Plátano’ (0.07 μL of $\text{C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) was significantly different from the cultivar ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’, ‘Nicolaíta’ and ‘Caidilla’ with values from 0.27 to 0.86 μL of $\text{C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$. On this regard, Ávalos-Andrade *et al.* (2006) mentioned that the highest ethylene concentrations were presented in the initial, intermediate and maxima maturation phase of the fruits with 2.63; 2.51; 2.39 and 1.00 μL of $\text{C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, respectively. Additionally, they mentioned that in the *O. amyclaea*, *O. oligacantha* and *O. matudae* the levels were of 3.14; 1.92 and 1.33 μL of $\text{C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, these values were superior to those reported in this study.

At 15, 18, 21 and 24 dda the cultivars behaved similarly regarding the ethylene production (table 4). These results agreed with those

Cuadro 4. Producción de etileno (µL de C₂H₄·kg⁻¹·h⁻¹) evaluada en frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.

Table 4. Ethylene production (µL of C₂H₄·kg⁻¹·h⁻¹) evaluated in fruit cultivars of prickly pear, xocotuna and 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	
‘Amarilla Montesa’	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≤0,05).

cultivar ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’, ‘Nicoláita’ y ‘Caidilla’ con valores entre 0,27 y 0,86 μL de $\text{C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$. Al respecto Ávalos-Andrade *et al.* (2006) mencionaron que las concentraciones de etileno más altas se presentaron en la fase inicial, intermedia y máxima de maduración de los frutos con 2,63; 2,51; 2,39 y 1,00 μL de $\text{C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, respectivamente. También mencionaron que en las especies *O. amyclaea*, *O. oligacantha* y *O. matudae* los niveles fueron de 3,14; 1,92 y 1,33 μL de $\text{C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, estos valores fueron superiores a los reportados en este estudio.

A los 15, 18, 21 y 24 dda los cultivares se comportaron similarmente en cuanto a la producción de etileno (cuadro 4). Estos resultados coincidieron con los reportados por Schirra *et al.* (1999) para *O. ficus-indica* cultivar ‘Gialla’. En la mayoría de los cultivares se observó un incremento en la concentración de etileno, de igual manera cabe señalar que los cultivares de xocotuna mostraron las concentraciones más altas, mientras que los de tuna y xoconostle fueron similares.

Contenido de acetaldehídos y etanol

Se sabe que el etanol y el acetaldehído son dos importantes compuestos precursores volátiles de los componentes naturales del aroma en los frutos (Paul y Pandey, 2014). Con relación a éstas variables, se observó que al inicio de la evaluación no se detectaron diferencias estadísticas entre cultivares. Sin embargo, para el día 3 los cultivares ‘Cuahresmeño’ y ‘Chinchilla’ mostraron diferencias estadísticas entre sí (cuadro 5). Comportamiento que también ha sido

reported by Schirra *et al.* (1999) for *O. ficus-indica* cultivar ‘Gialla’. In most of cultivars an increase in the ethylene concentration was observed; likewise, xocotuna cultivars showed higher concentrations, meanwhile in tuna and xoconostle the concentration was similar.

Content of acetaldehydes and ethanol

It is known that ethanol and the acetaldehyde are two important volatile compounds of the natural components of the aroma precursor in the fruits (Paul and Pandey, 2014). In relation to these variables, it was observed that at the beginning of the evaluation none statistic differences were detected among the cultivars. However, at day 3 the cultivars ‘Cuahresmeño’ and ‘Chinchilla’ showed statistical differences in between (table 5). This behavior has also been observed by Schirra *et al.* (1999) and Schirra *et al.* (2002) in fruits of *O. ficus-indica* where the levels of acetaldehyde were of 0.46-1.24 $\text{mg} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$ to 6 weeks of storing.

At 6 and 9 dda all cultivars showed a similar response regarding the acetaldehyde production (table 5). At day 12 cultivar ‘Amarilla Plátano’ and ‘Nicoláita’ with 2.22 and 2.78 $\text{mg} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$ were statistically equal and at the same time different to the cultivars ‘Coral’, ‘Caidilla’, ‘Cuahresmeño Blanco’ and ‘Cuahresmeño’ whose values were from 0.006 and 0.51 $\text{mg} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$; meanwhile, at day 15 ‘Liso Forrajero’ (6.28 $\text{mg} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$) presented statistical differences regarding the other cultivars (table 5). At 18-21 dda cultivar ‘Rojo Pelón’ was different

Cuadro 5. Producción de acetaldehído (mg·100 mL⁻¹) evaluada en frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.

Table 5. Acetaldehyde production of (mg·100 mL⁻¹) evaluated in fruits cultivars of prickly pear, xocotuna and 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										
‘Cascarán’	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	
‘Amarilla Montesa’	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≤0,05).

observado por Schirra *et al.* (2002) y Schirra *et al.* (1999) en frutos de *O. ficus-indica* donde los niveles de acetaldehído fueron de 0,46-1,24 mg·100 mL⁻¹ a las seis semanas de almacenamiento.

A los 6 y 9 dda todos los cultivares presentaron una respuesta similar en cuanto a la producción de acetaldehído (cuadro 5). Para el día 12 el cultivar ‘Amarilla Plátano’ y ‘Nicoláita’ con 2,22 y 2,78 mg·100 mL⁻¹ fueron estadísticamente iguales y a su vez diferentes a los cultivares ‘Coral’, ‘Caidilla’, ‘Cuaremeño Blanco’ y ‘Cuaremeño’ cuyos valores se encontraron entre 0,006 y 0,51 mg·100 mL⁻¹. Mientras que a los 15 dda ‘Liso Forrajero’ (6,28 mg·100 mL⁻¹) presentó diferencias estadísticas respecto a los demás cultivares (cuadro 5). A los 18 y 21 dda el cultivar ‘Rojo Pelón’ fue diferente de ‘Cuaremeño Blanco’, mientras que a los 24 dda no se encontraron diferencias. Por otro lado, D’Aquino *et al.* (2014) encontraron niveles de producción de etileno en frutos de *O. ficus-indica* cultivar ‘Gialla’ que fueron de 1,48 a 1,68 mg·100 mL⁻¹ a las cuatro semanas de almacenamiento, estos resultados contrastaron con los obtenidos en este estudio.

En cuanto al contenido de etanol, en un principio los cultivares ‘Amarilla Montesa’ (9,37 mg·100 mL⁻¹) y ‘Cristalina’ (10,27 mg·100 mL⁻¹), no exhibieron diferencias entre si y fueron diferentes de los demás cultivares, excepto de ‘Chinchilla’. Para el día 3, la producción de etanol se mostró similar entre los cultivares (cuadro 6). Estos resultados contrastaron con D’Aquino

from ‘Cuaremeño Blanco’; while no differences were found at 24 dda. On the other hand, D’Aquino *et al.* (2014) found levels of ethylene production in fruits of *O. ficus-indica* cultivar ‘Gialla’ from 1.48 to 1.68 mg·100 mL⁻¹ within 4 weeks of storing, these results contrasted to those obtained in this study.

In terms of the ethanol content, at the beginning cultivar ‘Amarilla Montesa’ (9.37 mg·100 mL⁻¹) and ‘Cristalina’ (10.27 mg·100 mL⁻¹) did not present differences between but there were different from the other cultivars, except ‘Chinchilla’. In day 3, the ethanol production was similar among cultivars (table 6). These results contrasted with D’Aquino *et al.* (2014) who reported ethanol levels in 1.12-12.83 mg·100 mL⁻¹ in fruits of *O. ficus-indica* cultivar ‘Gialla’ and to the reported by Schirra *et al.* (2002) for this same cultivar with values of 0-5.90 at 6 weeks of storing. At 6 dda cv. ‘Amarilla Montesa’ (23.52 mg·100 mL⁻¹) was different from the cultivar ‘Reyna’, ‘Rojo Pelón’, ‘Liso Forrajero’, ‘Cascarón’, ‘Chinchilla’, ‘Coral’, ‘Nicoláita’, ‘Caidilla’, ‘Cuaremeño Blanco’ and ‘Cuaremeño’. At day 12, cultivar ‘Cristalina’ showed significant differences to the rest of the cultivars (table 6). In this matter, Schirra *et al.* (1999) observed ethanol concentrations in fruits of *O. ficus-indica* of 2.71-37.10 mg·100 mL⁻¹ at 5 weeks of storing, while Corrales-García and Canche-Canche (2008) obtained ethanol concentrations of 23.20-111.04 mg·100 mL⁻¹ in pitahaya fruits at 21 days of storing. At 15, 18 and 21 dda, none statistical differences were observed among cultivars in

Cuadro 6. Producción de etanol (mg·100 mL⁻¹) evaluada en frutos de cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.

Table 6. Ethanol production (mg·100 mL⁻¹) evaluated in fruit cultivars of prickly pear, xocotuna and xoconostle.

Cultivar	Días de evaluación											
	0	3	6	9	12	15	18	21	24			
‘Amarilla Montesa’ ‘Amarilla Plátano’ ‘Reyna’ ‘Cristalina’ ‘Rojo Pelón’ ‘Liso Forrajero’	Tuna	9,37 a	18,33 a	23,52 a	25,07 ab	4,12 bc	-	-	-			
		4,22 bc	7,56 ab	9,93 bc	7,93 cd	7,28 b	5,52 a	-	-			
		1,62 c	1,57 b	1,51 c	2,20 cd	2,34 bc	1,53 c	-	-			
		10,27 a	10,52 ab	19,50 ab	26,15 a	65,63 a	-	-	-			
		2,21 c	2,17 b	2,58 c	2,46 cd	2,48 bc	2,03 c	2,41 a	1,70 ab			
		1,28 c	3,77 b	2,21 c	1,08 d	0,93 c	1,75 c	-	-			
‘Cascarón’ ‘Chinchilla’ ‘Coral’ ‘Nicolaita’ ‘Caidilla’	Xocotuna	2,62 c	1,78 b	1,85 c	1,49 cd	1,64 bc	1,65 c	2,27 a	-			
		6,79 ab	7,09 ab	9,09 c	13,60 bc	3,38 bc	-	-	-			
		2,76 c	1,59 b	1,91 c	1,30 cd	1,08 c	-	-	-			
		2,20 c	2,89 b	5,77 c	1,97 cd	2,20 bc	4,86 ab	-	-			
		1,40 c	1,77 b	2,09 c	2,25 cd	1,78 bc	1,56 c	-	-			
‘Cuaresmeño Blanco’ ‘Amarilla Montesa’ ‡DMSH	Xoconostle	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		
		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		
		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≤0,05).

et al. (2014) quienes reportaron niveles de etanol de 1,12-12,83 mg·100 mL⁻¹ en frutos de *O. ficus-indica* cultivar 'Gialla' y a lo señalado por Schirra *et al.* (2002) para este mismo cultivar con valores que fueron de 0-5,90 a las seis semanas de almacenamiento. A los 6 dda el cv. 'Amarilla Montesa' (23,52 mg·100 mL⁻¹) fue diferente del cultivar 'Reyna', 'Rojo Pelón', 'Liso Forrajero', 'Cascarón', 'Chinchilla', 'Coral', 'Nicolaíta', 'Caidilla', 'Cuaremeño Blanco' y 'Cuaremeño'. Para el día 12 el cultivar 'Cristalina' mostró diferencias significativas al resto de los cultivares (cuadro 6). Al respecto, Schirra *et al.* (1999) observaron concentraciones de etanol en frutos de *O. ficus-indica* que fueron de 2,71-37,10 mg·100 mL⁻¹ a las cinco semanas de almacenamiento, mientras que Corrales-García y Canche-Canche (2008) obtuvieron concentraciones de etanol que fueron de 23,20-111,04 mg·100 mL⁻¹ en frutos de pitahaya a los 21 días de almacenamiento. A los 15, 18 y 21 dda, no se observaron diferencias estadísticas entre los cultivares en cuanto a la producción de etanol, mientras que a los 24 dda el cultivar 'Cuaremeño' difirió estadísticamente de los cultivares 'Cuaremeño Blanco' y 'Rojo Pelón' (cuadro 6).

Correlaciones de las variables respiración, etileno y acetaldehído

Para el caso de frutos de xocotuna se encontró una correlación positiva y altamente significativa ($r=0,77$) entre acetaldehído y etanol (cuadro 7), esta correlación se distinguió de la tuna y xoconostles donde no se encontró relación alguna, por lo que esta particularidad aparentemente

terms of ethanol production, whereas at 24 dda cultivar 'Cuaremeño' differed statistically from cultivars 'Cuaremeño Blanco' and 'Rojo Pelón' (table 6).

Correlations of the variables ethylene and acetaldehyde

In the case of xocotuna, a positive and highly significant correlation ($r=0.77$) was found from acetaldehyde to ethanol (table 7), this correlation distinguished from prickly pear and xoconostle where none relationship was observed; thus, this feature only apparently exists in xocotunas. This relationship is due to acetaldehyde is a natural compound of plant tissues, at very low levels it accumulates during the fruit ripening (Podd and Van Staden, 1998), due to hypoxic conditions and is also one of the components of aroma (Zuckerman *et al.*, 1997) and the ethanol formation is formed due to a rapid reduction of acetaldehyde, by action of the NADH (Salisbury and Ross, 1994).

Conclusions

It is concluded that cultivars of xocotuna 'Cascarón' and 'Chinchilla' showed the highest respiration rate distinguishing from prickly pear and xoconostles. In xoconostle, an increase in the ethylene concentration was observed in cultivars 'Cuaremeño Blanco' and 'Cuaremeño'. Among the evaluated cultivars of *Opuntia*, cultivars of prickly pear 'Reyna' and xocotuna 'Nicolaíta' and xoconostle 'Cuaremeño' showed the highest firmness.

End of English version

Cuadro 7. Coeficientes de correlación y probabilidad entre tres compuestos volátiles en frutos de tuna, xocotuna y xoconostles (*Opuntia* spp.), con su respectiva tasa de respiración.

Table 7. Correlation coefficients and probability among three volatile compounds in fruits of prickly pear, xocotuna and xoconostle (*Opuntia* spp.), with their corresponding respiration rate.

	Etileno			Acetaldehído			Etanol		
	Tuna	Xocotuna	Xoconostle	Tuna	Xocotuna	Xoconostle	Tuna	Xocotuna	Xoconostle
Tasa de respiración	0,431	0,269	0,333	0,193	0,149	0,526	0,0815	0,335	-0,394
	0,00782**	0,157	0,177	0,253	0,442	0,0249*	0,632	0,0754	0,106
Etileno				0,208	-0,305	-0,0217	0,0127	-0,0611	-0,405
				0,217	0,108	0,932	0,941	0,753	0,0952
Acetaldehído							0,0775	0,777	-0,372
							0,648	0,000007**	0,128

*, **. Diferencias a una P≤0,05 y 0,01, respectivamente.

solo existe en xocotunas. Esta relación se debió a que el acetaldehído es un compuesto natural de los tejidos vegetales, en muy bajos niveles se acumula durante la maduración de los frutos (Podd y Van Staden, 1998), debido a condiciones de hipoxia y además es uno de los componentes del aroma (Zuckerman *et al.*, 1997) y la formación de etanol se forma debido a una reducción rápida de acetaldehído, por acción del NADH (Salisbury y Ross, 1994).

Conclusiones

Se concluye que los cultivares de xocotuna ‘Cascarón’ y ‘Chinchilla’ mostraron la mayor tasa de respiración y los distinguen de la tuna y xoconostles fuertemente. En cuanto a xoconostle se observó un incremento en la concentración de etileno en los cultivares ‘Cuaresmeño Blanco’ y ‘Cuaresmeño’. De entre los cultivares de *Opuntia* evaluados, los cultivares de tuna ‘Reyna’ y de xocotuna ‘Nicolaíta’ y de xoconostle ‘Cuaresmeño’ presentaron la mayor firmeza.

Literatura citada

- Ávalos-Andrade, A., Y. Ramírez-Córdova, Ma.A. Goytia-Jiménez, A.F. Barrientos-Priego, C. Saucedo-Veloz. 2006. Etileno en la abscisión del fruto de tres especies del género *Opuntia*. Rev. Chapingo Ser. Hort. 12: 127-133.
- 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. 28:9-16.
- Corrales, J.C., F.M. Franco and J.C. Rodríguez. 2006. Fruit characterization of twenty accessions of cactus pear (*Opuntia* spp.) II. Changes in post-harvest. Acta Hort. 728:205-209.
- 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.
- 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. HortSci. 4:117-119.
- Gallegos-Vázquez, C., A.F. Barrientos-Priego, J.A. Reyes-Aguero, 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.
- Kader, A.A. 2007. Biología y tecnología postcosecha: un panorama. p. 43-53. En: Kader, A.A. (Ed.). Tecnología postcosecha de cultivos hortofrutícolas. Universidad de California, División de Agricultura y Recursos Naturales. Davis, CA.
- Lakshminarayana, S. and I.B. Estrella. 1978. Postharvest respiratory behaviour of tuna (prickly pear) fruit (*Opuntia robusta* Mill.). J. Hort. Sci. 53(4):327-330.
- López-Castañeda, J., J. Corrales-García, T. Terrazas-Salgado and 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.
- Majure, L.C., R. Puente, M.P. Griffith, W.S. Judd, P.S. Soltis and D.E. Soltis. 2012. Phylogeny of *Opuntia* spp. (Cactaceae): Clade delineation, geographic origins, and reticulate evolution. Amer. J. Bot. 99:847-864.

- Mendoza-Wilson, A.M. y R. Báez-Sañudo. 2000. Medición de la tasa respiratoria por sistema cerrado en melón cantaloupe. Hort. Mex. 8:58-163.
- 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. 34:63-72.
- Paul, V. and R. Pandey. 2014. Role of internal atmosphere on fruit ripening and storability-a review. J. Food Sci. Tech. 51:1223-1250.
- Paul, V., R. Pandey and G.C. Srivastava. 2012. The fading distinctions between classical patterns of ripening in climacteric and non-climacteric fruit and the ubiquity of ethylene-an overview. J. Food Sci. Tech. 49:1-21.
- Podd, L. A. and J. Van Staden. 1998. The role of ethanol and acetaldehyde in flower senescence and fruit ripening. Plant Growth Regul. 2:183-189.
- Salisbury, B.F. y W.C. Ross. 1994. Fisiología Vegetal. Grupo editorial Iberoamérica. México. 754 p.
- Sanz, C. 2005. Postharvest management beyond quality maintenance. Acta Hort. 682:427-435.
- SAS, (Statistical Analysis System Institute). 2005. SAS for Windows Ver. 9.1 SAS Institute. Cary, NC, USA.
- SYSTAT. 2008. SigmaPlot® 11 User's Guide. Systat Software, Inc. London, UK. 947 p.
- Schirra, M., P.La. Inglese and T. Mantia. 1999. Quality of cactus pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) fruit in relation to ripening time, CaCl₂ pre-harvest sprays and storage conditions. Sci. Hort. 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. Agri. Food Chem. 50:739-743.
- Zuckerman, H., F.J.M. Harren, J. Reuss and D.H. Parker. 1997. Dynamics of acetaldehyde production during anoxia and post-anoxia in red bell pepper studied by photoacoustic techniques. Plant Physiol. 113:925-932.