

Descripción de las variables químicas durante la postcosecha de frutos de pitaya roja y amarilla de la localidad de Venta Salada, Municipio de Coxcatlán, Puebla

Mandujano-Piña Manuel¹, González-Calderón Brenda¹, Trujillo-Hernández Antonia¹, Arriaga-Frías Alberto¹, De la Cruz-Guzmán Gumercindo Honorato¹, Colinas-León María Teresa²

¹Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Laboratorio de Ecofisiología Vegetal (Lab. 9) UMF. Av. De los Barrios No. 1, Tlalnepantla de Baz, Edo. de México. C.P. 05490. México.

²Instituto de Horticultura, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carretera México-Texcoco Chapingo, Estado de México, C.P. 56230. México.

*Autor para correspondencia: manuelm@unam.mx

Recibido:
29/febrero/2020

Aceptado:
20/octubre/2020

Palabras clave:
Pitaya roja,
pitaya amarilla,
betalainas

Keywords:
Red Pitaya,
yellow Pitaya,
betalainas

RESUMEN

Stenocereus pruinosus es una cactácea que se utiliza para producción de frutos en huertos familiares o pequeños productores de las zonas áridas de México, pero el deterioro tras su recolección produce pérdidas, debido al desconocimiento de su fisiología, por lo que el objetivo de este trabajo fue describir algunas características químicas durante la postcosecha del fruto de *S. pruinosus* fenotipos amarillo y rojo de la localidad de Coxcatlan, Puebla. Se estableció un diseño completamente al azar. Se evaluaron variables de azúcares totales y reductores, acidez-titulable, fenoles-totales, actividad-antioxidante, betalainas, actividad respiratoria, producción de etileno, acetaldehído y etanol de ambos fenotipos. Los resultados mostraron que los frutos con fenotipo rojo presentaron una mayor concentración de compuestos antioxidantes y fenoles, así como betalainas en comparación con los frutos amarillos. Se concluyó que los frutos de pitaya rojos son una mejor opción para su manejo postcosecha en comparación con el fenotipo amarillo.

ABSTRACT

Stenocereus pruinosus is a cactus that is used for fruit production in family gardens or small producers in the arid areas of Mexico, but the deterioration after harvesting causes losses, due to the lack of knowledge of its physiology, so the objective of this work was describe some chemical characteristics during the postharvest of the fruit of *S. pruinosus* yellow and red phenotypes of the town of Coxcatlan, Puebla. A completely randomized design was established. Variables of total and reducing sugars, titratable acidity, total phenols, antioxidant activity, betalains, respiratory activity, ethylene production, acetaldehyde and ethanol of both phenotypes were evaluated. The results showed that fruits with a red phenotype had a higher concentration of antioxidant compounds and phenols, as well as betalains compared to yellow fruits. It was concluded that red pitaya fruits are a better option for postharvest handling compared to the yellow phenotype.

Introducción

El territorio mexicano presenta una gran riqueza de cactáceas (Bravo, 1978) por lo que es de suponer el manejo de este recurso desde tiempos antiguos. La domesticación de algunas especies se remonta a la época precolombina por su importancia como fuente de alimento, medicina, jabón, colorantes, leña, construcción de casas, cercas vivas, bebidas alcohólicas y forraje (Casas y Barbera, 2002; Bárcenas y Jiménez, 2010).

Los frutos de cactáceas se destacan por presentar una amplia diversidad de usos y son explotados desde nivel de recolección en poblaciones silvestres hasta cultivo en huertos familiares y en los últimos años en producciones comerciales (Martínez, 2007). Han sido frutos comestibles de importancia en zonas semiáridas, tropicales y subtropicales de México desde tiempos antiguos (Pimienta y Nobel, 1994). Son valorados y consumidos principalmente en fresco, pero sirven también para preparar mermeladas, bebidas refrescantes y bebidas alcohólicas por fermentación. Se comercializan en mercados locales de muchos estados de la república (Piña, 1977; Bravo y Sánchez, 1991; Pimienta y Nobel, 1994). Las especies más conocidas e importantes económicamente para los recolectores y campesinos según lo reportado por Granados *et al.*, (1999) son: la pitaya de mayo, *S. pruinosus*; el xonocostle o pitaya agria, *S. stellatus*; el pitire, *S. quevedonis*; la pitaya de Querétaro, *S. queretaroensis* (generalmente sólo conocida como pitaya); la pitaya dulce, *S. thurberi*; la pitaya de agosto, *S. chrisocarpus*; la pitaya de aguas, fruto de *S. chrisocarpus*; fruto de *S. friccii*; finalmente la pitaya colorada, *S. montanus*.

La mayor parte de los frutos comercializados de cactáceas pertenecen a *Opuntia ficus-indica* (Esquivel, 2004), existen en el país otras plantaciones comerciales de cactáceas, ejemplo de ello son los frutos de *Stenocereus* comúnmente llamados "pitayas", las cuales comenzaron desde finales del siglo XIX y en la actualidad, el Estado de Jalisco es productor de la especie de mayor importancia comercial: *Stenocereus queretaroensis* (Pimienta y Nobel, 1994).

Los frutos son sistemas biológicos que modifican su metabolismo tras su recolección, el manejo postcosecha de éstos es de suma importancia para evitar el deterioro y las pérdidas económicas. Uno de los problemas que tiene la fruticultura en México es el porcentaje tan alto de pérdida de frutos durante la postcosecha, debido a factores como el transporte, manejo y almacenamiento inadecuados (Almaguer, 1998).

Por lo tanto, para extender la vida postcosecha de los productos hortícolas es indispensable conocer las causas del deterioro y explorar este conocimiento para

desarrollar tecnologías que permitan minimizar el deterioro a un costo asumible (Wills *et al.*, 1998).

Los estudios bromatológicos realizados por algunos autores coinciden que el principal componente de las pitayas es el agua (entre 83.26–89%), seguido de los azúcares (8 a 11.25%) y proteína (0.73 a 1.29 %). Por su parte García *et al.*, (2013) encontraron que la pitaya de *S. pruinosus* de huertos familiares de Tepexi de Rodríguez, México presentó las siguientes características de color parámetro hue/tono (h°) 19.8 roja y 28.9 anaranjada con diferencias significativas, acidez titulable de 0.17% roja y 0.13% anaranjada sin diferencias, el contenido de hierro (Fe), fue de 22.8 ppm en roja y 27.9 ppm en anaranjada con diferencias estadísticas. Además, reportaron para los compuestos antioxidantes que: el contenido de betalaínas ($\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco) es diferente ($P \leq 0.05$) entre frutos, tanto de betacianinas como de betaxantinas y concluyeron que la pitaya puede tener concentraciones altas de betalaínas. Los fenoles totales expresados como ácido gálico (mg GAE g^{-1} muestra fresca) también presentaron diferencias ($P \leq 0.05$) entre pitayas y reconocieron que el contenido de fenoles totales es equiparable al de otras frutas como las moras y los arándanos. Para la actividad antioxidante ($\mu\text{moles equivalentes a Trolox ETg}^{-1}$ muestra fresca), reportaron también diferencias significativas entre frutos, la pitaya roja presentó mayor actividad antioxidante que la anaranjada.

Todos los procesos metabólicos relacionados con la maduración de los frutos, las variaciones químicas y bioquímicas, requieren de la utilización de energía metabólica, la cual es suministrada por la actividad respiratoria durante la postcosecha. Mientras se encuentran unidos a la planta madre, las sustancias orgánicas son suministradas continuamente por ella sin manifestar deterioro en el fruto, pero, una vez que son cosechados, los procesos de respiración y transpiración continúan. La velocidad de estos es variable y depende de las características específicas de cada especie y las condiciones ambientales en donde son almacenados. A medida que las tasas de respiración y transpiración son mayores, la vida postcosecha de los frutos es más corta (Guadarrama, 2001).

La respiración es un proceso metabólico fundamental que puede describirse como la degradación oxidativa de los productos más complejos normalmente presentes en las células, como el almidón, los azúcares y los ácidos orgánicos, a moléculas más simples, como el dióxido de carbono y el agua, con liberación de energía y otras moléculas que pueden ser utilizadas en las reacciones sintéticas acontecidas en las células.

Sin embargo, no todos los frutos responden igual a estos procesos. Generalmente, se clasifican en dos categorías

según su comportamiento en el ritmo respiratorio, los frutos “climatéricos” y los “no climatéricos”. Los primeros presentan un “pico” de actividad respiratoria, un brusco ascenso en la velocidad respiratoria que puede detectarse midiendo la producción de CO₂ al cual se le llama pico climatérico y por el que se le da nombre a la categoría, así mismo, la cantidad de etileno producida tanto interna como externamente por los frutos climatéricos a lo largo de las diversas etapas de desarrollo y maduración organolépticas es mucho más elevada que los frutos no climatéricos y también son los más precedidos desde el punto de vista postcosecha (Wills *et al.*, 1998; Guadarrama, 2001).

Muchos compuestos importantes para los frutos son sintetizados a partir de los intermediarios de la glucólisis y el ciclo de Krebs, como: el fosfoenolpiruvato (PEP) que es utilizado en la síntesis de compuestos fenólicos y pigmentos, además el piruvato puede convertirse en acetaldehído si existe respiración anaerobia; el Acetil CoA que puede ser convertido en compuestos volátiles característicos del aroma en la maduración de los frutos; la glucólisis se conecta con la vía de las pentosas, una ruta clave que provee NADPH y carbono para las reacciones de biosíntesis de aminoácidos, ácidos nucleicos y metabolitos secundarios; el ciclo del ácido cítrico, involucrado en la biosíntesis de ácidos orgánicos precursores algunos de grupos importantes de aminoácidos (Guadarrama, 2001; Paliyath *et al.* 2012).

El consumo de frutas y verduras ha mostrado efectos protectores contra algunas enfermedades crónicas severas asociadas al envejecimiento, los cuales son atribuidos a una cantidad de compuestos antioxidantes que varían ampliamente en su estructura química y función y son agrupados en vitaminas, carotenos, compuestos fenólicos y tiólicos (Seeram, 2008; Tucker y Robards, 2008).

Los compuestos fenólicos son los más distribuidos en el reino vegetal. Se sintetizan a partir de la vía del fenilpropanoide y poseen un extenso intervalo de funciones fisiológicas en plantas incluida la pigmentación, el crecimiento y resistencia a patógenos, entre otras. Los fenoles son clasificados de acuerdo a su esqueleto básico se identifican como ácidos fenólicos, como el ácido gálico; ácidos hidroxicinámicos, estilbenos, como el resveratrol; y flavonoides, que es el grupo más importante con más de 8000 compuestos identificados hasta ahora, entre ellos se encuentra, la catequina, luteolina, naranjina y muchos otros. El grupo de los fenoles representan los antioxidantes más fuertes en los alimentos vegetales, no obstante, la actividad antioxidante de los compuestos varía dependiendo su estructura química. Se ha observado que en algunos frutos la cantidad de fenoles totales y el total de la

actividad antioxidante incrementan conforme avanza la maduración (Valero y Serrano, 2010).

Los extractos de las betalaínas han sido usados desde hace muchos años para darle color a jugos y vinos. Sin embargo, debido a su alta solubilidad en el agua y susceptibilidad a la luz y el calor, su uso ha sido limitado (Simpson *et al.*, 2012). Algunos autores como Gentile *et al.*, (2004) y Azeredo, (2009) indican que las betalaínas tienen propiedades anticancerígenas debido a su comportamiento como antioxidantes y captación de radicales libres. Por lo que el objetivo de este trabajo fue describir algunas características químicas durante la postcosecha del fruto de *S. pruinosa* fenotipos amarillo y rojo de la localidad de Coxcatlan, Puebla.

Metodología

Ubicación del área de colecta

Los frutos se obtuvieron en la localidad de Venta Salada, Coxcatlán, Puebla, en un huerto de traspatio localizada en las coordenadas geográficas UTM 14Q 692231 m E y 2019810 m N, a una altura de 1010msnm. Se cosecharon frutos del fenotipo rojo y amarillo de manera aleatoria con un gancho de carrizo y pinzas de plástico, fueron trasladados a un espacio sombreado para su aclimatación. Se incluyeron los frutos con las características de coloración del epicarpelo, en buen estado y de rápido desprendimiento de la rama. Las espinas fueron removidas manualmente del fruto sin provocar daño. Todo lo anterior en época de producción durante el mes de mayo de los años 2014 y 2015. Se transportaron en cajas al Laboratorio 9 de la Unidad de Morfología y Función (UMF) de la FES Iztacala, así como al laboratorio de Usos Múltiples del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma de Chapingo.

Diseño de tratamientos

En el laboratorio se utilizó un arreglo de tratamientos completamente al azar, donde se tomó como factor el fenotipo con dos niveles (amarillo y rojo). La unidad de la muestra fue un fruto completo. Se asignaron 30 repeticiones por tratamiento y se usaron de tres a cinco muestras para cada variable de respuesta, las cuales fueron evaluadas cada dos días después de la cosecha (DDC) durante ocho días a temperatura ambiente (26-28°C).

Los frutos fueron etiquetados con el día después de la cosecha y se almacenaron en un congelador a -22°C para el procesamiento posterior de las siguientes variables: acidez titulable, azúcares totales y reductores, fenoles totales, actividad antioxidante, betalaínas, etanol, acetaldehído, etileno y actividad respiratoria (CO₂)).

Procedimientos de las variables de respuesta

Acidez titulable

Se determinó por titulación con NaOH 0.01N hasta llegar a 8.3 ± 1 de pH con ayuda de un potenciómetro Conductronic® modelo PC45. Los resultados se expresaron como porcentaje de ácido málico.

Azúcares totales

Se determinó por el método de antrona (Whitam *et al.*, 1971). Se pesó 1 g de pulpa en matraces Erlenmeyer y se le agregó 50 ml de etanol al 80%, se hirvió de 20 a 30 minutos, se coló y colocó en otros frascos los cuales se pusieron en baño maría hasta completar la evaporación, evitando que las muestras se conviertan en caramelo, se re-suspendió en 50 ml de agua destilada y la re-suspensión se usó tanto para azúcares totales como reductores. En tubos de fondo plano se colocaron 10 μ l de la re-suspensión se ajustó a 3 ml con agua destilada, se agregaron 6 ml de antrona-ácido sulfúrico (0.04:1) con los tubos en un baño de hielo al agregar los 6 ml, después se calentaron en baño maría por 3 minutos, finalmente se enfriaron en agua con hielo. Las lecturas de la absorbancia se realizaron en un espectrofotómetro Thermo Fisher Scientific modelo Genesys 10-S UV-Vis, a 600nm. Para la curva patrón se utilizaron de 10 a 100 μ l de glucosa ajustados a 3 ml con agua destilada, subiendo de 10 en 10 μ l para cada tubo y, se siguió el mismo procedimiento de antrona. Los resultados fueron expresados en mg de glucosa g de peso fresco.

Azúcares reductores

Se cuantificaron con la técnica de Nelson Somogyi, (1952). En tubos de fondo plano con aluminio para evitar la reducción de los reactivos, se agregaron 20 μ l de la muestra ya re-disuelta y se ajustó a 1 ml con agua destilada, más 1 ml de reactivo A+B, se calentó a baño maría en ebullición por 20 minutos, después en agua con hielo hasta enfriar. Se agregó 1 ml de reactivo de arsenomolibdato, y 7 ml de agua. Las lecturas de la absorbancia se realizaron en un espectrofotómetro Thermo Fisher Scientific modelo Genesys 10-S UV-Vis, a 540nm. Se utilizó glucosa para la curva patrón y se siguió el mismo procedimiento que con las muestras problema.

Fenoles totales

Se determinó en un extracto de pulpa con el método de Folin-Ciocalteu descrito por Waterman y Mole, (1994). Se mezclaron 1 g de pulpa más 5 ml de alcohol etílico al 70% (con homogenizador digital Ultra-turrax® IKA® modelo T25), que se dejó reposando durante 24 h en un refrigerador, este extracto se usó para fenoles totales y actividad antioxidante. Para la determinación se ajustó a 1 ml con agua destilada y 600 μ l del extracto, se

adicionaron 7 ml de agua destilada, 500 μ l del reactivo Fenol Folin y Ciocalteu y 1500 μ l de carbonato de sodio al 20%, posteriormente se dejó reposar durante 2 h en oscuridad a temperatura ambiente. Las muestras fueron leídas a una absorbancia de 760 nm con un espectrofotómetro Thermo® Fisher Scientific modelo Genesys 10-S UV-Vis. Se tomó como referencia una curva patrón para la cual se utilizó ácido tánico. Los resultados se expresaron en mg de ácido tánico 100 g⁻¹ de peso fresco.

Actividad antioxidante

De acuerdo al método ABTS [2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolin-6-ácido sulfúrico)] propuesto por Rice-Evans *et al.*, (1997). Se preparó una solución de ABTS (7 mM) con persulfato de potasio y se almacenó durante 24 h a temperatura ambiente en oscuridad para su uso; pasado ese tiempo la solución se diluyó con amortiguador acetato de sodio (pH 4.5) hasta obtener una absorbancia de 0.700 ± 0.01 nm en un espectrofotómetro Thermo Fisher Scientific® modelo Genesys 10-S UV-Vis calibrado a 734 nm. A 100 μ l del extracto previamente preparado de las muestras de pulpa de ambos fenotipos de pitaya se les agregó con 3.9 ml de solución ABTS y, después de un periodo de 2 h se leyó a 734 nm. Los valores se reportaron como actividad antioxidante equivalente a vitamina C en mg 100 g⁻¹ de peso fresco.

Betalaínas

Se realizó por espectrofotometría utilizando la metodología de Dantas *et al.*, (2015). Se tomaron 0.2 g de pulpa y se molió con 20 ml de agua destilada con homogenizador digital Ultra-turrax® IKA® modelo T25 y se dejó en agitación durante una hora a temperatura ambiente a 175rpm con un agitador Thermo Scientific® Modelo SHKA4450, posteriormente se leyeron las absorbancias en un espectrofotómetro Thermo Fisher Scientific® modelo Genesys 10-S UV-Vis, según lo referido por Nilsson (1970) a 476 nm para las betaxantinas, a 538 nm para las betacianinas y a 600 nm para las impurezas. Los resultados fueron expresados en mg sobre 100 g de peso fresco.

Etileno y CO₂

Se evaluó la producción de dióxido de carbono y etileno por el método descrito por Tejacal, (2003) en el que se introdujo un fruto a una cámara cerrada (desecador o un recipiente similar, bien sellado), durante 1 hora, con dos cámaras sin fruto como testigos, se tomó el volumen con jeringas para insulina de 100 unidades y se guardaron en congelador a -20°C hasta su medición. La identificación y cuantificación de etileno y CO₂ se realizó en un cromatógrafo de gases Varian Star 3400. Como estándar

se utilizó etileno 103 mg L⁻¹ y CO₂ 399 mg L⁻¹. Como gas de arrastre Helio (He) y la cantidad de muestra para inyección de 1.0 ml.

Etanol y acetaldehídos

Se midió por el método de Davies y Chace, (1969) para ello se utilizó un cromatógrafo de gases Varian Star 3400 en el que el gas de arrastre fue Helio. Se tomó como referencia las curvas estándar previamente preparadas de cada compuesto, etanol a una concentración de 348.3 mg/ml y acetaldehído a concentración de 31.4mg/ml, para poder hacer posteriormente el cálculo del contenido de cada compuesto en las muestras.

Análisis estadístico

El procesamiento de los datos obtenidos se utilizó el análisis de varianza (ANAVA), comparación de medias entre fenotipos con Tukey ($\alpha=0.05$) y para los datos que no se ajustaron a la normalidad se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, todo lo anterior mediante el software SAS® 9.0.

Resultados y discusión

Acidez titulable

Los valores de acidez titulable (medida como ácido málico) que presentó la pitaya de *S. pruinosa* fue muy baja (0.009-0.018%) y se encontraron diferencias significativas entre fenotipos durante la postcosecha en los 2 y 8 DDC (Tabla 1).

En un estudio realizado por Campos *et al.*, (2011) en frutos de pitaya (*Stenocereus spp.*), no encontraron diferencias en la acidez de los fenotipos, en ambos (amarillo y rojo) la acidez reportada fue de 0.25%. De la misma manera, Armella y Yáñez (2003) en pitaya de *S. griseus* encontraron un porcentaje de acidez de 0.07% meq/100g peso fresco.

Para *S. pruinosa*, García *et al.*, (2013) encontraron para frutos rojos una acidez de 0.17 % y para anaranjados 0.13 % sin diferencias significativas. Rosas y Trujillo (2014) sí observaron diferencias entre los fenotipos, para frutos rojos 0.06% y 0.05% en frutos anaranjados, aunque los valores están muy próximos.

En los resultados no se aprecia una tendencia descendente como lo menciona Valero y Serrano, (2010) y Paliyath *et al.*, (2012) los ácidos orgánicos durante la postcosecha tienden a disminuir debido a que es sustrato para dos vías metabólicas importantes: el metabolismo respiratorio y la gluconeogénesis, también la acidez puede estar dada por otro ácido como el cítrico y no por málico, lo cual provocó la acidez titulable baja de los frutos.

Tabla 1. Contenido de acidez titulable de los fenotipos amarillo y rojo de *S. pruinosa*. Los valores presentados por día son el promedio con n=3.

Fenotipo	Acidez titulable (%)		
	Días después de la cosecha (DDC)		
	2	6	8
Rojo	0.012 b ^z	0.011 a	0.009 b
Amarillo	0.018 a	0.012 a	0.015 a

^zMedias con letras iguales en la misma variable y día DDC, significa que no existe diferencia significativa de acuerdo a la prueba de medias de Tukey $\alpha \leq 0.05$.

Azúcares totales

Los azúcares totales se incrementan durante la maduración como consecuencia de la hidrólisis de los carbohidratos de reserva; la glucosa y fructosa son los principales monosacáridos que se encuentra, así como la sacarosa como el principal disacárido (Paliyath *et al.*, 2012). El aumento de los azúcares totales en el día 6 DDC pudo ser provocado por la hidrólisis de las reservas conforme avanza el periodo postcosecha y, posteriormente hay otro descenso debido a la utilización de los productos derivados en las rutas metabólicas de la glucólisis y el ciclo de Krebs.

La tendencia de los azúcares durante los DDC fue incrementar hasta el día 6 en el cual se sugiere madurez organoléptica y posteriormente desciende la cantidad de azúcares acumulados, (Figura 1A). Probablemente en el metabolismo se usan primero los ácidos orgánicos que siguen una tendencia inversa a los azúcares, que disminuyeron al día 6 DDC y luego aumentaron en el 8 DDC para el fenotipo amarillo (Tabla 1).

En pitayas de *Stenocereus spp.*, Campos *et al.*, (2011) reportaron para frutos amarillos 11% y para frutos rojos 10.50%. Para la especie de *S. pruinosa*, Rosas y Trujillo (2014) también obtuvieron para frutos rojos 7.09% y 7.44% para frutos anaranjados, mientras en este trabajo los valores encontrados fueron menores (Figura 1A).

Azúcares Reductores

Para esta variable se obtuvieron diferencias significativas entre la pitaya amarilla y roja en el 6 DDC, los valores de la pitaya roja siempre fueron mayores. También se observó durante la postcosecha de frutos de pitaya presentaron los azúcares reductores en mayor concentración en el fenotipo rojo y menor en los amarillo. (Figura 1B) para los azúcares totales también se presentó esta tendencia (Figura 1A). En los datos reportados por Campos *et al.*, (2011) no observaron diferencias entre fenotipos, para la amarilla obtuvieron 9.75% y en la roja 10%. Los datos del día 2 y 4 no mostraron una tendencia definida, sin embargo, en los días 6 y 8 DDC se observó

un aumento, si se compara con los azúcares totales se podría explicar que éstos se hidrolizaron lo cual causó el aumento (> 15%) en el último día de la postcosecha (Figura 1B).

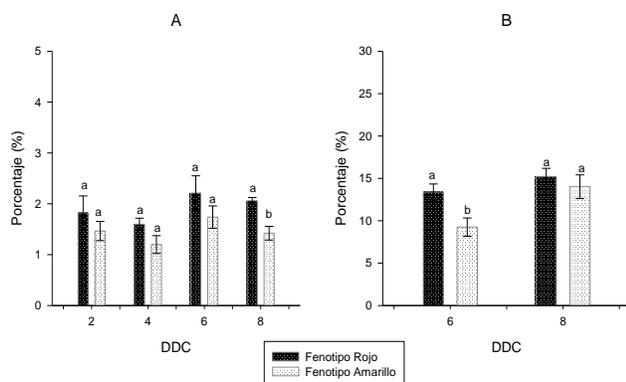


Figura 1. Azúcares totales (A) y reductores (B) de la pitaya de *S. pruinosa* fenotipo rojo y amarillo. Las medias con la misma letra por día (DDC) son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey $P \leq 0.05$.

Fenoles totales

Se encontraron diferencias significativas entre los fenotipos, el fruto de fenotipo rojo obtuvo valores más altos de fenoles totales que los frutos amarillos (Figura 2 A). Los fenoles totales obtenidos en este trabajo se reporta como ácido tánico, mientras los reportados por otros trabajos usaron como referencia el ácido gálico y, el método de extracción difiere. Los valores obtenidos fueron ligeramente mayores para ambos fenotipos que los reportados, el valor fue considerablemente mayor en el fenotipo rojo en comparación con el amarillo o anaranjado.

Los valores de fenoles reportados por García *et al.*, (2013) presentaron la misma tendencia, donde el fenotipo rojo presento los valores más altos, ya que, obtuvieron para pitaya de *S. pruinosa* fenotipo rojo 1.6 mg EAG g^{-1} de muestra fresca y para la anaranjada 1.2 mg EAG g^{-1} de muestra fresca, mientras que García *et al.*, (2012) obtuvieron valores de 535.9 mg kg^{-1} EAG para frutos rojos y 421.6 mg kg^{-1} EAG para anaranjados.

Los estudios realizados con la pitaya de la especie *S. griseus* indican que posee un contenido de fenoles totales similar que la de *S. pruinosa*. García *et al.*, (2012) reportaron (en mg de ácido gálico 100 g^{-1} de pulpa seca) para pitaya roja 166.5 y para anaranjada 52.8 con diferencias significativas; Ayala *et al.*, (2008) reportaron para pitaya de *S. griseus* fenotipo rojo 240.14 mg EAG 100 g^{-1} de muestra fresca, anaranjado 335.83 mg y amarillo 273.80 mg. Mientras que para la pitaya de la especie *S. stellatus* indican una cantidad mayor de fenoles totales que la de *S. pruinosa*, Beltrán *et al.*, (2009) reportó en mg

EAG 100 g^{-1} de muestra seca, para el fenotipo rojo 1384.3 mg y para el amarillo 2129.1 mg.

En tuna anaranjada (*Opuntia ficus indica*) Pérez *et al.*, (2015) reportaron la cantidad de 143.3 mg $\bullet 100g^{-1}$ de ácido gálico, valor similar al encontrado en las pitayas del género *Stenocereus*. García *et al.*, (2013) indicaron, que se considera normal la presencia de compuestos fenólicos en los tejidos vegetales, independientemente del estado fisiológico y pueden aumentar, disminuir o permanecer constantes durante el almacenamiento.

Actividad antioxidante

Para esta variable, se observaron diferencias significativas entre los fenotipos, las pitayas rojas presentaron mayor actividad antioxidante. El comportamiento de las pitayas amarillas fue aumentando conforme transcurrieron los días y la roja disminuyó, pero sin diferencias (Figura 2B).

Beltrán *et al.*, (2009) quienes utilizaron el radical catiónico DMPD⁺ y reportaron en capacidad antioxidante equivalente a ácido ascórbico (AEAC) en *S. stellatus* obtuvieron para pitaya roja 207.88 ± 27.53 mg 100 g^{-1} AEAC y en amarilla 302.10 ± 28.03 mg 100 g^{-1} , valores muy por encima de los encontrados en este trabajo.

En *S. pruinosa*, García *et al.*, (2013) quienes reportaron en equivalentes de Trolox (ET), encontraron para pitaya roja la cantidad de 1090.692 μ Moles ET g^{-1} muestra fresca y para anaranjada 735.4 92 μ Moles ET g^{-1} muestra fresca.

Rosas y Trujillo (2014), obtuvieron 4.21 en pitaya roja y 2.92 μ Moles ET g^{-1} muestra fresca en anaranjada de *S. pruinosa*. Rosas *et al.*, (2016) obtuvieron para pitaya roja 4.91 mmol ET kg^{-1} y 3.46 mmol ET kg^{-1} en anaranjada. Beltrán *et al.*, (2009) en *S. stellatus* obtuvieron 2763.2 y 4202.1 mg ET g^{-1} para los fenotipos rojo y amarillo respectivamente y concluyeron que poseen capacidad antioxidante tan alta como los frutos ricos en fitoquímicos antioxidantes, como la fresa y las bayas.

Ayala, (2008) para *S. griseus* obtuvo en el fenotipo rojo 9.17 μ Moles ET g^{-1} muestra fresca y en el amarillo 9.87 μ Moles ET g^{-1} muestra fresca. Como se observa en las referencias la actividad antioxidante y los fenoles totales difieren bastante debido a los métodos de extracción utilizados por cada autor, lo cual no permite su comparación, no obstante, la pitaya del género *Stenocereus* tiene actividad antioxidante atribuida a diversos compuestos.

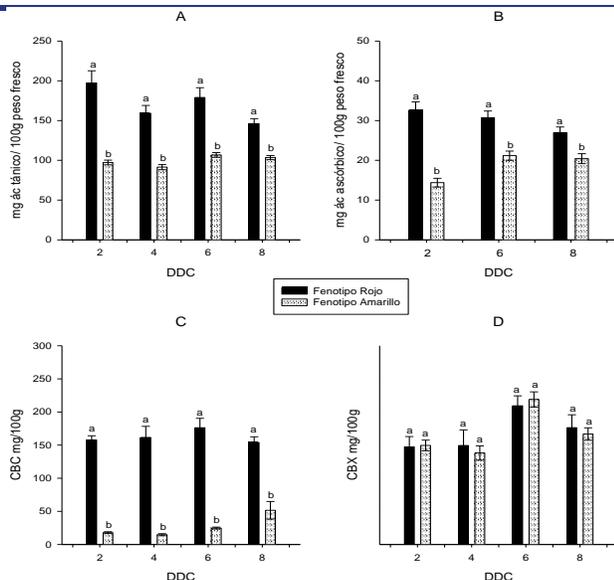


Figura 2. Fenoles Totales (A), Actividad Antioxidante (B), Betacianinas (C) y Betaxantinas (D) de fenotipo rojo y amarillo de pitaya *S. pruinosa* a los 2, 4, 6 y 8 días después de la cosecha (DDC). Los datos de las variables fueron analizados por día mediante un análisis no paramétrico Kruskal-Wallis $P \leq 0.05$ y no se encontraron diferencias significativas entre fenotipos fue en el contenido de betaxantinas.

Betalainas

Los resultados del contenido de las betalaínas son congruentes con el color de los frutos, ya que, las betacianinas (BC) son pigmentos asociados a los colores rojo-violetas, mientras que las betaxantinas (BX) confieren las coloraciones amarillas, por lo tanto, el fenotipo rojo debe tener mayor cantidad de betacianinas y el amarillo de betaxantinas. En la Figura 2C y 2D se observa que el fenotipo rojo tuvo mayor cantidad de BC con diferencias significativas con respecto al fenotipo amarillo, sin embargo, en el contenido de BX no hubo diferencias entre fenotipos. La cantidad de betalaínas del fenotipo rojo podría contribuir a que éste tenga mayor actividad antioxidante que el fenotipo amarillo, ya que, las betalaínas provienen metabólicamente de la vía del ácido shikímico al igual que los fenoles y varios compuestos antioxidantes y en su estructura poseen varios dobles enlaces; son capaces de recibir y donar electrones sin oxidarse rápidamente.

García *et al.*, (2013) también encontraron diferencias entre fenotipos, para CBT y CBX, el fenotipo rojo (CBT=2.86 y CBX=3.21 mg/g muestra seca) presentó valores mayores que el anaranjado (CBT=0.47 y CBX=2.67 mg/g muestra seca). Rosas y Trujillo, (2014) reportan solamente betalaínas totales, para pitaya roja 4.4 mg g⁻¹ y anaranjadas 2.49 mg g muestra seca⁻¹, con diferencias significativas. Los datos de estos autores son similares, aunque ligeramente mayores que los

obtenidos en el presente trabajo (roja 3.05-3.85 mg g⁻¹, amarilla 1.68-2.38 mg g⁻¹). En *S. stellatus* los resultados son similares a los encontrados en el trabajo, García *et al.*, (2012) reportan para CBT del fenotipo rojo 199.6 mg 100 g⁻¹ y en fenotipo anaranjado 37.6 mg 100 g⁻¹, para CBX de pitaya roja 147.6 mg 100 g⁻¹ y pitaya anaranjada 177.37 mg 100 g⁻¹, en ambos contenidos existen diferencias significativas, la pitaya roja posee mayor cantidad de BC y la anaranjada de BX.

El contenido de betalaínas totales aumentó durante los 8 DDC. Se obtuvo su máximo de producción el día 6 DDC (Figura 2 C,D), probablemente debido a que la formación de estos compuestos está asociada además del color a la actividad antioxidante del fruto, mecanismo de protección de los rayos UV y los compuestos oxidantes que se generan durante la senescencia natural del fruto.

Actividad respiratoria (CO₂)

La actividad respiratoria medida como la emisión de CO₂ no se observó un pico marcado de emisión de este compuesto durante los 8 DDC, solo un aumento en el día 6 DDC para ambos fenotipos, sin embargo, esos resultados no son suficientemente consistentes para afirmar un comportamiento de tipo no climatérico, aunque los valores del fenotipo rojo fueron mayores (Figura 3A). Por lo que, se propone un mayor número de repeticiones dentro de los tratamientos, ya que el coeficiente de variación es muy alto y eso representa errores que derivan en una interpretación poco confiable de los datos.

El aumento en la concentración de CO₂ en el día 6 DDC pueden indicar la fase de maduración completa de los frutos de la pitaya en ese día, como lo indican Ávalos, *et al.*, (2006) para diferentes especies de frutos del género *Opuntia*, donde encontraron las máximas concentraciones de CO₂ en el estadio M3, previo a la senescencia.

Los resultados obtenidos por Rosas y Trujillo, (2014) con la misma especie *S. pruinosa*, son mayores que los obtenidos en el presente trabajo, reportaron valores promedio de 310 mgkg⁻¹h⁻¹, aunque con un patrón no climatérico. Cruz, (1985) para pitayas de *S. stellatus* reportó un patrón no climatérico sin diferencias estadísticas en frutos de color rojo, amarillo, blanco y solferino, con una concentración emitida de CO₂ dentro de los rangos de 24-31 mgkg⁻¹h⁻¹ en el segundo día DDC, y posteriormente bajó entre los 19 y 25 mg kg⁻¹ h⁻¹ al quinto DDC. Rodríguez *et al.*, (2011) también reportaron para frutos de *S. stellatus* un comportamiento no climatérico con concentraciones de CO₂ menores a 30 mgkg⁻¹h⁻¹ pero mayores de 20 mgkg⁻¹h⁻¹ durante cinco DDC. Armella y Yáñez, (2003) con *S. griseus* también indican que el comportamiento de los frutos es no

climatérico, indicaron además que la respiración de los frutos es más intensa si son almacenados a temperatura ambiente a comparación de los almacenados en refrigeración y con espinas.

En los frutos de otras cactáceas comerciales como pitahaya y tuna también se ha observado un patrón no climatérico con rangos de emisión de CO₂ similares a los encontrados en la pitaya de *S. pruinosus* (Arévalo y Ortiz, 2004; Corrales y Hernández, 2005; Ávalos, *et al.*, 2009; Osuna, *et al.* 2011).

Etileno

La producción de etileno no mostró diferencias significativas entre fenotipos. No obstante, la emisión de etileno siguió un patrón similar al de CO₂, con valores bajos en roja con respecto a la pitaya amarilla (Figura 3B). El análisis gráfico sugiere un comportamiento no climatérico.

Los resultados obtenidos en el trabajo son bajos en comparación con los datos reportados por los autores que describen: es importante mencionar que no existen muchos artículos sobre respiración en frutos de pitaya *S. pruinosus*, por lo que se comparó con otras frutas de cactáceas del género *Hylocereus* y *Opuntia*.

Rodríguez *et al.*, (2011) en frutos de *S. stellatus* reportaron que la actividad del etileno se mantiene constante durante cinco días de postcosecha. Nerd *et al.*, (1999) con frutos de pitahaya del género *Hylocereus*, encontraron valores de etileno de 0.025-0.091 $\mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$. D'Áquino *et al.*, (2014) midieron la cantidad de etileno emitido durante cuatro semanas en frutos de tuna "Gialla" a diferentes temperaturas y humedad relativa y reportaron valores constantes sin picos de actividad de etileno menores a 0.2 $\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{h}^{-1}$, los cuales fueron bajando conforme transcurrieron los días postcosecha. Todos ellos indicaron un comportamiento no climatérico en sus frutos.

Acetaldehído

Se encontraron diferencias en la concentración de acetaldehído en los fenotipos rojo y amarillo en mg mL^{-1} , la cantidad del compuesto aumentó durante los ocho días de almacenamiento, pero en el fenotipo amarillo hubo un aumento dramático en el día 6 DDC y posteriormente bajó (Figura 3C). El aumento en el día 6 DDC concuerda con los datos de las variables anteriores que podrían indicar que el inicio de la senescencia del fruto se encuentra aquí, por lo que es recomendable su consumo en días anteriores a éste, ya que el acetaldehído, así como otros compuestos volátiles generan olores y sabores no deseados para el consumidor.

Rosas y Trujillo (2014) en *S. pruinosus* reportaron 10.95 $\text{mg } 100\text{ml}^{-1}$ para pitaya anaranjada y 10.58 $\text{mg } 100\text{ml}^{-1}$ para pitaya roja. Monroy, (2016) obtuvo valores menores a 5 $\text{mg } 100\text{ml}^{-1}$ para diferentes cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.

Pesis, (2005) indicó que la acumulación de acetaldehído depende de las características genéticas del fruto y de su almacenamiento, así como que frutas con pequeños espacios de aire intercelulares acumulan mucha mayor cantidad de acetaldehído y etanol.

Etanol

La cantidad de etanol tuvo un comportamiento similar al acetaldehído, con un aumento durante los días ocho DDC, aunque la producción en el fenotipo amarillo fue más alta ($\text{mg } 1\text{ml}^{-1}$) que el rojo ($\text{mg } 1\text{ml}^{-1}$) (Figura 3D).

Rosas y Trujillo, (2014) reportaron 113.31 $\text{mg } 100\text{ml}^{-1}$ en pitaya anaranjada y 102.71 $\text{mg } 100\text{ml}^{-1}$ en pitaya roja. Monroy (2016) reportó los valores más altos en tuna 'amarilla montesa' con 25.07 $\text{mg } 100\text{ml}^{-1}$ en el día nueve de almacenamiento, valores que son menores a los observados en el presente estudio fenotipo amarillo y rojo.

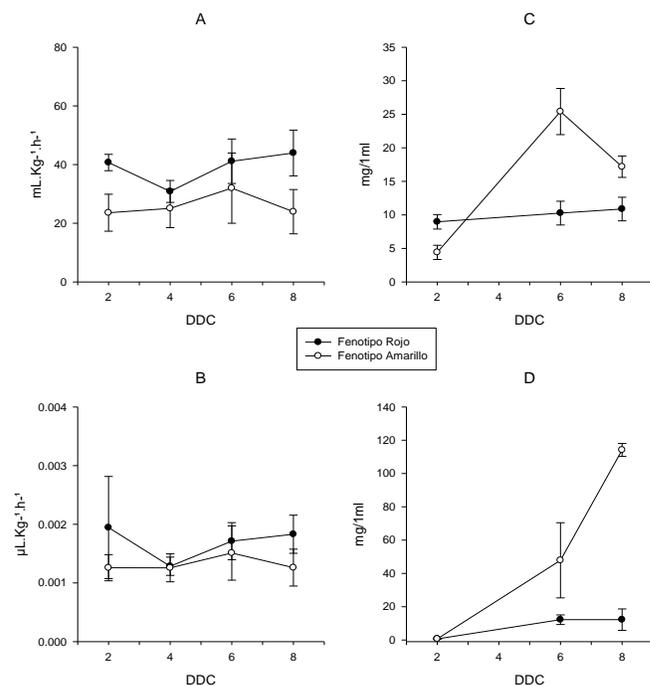


Figura 3. Resultados de la emisión de CO₂ (A), etileno (B), acetaldehído (C) y etanol (D) de pitaya de *S. pruinosus* fenotipo rojo y amarillo a los 2, 4, 6 y 8 días después de la cosecha (DDC). Los datos de las variables fueron analizados por día mediante un análisis no paramétrico Kruskal-Wallis $P \leq 0.05$.

Como ya se mencionó, los metabolitos anaerobios aumentan su concentración conforme la maduración del

fruto y depende del tipo de almacenamiento, un almacenamiento en frío aumenta la posibilidad de anoxia y por lo tanto la cantidad de metabolitos, además los frutos con ceras tienen mayor acumulación de etanol. En este experimento, los frutos fueron almacenados a temperatura ambiente de 26 a 28 °C, por lo que, se esperaban cantidades más bajas de etanol y acetaldehído.

Conclusiones

La acidez titulable presenta diferencias significativas con los valores más altos en el fruto de pitaya con el fenotipo amarillo, mientras que los azúcares totales y reductores presentaron valores más bajos. Mientras que el fenotipo rojo presenta los valores de acidez titulable más bajos y los mayores contenidos de azúcares, lo cual puede generar sabores contrastantes para el consumidor.

Los fenoles, la actividad antioxidante y los contenidos de betacianinas presentaron los valores más altos con diferencias significativas para el fenotipo rojo de frutos de pitaya, por lo que es una buena fuente de compuestos antioxidantes. Para los contenidos de betaxantinas no se encontraron diferencias. No obstante, los dos fenotipos mostraron una alta capacidad antioxidante.

Los valores de etileno y la actividad respiratoria en ambos fenotipos sugieren un patrón no climatérico de forma preliminar, por lo que debe efectuarse su cosecha en plena madurez de consumo.

La síntesis de acetaldehído y etanol no mostraron una tendencia definida, no obstante, el fenotipo amarillo muestra los valores más altos de etanol 8 DDC, lo cual genera compuestos volátiles que aromas y sabores no deseables para el consumidor.

El fruto de pitaya de fenotipo rojo puede ser una mejor opción para venta a mayor distancia o si se almacenará por más días postcosecha, y de poseer mayor capacidad antioxidante. Para ambos fenotipos se sugiere que el periodo de senescencia comienza en el día 6 DDC, por lo que es conveniente la venta del producto fresco antes de ese día.

Agradecimientos

Al químico Cecilio Bautista Bañuelos por la asesoría en las técnicas de laboratorio al Dr. Juan Ayala Arreola y al Dr. Juan Gerardo Ortiz Montiel por sus observaciones al presente trabajo.

Referencias

- Almaguer V.G. (1998). Maduración, cosecha y empaque de los frutos. En: *Fruticultura General*. 3ª. Mundi-Prensa y Universidad Autónoma Chapingo. México, p. 337-370.
- Arévalo G.M.L., Ortiz H.D.Y. (2004). Comportamiento postcosecha del fruto de lapitahaya (*Hylocereus undatus*). *Cact. y Suc. Mex.* 49 (3): 85-90.
- Ávalos A.A., Ramírez C.Y., Goytia J.A.M., Barrientos P.F.A., Saucedo V.C. (2006). Etileno en la abscisión del fruto de tres especies del género *Opuntia*. *Rev. Chap. Horti.* 12 (001): 127-133.
- Armella M.A., Yáñez L.L., Soriano S.J., Ramírez R.G. (2003). Phenology, postharvest physiology and marketing of pitaya (*Stenocereus griseus*, L.) as a sustainable resource. En: *Proc. IS on Sust. Use Of Plant Biodiv.* Eds. E. Düzyaman & Y. Tüzel Acta Hort. 598.
- Ayala-Caramillo K.C., Gallardo-Velázquez T., Beltrán-Orozco C.M. (2008). Determinación del contenido de fenoles totales y de la capacidad antioxidante de tres especies del fruto de la pitaya (*Stenocereus griseus* H.). V Congreso Internacional de Ingeniería Bioquímica. IPN. Clave: 461182. 13p.
- Azeredo H.M.C. (2009). Betalains: properties, sources, applications, and stability, a review. *Int J Food Sci Technol* 44: 2365-2376.
- Bárceñas A.P., Jiménez C.V. (2010). Pitayas y Pitahayas (*Stenocereus spp.*, *Hylocereus spp.*), recursos agrícolas en el Valle de Tehuacán Puebla. *Soci. Rur, Prod. Med. Amb.* 10 (19): 101-120.
- Beltrán O.M.C., Oliva C.T.G., Gallardo V.T., Osorio R.G. (2009). Ácido ascórbico, contenido fenólico, y capacidad antioxidante de las variedades roja, cereza, amarilla y blanca del fruto del cactus de la pitaya (*Stenocereus stellatus* Riccobono). *Agrocien.* 43: 153-162.
- Bravo H.H. (1978). *Las cactáceas de México, Vol. I.* Univ. Nacional Autónoma de México, México, p.755
- Bravo H.H., Sánchez-Mejorada H. (1991). *Las cactáceas de México, Vol. III.* Universidad Nacional Autónoma de México. México. 505-512 pp.
- Campos-Rojas E., Pinedo-Espinoza M.J., Campos-Montiel G.R., Hernández-Fuentes D.A. (2011). Evaluación de plantas de pitaya (*Stenocereus spp.*) de poblaciones naturales de Monte Escobedo, Zacatecas. *Rev. Chap. Ser. Horti.* 17 (3): 173-182.
- Casas A., Barbera G. (2002). Mesoamerican domestication and diffusion. En: *CACTI Biology and uses.* University of California Press. USA. 143-162 pp.

- Corrales G J., Hernández S.L.J. (2005). Cambios en la calidad postcosecha de variedades de tuna con y sin semilla. *Rev. Fito. Mex.* 28 (001): 9-16.
- Cruz H.J.P. (1985). Caracterización del fruto de 4 tipos de pitaya (*Stenocereus stellatus* Riccobono). Tesis de Maestría. Centro de Fruticultura, Colegio de Postgraduados. Chapingo. México. 89 p.
- Dantas R.L., Silva M.S., Brito-Primo M.D., Sousa B.S.A., Brito S.E., Macedo S.M.E. (2015). Changes during maturation in the bioactive compounds and antioxidant activity of *Opuntia stricta* (Haw.) Fruits. *Acta hort.* 1067: 159-166.
- Davies P.L., Chace G.W. (1969). Determination de alcohol in citrus juice by gas Chromatographic analysis of headspace. *Hort Science* 4 :117-119.
- D'Aquino S., Chessa I., Schirra M. (2013). Heat Treatment at 38 °C and 75-80 % Relative Humidity Ameliorates Storability of Cactus Pear Fruit (*Opuntia ficus-indica* cv "Gialla"). *Food Bioproc. Technol.* 7:1066-1077.
- Esquivel M. (2004). Los frutos de las cactáceas y su potencial como materia prima. *Agro Mesoa.* 15 (2): 215-219.
- García-Cruz L., Salinas-Moreno Y., Valle-Guadarrama S. (2012). Betalaínas, compuestos fenólicos y actividad antioxidante en pitaya de mayo (*stenocereus griseus* H.). *Rev. Fitotec. Mex.* 35 (5): 1-5.
- García C.L., Valle G.S., Salinas M.Y., Joaquín C.E. (2013). Physical, chemical, and antioxidant activity characterization of pitaya (*Stenocereus pruinosus*) fruits. *Plant Foods Hum. Nutri.* 68 (4): 333-430.
- Gentile C., Tesorire L., Allegra M., Livrea A.M., D'Alessio P. (2004). Antioxidant betalains from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) inhibit endothelial ICAM-1 expression. *Ann Y Acad Sci.* 1028: 481-486.
- Granados S.D., Mercado A.J.B., López F.G.R. (1999). Las pitayas de México. *Ciencia y Desarrollo.* México. 25 (149): 58-67.
- Guadarrama A. (2001). *Fisiología postcosecha de frutos.* Universidad central de Venezuela. Venezuela. 139 p.
- Martínez G.J.C. (2007). Descripción morfológica de los principales cultivares de Pitaya y Pitahaya en la Mixteca Poblana y Oaxaqueña. En: *Frutales nativos, un recurso fitogenético de México.* Universidad Autónoma Chapingo. México. 175-186pp.
- Monroy G.T. (2016). Caracterización química, física y fisiológica de xocotuna, tuna y xoconostle. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma Chapingo. México. 148p.
- Nerd A., Gutman F. Mizrahi Y. (1999). Ripening and postharvest behaviour of fruits of two *Hylocereus* species (Cactaceae). *Postharv. Biol. and Tech.* 17: 39-45.
- Nilsson T. (1970). Studies into the Pigments in Beetroot (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris* var. *rubra* L.). *Lantbrukshögskolans Annaler.* 36: 179-219.
- Osuna E.T., Ibarra Z.E.M., Muy R.D.M., Valdez T.B., Villareal R.M., Hernández V.S. (2011). Calidad postcosecha de frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haw.) cosechados en tres estados de madurez. *Rev. Fitotec. Mex.* 34 (1): 63 - 72.
- Paliyath G., Tiwari K., Sitbon C., Whitaker D. (2012). Biochemistry of fruits. En: *Food biochemistry and fruit processing.* 2nd. Wiley-Backwell. EUA. 533-553 pp.
- Pérez L. M., Flores T.F., Martín D.J., Romero D.C., Rodríguez R.M.E. (2015). Physicochemical characterization of cactus pads from *Opuntia dillenii* and *Opuntia ficus indica*. *Food Chemistry.* 188: 393-398.
- Pesis E. (2005). The role of the anaerobic metabolites, acetaldehyde and ethanol, in fruit ripening, enhancement of fruit quality and fruit deterioration. *Post. Biol. Tech.* 37: 1-19.
- Pimienta-Barrios E., Nobel S.P. (1994). Pitaya (*Stenocereus spp.* Cactaceae) an ancient and modern fruit crop of Mexico. *Econo. Bot.* 48: 76-83.
- Piña-Luján I. (1977). Pitayas y otras cactáceas afines del estado de Oaxaca. *Cact. Suc. Mex.* 22 (1): 3-14.
- Rice-Evans A., Miller N.J., Paganga G. (1997). Antioxidant properties of phenolic compounds. *Tren. Plant. Scien.* 2 (4): 152-158.
- Rodríguez-Irepan Y., Suárez-García J.F., Mercado-Silva E., Suarez-Rodríguez M.L., Martínez-Pacheco M.M., Salgado-Garciglia R., López-Gómez R. (2011). Expresión del gen de la ACC oxidasa en la maduración del fruto de Pitaya (*Stenocereus stellatus* (Pfeiff.) Riccob.) Cactaceae. *Biolog.* 13 (1): 54-58.
- Rosas B A., Trujillo C.L. (2014). Frigoconservación de frutos de pitaya (*Stenocereus pruinosus* (Otto) Buxb.) en postcosecha. Tesis de grado. Universidad Autónoma Chapingo. México. 63p.
- Rosas-Benítez A., Trujillo-Cárdenas L., Valle-Guadarrama S., Salinas-Moreno Y., García-Cruz L. (2016). Atributos de calidad de frutos de pitaya (*Stenocereus pruinosus*) manejados en postcosecha con y sin espinas bajo almacenamiento refrigerado. *Rev. Chap. Horti.* 22 (3): 191-207
- Seeram N.P. (2008). Berry fruits for cancer prevention: current status and future prospects. *J. Agri Food Chemis.* 48: 140-146.

Simpson K.B., Benjakul S., Klomklao S. (2012). Natural food Pigments. En: *Food biochemistry and fruit processing*. 2nd. Wiley-Blackwell. EUA. 705-722 pp.

Somogyi N. (1952). Notes on sugar determination. *J. Biol. Chemist.* 195; 19-23.

Tejacal A.I. (2003). Estudios postcosecha en Zapote Mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn). Tesis de Doctorado, Colegio de Postgraduados. Chapingo. México.

Valero D., Serrano M. (2010). Fruit ripening. En: *postharvest Biology and Technology for preserving fruit quality*. CRC Press. EUA. 7-49 p.

Waterman P.G., Mole S. (1994). *Analysis of Phenolic Plant Metabolites*. Blackwell Scientific Publications, Oxford. UK. 238 p.

Whitham F.H., Blaydes F.D., Devlin M.R. (1971). *Experiments in Plant Physiology*. Van Nostrand Reinhold Company. New York. 55-58 pp.

Wills R., McGlasson B., Graham D., Joyce D. (1998). *Introducción a la fisiología y manipulación poscosecha de frutas, hortalizas y plantas ornamentales*. 2^a. Acribia. España. 240p.

Tucker G., Robards K. (2008). Bioactivity and structure of biophenols as mediators of chronic diseases. *Crit. Rev. Food Scien. Nutri.* 48: 929-966.