



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

“Descripción de características postcosecha de frutos  
de pitaya roja y amarilla de *Stenocereus pruinosus*  
(CACTACEAE) de la localidad de Venta Salada,  
Municipio de Coxcatlán, Puebla”

**T E S I S**

Que para obtener el título de  
**Bióloga**

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

**Brenda González Calderón**

**Director de Tesis  
Dr. Manuel Mandujano Piña**



Los Reyes Iztacala, Noviembre de 2016.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por la educación de calidad que recibí desde el bachillerato para poder concluir así mi formación profesional.

A mi asesor de tesis el Dr. Manuel Mandujano Piña por su pasión y entrega por el trabajo que realiza como académico e investigador, por la infinita paciencia y asesoría en la realización del trabajo en cuestión.

A mi hermana y familia en general, por apoyarme desde lejos aunque a veces no fuera consciente de ello y pudiera agradecerles.

A las niñas, Bagadá, Alexa y Karen “por hacer de mi vida un lugar más habitable”.

A la familia Monroy-Olvera y Rodríguez-Aguilar por adoptarme y quererme como un miembro más de su familia.

## **DEDICATORIA**

*A mi madre, Rocío, quien me enseñó a salir adelante a pesar de los inconvenientes de la vida. Admiraré siempre su fuerza y voluntad para lograr las cosas que se proponía. Sobre todo agradezco su amor inmensurable que me seguirá en todo lo que haga, lo llevo conmigo.*

*No me olvido de tí.*

*A mi padre, Víctor, quien me enseñó que la vida va más allá de sobrevivir, despertando mi curiosidad por la naturaleza y la apreciación del arte. Por ser un padre cariñoso y comprensivo que trata de entender para siempre apoyar mis decisiones. Por cumplir sus promesas y siempre cuidar de su familia.*

**Descripción de características postcosecha de frutos de pitaya roja y amarilla de  
*Stenocereus pruinosus* (CACTACEAE) de la localidad de Venta Salada, Municipio de  
Coxcatlán, Puebla**

**Contenido**

<b>1. Resumen</b> .....	5
<b>2. Introducción</b> .....	6
<b>3. Antecedentes</b> .....	7
<b>3.1 Explotación de cactáceas con frutos en México</b> .....	7
<b>3.2 Las pitayas del género <i>Stenocereus</i></b> .....	8
<b>3.3 Descripción de la especie <i>Stenocereus pruinosus</i></b> ..... ¡Error! Marcador no definido.	
<b>3.3.1 Descripción taxonómica</b> .....	8
<b>3.3.2 Distribución geográfica</b> .....	10
<b>3.3.3 Aprovechamiento de la pitaya en Puebla y Oaxaca</b> .....	11
<b>3.4 Propagación y recolección de frutos de <i>Stenocereus spp.</i></b> .....	13
<b>3.5 Composición química del fruto</b> .....	14
<b>3.6 Parámetros que influyen en la calidad de frutos.</b> .....	15
<b>3.6.1 Color</b> .....	15
<b>3.6.2 Minerales</b> .....	16
<b>3.6.3 Respiración</b> .....	17
<b>3.6.4 Etileno</b> .....	19
<b>3.6.5 Respiración anaerobia</b> .....	20
<b>3.6.6 Fenoles y Actividad antioxidante</b> .....	21
<b>3.6.7 Betalainas</b> .....	22
<b>4. Justificación</b> .....	24
<b>5. Objetivos</b> .....	24
<b>5.1 Objetivo General</b> .....	24
<b>5.2 Objetivos particulares</b> .....	24
<b>6. Hipótesis</b> .....	24
<b>7. Material y métodos</b> .....	25
<b>7.1 Ubicación y descripción del área de colecta</b> .....	25
<b>7.2 Trabajo en campo</b> .....	26
<b>7.3 Trabajo en laboratorio</b> .....	27
<b>7.4 Procedimientos de las variables de respuesta</b> .....	27

7.5	Diseño de tratamientos .....	32
7.6	Modelo estadístico .....	32
8.	Resultados y discusión .....	33
8.1	Variables físicas .....	33
8.1.1	Peso .....	33
8.1.2	Firmeza.....	34
8.1.3	Solidos Solubles Totales (SST) .....	36
8.2	Color.....	37
8.3	Variables químicas .....	38
8.3.1	Acidez titulable.....	38
8.3.2	Azúcares totales .....	39
8.3.3	Azúcares Reductores .....	40
8.4	Compuestos antioxidantes .....	40
8.4.1	Fenoles totales.....	40
8.4.2	Actividad antioxidante .....	41
8.4.3	Betalainas.....	43
8.5	Variables fisiológicas.....	44
8.5.1	Actividad respiratoria (CO <sub>2</sub> ).....	44
8.5.2	Etileno .....	45
8.5.3	Acetaldehído .....	45
8.5.4	Etanol.....	47
8.6	Contenido mineral.....	47
9.	Conclusiones.....	49
10.	Bibliografía .....	50

## 1. Resumen

Para evitar el deterioro tras la recolección de las frutas en general es indispensable conocer el comportamiento de diferentes variables durante la vida postcosecha, de esta forma, se puede modificar su manejo y/o empaquetado para evitar pérdidas y ayudar en su comercialización. Los frutos de muchas cactáceas mexicanas como pitaya, garambullo y jiotilla se distribuyen únicamente en mercados locales debido a que su vida postcosecha es corta, a pesar de su gran importancia cultural y comercial. La gestión y selección artificial de la pitaya de *Stenocereus pruinosus* en huertos familiares y pequeños productores, es más intensa que la que ocurre con otras especies del género también importantes comercialmente como *S. stellatus*, sin embargo, hay menos estudios relacionados con la fisiología de *S. pruinosus*, por lo que el objetivo de esta investigación fue describir algunas características postcosecha del fruto de *S. pruinosus* fenotipos amarillo y rojo recolectados en la localidad de Coxcatlan, Puebla, durante el mes de mayo de los años 2014 y 2015. Se estableció un diseño completamente al azar y se evaluaron variables físicas (peso, firmeza, sólidos solubles totales y color), químicas (azúcares totales y reductores, acidez titulable, iones, fenoles totales, actividad antioxidante y betalaínas) y fisiológicas: actividad respiratoria ( $\text{CO}_2$ ), etileno, acetaldehído y etanol de los frutos de ambos fenotipos durante su vida postcosecha. Los resultados mostraron que los frutos con fenotipo rojo perdieron menor peso (4.40 g) y presentaron valores de firmeza más altos ( $1.2 - 0.7 \text{ kgF}^{-1}$ ), además, son una buena fuente de compuestos antioxidantes, ya que se encontró una concentración mayor de fenoles, actividad antioxidante así como betalaínas en comparación con los frutos de fenotipo amarillo. El patrón de respiración no fue lo suficientemente consistente como para afirmar un comportamiento de tipo no climatérico como lo sugiere la literatura. Se concluyó que los frutos de pitaya con fenotipo rojo puede ser una mejor opción para venta a mayor distancia o mayor tiempo de almacenamiento, no obstante si el fruto se comercializa en fresco es conveniente su venta antes del día seis después de la cosecha.

Palabras clave: vida postcosecha, parámetros fisiológicos,  $\text{CO}_2$ , etileno, acetaldehído.

## 2. Introducción

Los frutos frescos son ingredientes vitales en la dieta del ser humano porque aportan a los alimentos variedad, sabor, atracción estética y satisfacen ciertas necesidades nutricionales (FAO, 1987). Son excelente fuente de vitamina C y de carotenoides transformables en vitamina A (Wills *et al.*, 1998) además pueden ser fuentes importantes de carbohidratos, minerales, proteínas y otras vitaminas (FAO, 1987).

Debido a que 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).

En el caso particular de las zonas áridas y semiáridas de México, se ha promovido el aprovechamiento de distintas especies frutícolas de importancia económica de la familia Cactaceae como el nopal (*Opuntia spp.*), el garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*) y el pitayo (*Stenocereus spp.*) (Pimienta-Barrios y Nobel, 1994) por su beneficio económico, resistencia a la sequía y bajo requerimiento de fertilizantes (Granados *et al.*, 1999; Pimienta, 1999; Alanís y Velazco, 2008).

Los frutos de muchas cactáceas son comercializados únicamente en mercados locales ya que son altamente perecederos y su vida de anaquel es corta. Para los frutos de las especies del género *Stenocereus* se ha señalado su importancia económica para exportación desde hace varios años (Granados *et al.*, 1999; Esquivel, 2004; Martínez, 2007), por lo que es importante el estudio postcosecha para un mejor manejo en su recolección y producción, lo cual puede generar un ingreso económico adicional para los agricultores de las comunidades de las zonas áridas y semiáridas dedicadas al cultivo y/o cosecha de este fruto denominado genéricamente “pitaya”.

El fruto de *Stenocereus pruinosus* es apreciado culturalmente y altamente comercializado en los mercados tradicionales, comunitarios y regionales. Su gestión y selección artificial

es más intensa respecto a otras especies del mismo género también importantes comercialmente como *S. stellatus* (Parra *et al.*, 2012), sin embargo, hay menos estudios relacionados con la fisiología del fruto de *S. pruinosus* (García *et al.*, 2013; Rosas y Trujillo, 2014) comparados con los de *S. stellatus* (Piña, 1977; Cruz, 1985; Rodríguez *et al.*, 2011). Los trabajos realizados hasta ahora, se enfocan en los usos y la domesticación de la planta (Llamas, 1984; Pimienta y Nobel, 1994; Parra *et al.*, 2008; Rosales *et al.*, 2009; Lira *et al.*, 2009; Luna y Aguirre, 2001; Parra *et al.*, 2012) más que en el estudio postcosecha de su fruto.

### 3. Antecedentes

#### 3.1 Explotación de cactáceas con frutos en México

El territorio nacional es aparentemente el área de mayor 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 géneros con mayor número de especies domesticadas en el centro y sur del país fueron: *Opuntia*, *Stenocereus*, *Neobuxbaumia* y *Cephalocereus*, de la mayoría se consumían sus frutos aunque como ya se mencionó podían ser utilizados para distintos fines (Casas y Barbera, 2002). Otras especies de cactáceas que son aprovechadas por sus frutos son: *Escontria chiotilla* (jiotilla), *Ferocactus latispinus*, *Polaskia chichipe*, *Hylocereus purpusii* (pitahaya) y *Myrtillocactus geometrizans* (garambullo) (Piña, 1977; Luna y Aguirre, 2001; Casas y Barbera, 2002; Parra *et al.*, 2012).

Aunque 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).

## 3.2 Las pitayas del género *Stenocereus*

Estos frutos 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 un fruto comestible de importancia en zonas semiáridas, tropicales y subtropicales de México desde tiempos antiguos (Pimienta y Nobel, 1994).

Son altamente 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*.

### 3.2.1 Descripción taxonómica

Orden: CACTALES Britton et Rose.

Familia: CACTACEAE Lindley

Subfamilia: CEREOIDEAE Schum.

Tribu: PACHYCEREAE Buxb.

Sub tribu: STENOCEREINAE Buxb.

Género: *Stenocereus* (Berg.) Rice.

Especie: *Stenocereus pruinosus* (Otto) Buxbaum

La planta de estudio

De acuerdo con Piña (1977) y Bravo (1978) es una cactácea columnar de forma arborescente, con tronco bien definido, de 4 a 5 m de alto. Sus ramas de 8 a 10 cm de diámetro, de color verde oscuro, hacia la extremidad de las ramas, azulado, con una pruinosidad blanquecina. Tiene de 5 a 6 costillas pero pueden llegar a 8, prominentes agudas, algo onduladas. Sus areolas distantes entre sí 3 a 4 cm, grandes, de 8 a 10 mm

de diámetro, circulares, provistas de fieltro grisáceo claro. Espinas radiales de 5 a 7 de 1 a 2 cm de largo, radiadas, sublovoladas, al principio amarillentas, después grises con la punta obscura. Espinas centrales 1 a 4, grises, de 2 a 3 cm de longitud. Figura 1a y 1b.

#### Las flores

Son actinomorfas, tubulares, infundibuliformes, de 7 a 10 cm de longitud, con tubo receptacular largo; escamas y segmentos exteriores del perianto de color moreno verdoso; segmentos interiores del perianto de color blanco, más largos y delgados que los exteriores; pericarpelo con numerosos podarios pequeños que llevan escamas con aréolas provistas de lana corta. Las flores tienen anthesis nocturna con sistema de reproducción auto-incompatible (son alógamos), polinizadas por murciélagos (Bravo, 1978; Parra *et al.*, 2008). Figura 1c y 1d.

#### El fruto

Es ovoide, de 5 a 8 cm de largo, de color variable, puede tener pulpa blanca, amarillo, violeta, naranja y más comúnmente rojo, con pulpa carnosa, del mismo color que el pericarpelo; las aréolas grandes, lanosas y espinosas de que está provisto se desprenden con facilidad cuando madura. Semillas pequeñas, de 2 a 2.5 mm de largo, y 1.8 mm de ancho; amplio hilo basal; testa negra con gruesas puntuaciones. Se le da el nombre común de pitaya de octubre (Bravo, 1978) o pitaya de mayo (Parra *et al.*, 2008). Existen diferentes variedades hortícolas que se distinguen por la forma y el color de los frutos. La fructificación se produce en mayo y en septiembre y en estas épocas se encuentran en los mercados regionales todas las variedades (Bravo, 1978). Figura 1e y 1f.



Figura 1. Planta (a y b), flor (c, d) y fruto (e y f) de *Stenocereus pruinosus* de Coxcatlán , Puebla. Fotografías propias.

### 3.2.2 Distribución geográfica

El género *Stenocereus* se encuentra distribuido a lo largo de la República Mexicana en diferentes estados y distintos tipos de vegetación.

Bravo, (1978) indica que la especie *S. pruinosus* se halla en zonas semiáridas de varios estados de México. Crece en estado silvestre y se cultiva en diversos poblados de las mixtecas.

Granados *et al.*, (1999) divide en once regiones la distribución del género en México, dentro de las cuales la especie *S. pruinosus* se encuentra en tres de éstas, como se muestra en la Figura 2

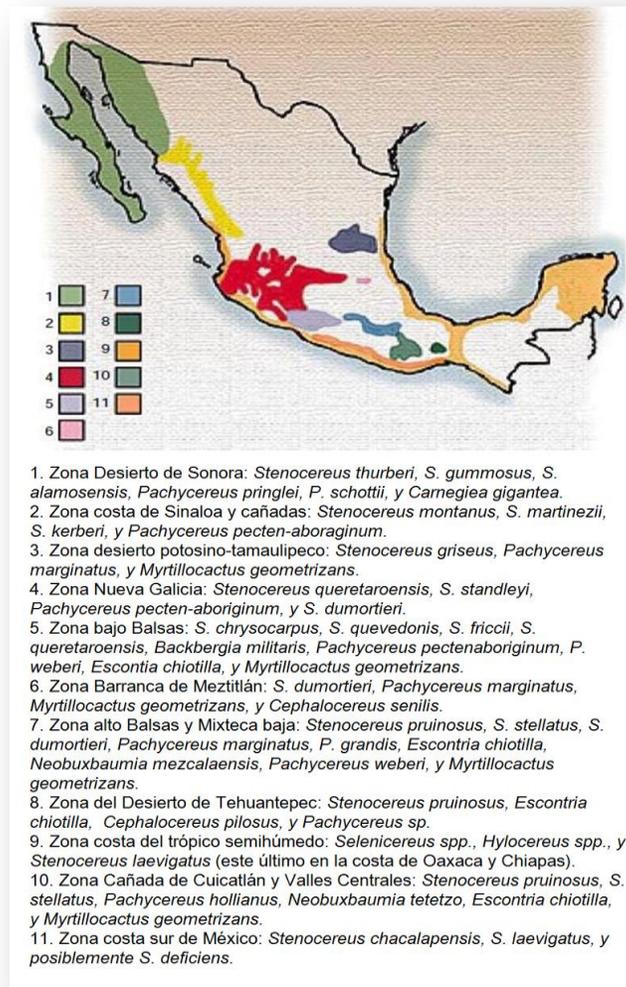


Figura 2. Regiones de distribución del género *Stenocereus* en México. Tomado de Granados *et al.*, (1999).

Aprovechamiento actual del fruto de *S. pruinosus* en los estados de Puebla y Oaxaca

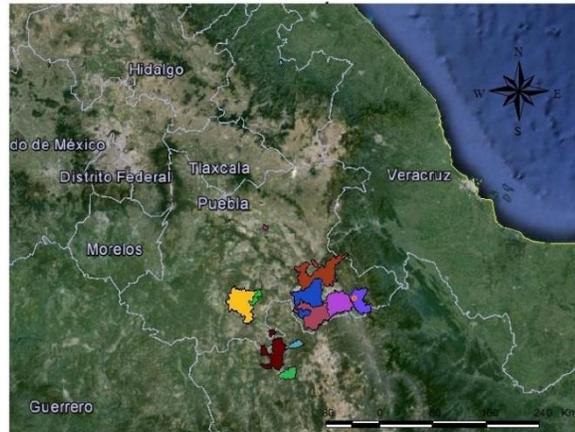


Figura 3. Municipios donde se reporta el aprovechamiento agrícola o silvícola de pitaya de la especie *S. pruinosus* de acuerdo a datos de varios autores (Dávila, 2002; Blanckaert *et al.*, 2004; Martínez y Bonilla, 2005; Luna, 2007; Lira *et al.*, 2009; Rosales, 2009; Bravo, 2011; Parra *et al.*, 2012). Elaboración propia con ArcView 3.2®.

### 3.2.3 Aprovechamiento de la pitaya en Puebla y Oaxaca

Los estados de Puebla y Oaxaca presentan una gran diversidad biológica debido a su orografía y clima con dos zonas de gran diversidad: la reserva de la biósfera del Valle de Tehuacán–Cuicatlán y la Mixteca Baja.

La primera se localiza en la parte sur de Puebla y la parte norte del estado de Oaxaca, es una de las regiones más importantes respecto a la riqueza, endemismo y diversidad florística, así como, conocimiento tradicional de plantas en México. Forma complejos mosaicos fisiográficos de valles rodeados por cadenas montañosas, de clima semiárido, con temperatura media anual de 21 °C y precipitación media anual de 400 mm. Las relaciones entre humanos y plantas fueron y siguen siendo relevantes, los estudios

arqueológicos del valle de Tehuacán en México han evidenciado el uso del fruto, el tallo y la semilla de ocho especies de cactáceas columnares (Pachycerae) desde hace más de 8,000 años, entre las cuales se encuentra *S. pruinosus* (Dávila y Lira, 2002; Luna, 2007).

La segunda se encuentra en los límites de estados de Oaxaca, Guerrero y Puebla, la región es montañosa y forma parte de la Sierra Madre del Sur, con la Mixteca Alta al sureste y la Montaña de Guerrero al oeste. Aproximadamente la mitad de la Mixteca Baja está situada entre los 1 200 y 1 400 msnm y sus ríos llevan el agua de la Sierra Madre del Sur hacia la cuenca del río Atoyac-Balsas al norte. Esta región es considerada la segunda región productora de pitaya a nivel nacional con 690 hectáreas cultivadas, después la sub-cuenca de Sayula, donde se estima una superficie establecida de mil hectáreas, donde la principal especie es *Stenocereus queretaroensis* (Martínez y Bonilla, 2005).

Se ha evidenciado el uso de cactáceas columnares como alimento (frutas, tallos jóvenes y algunas flores y semillas) y como medicina (frutas, tallos y raíces) desde épocas prehispánicas. La especie *S. pruinosus* fue una de las cactáceas aprovechadas desde entonces y continúa siendo un cultivo de importancia cultural, ya que el conocimiento de su aprovechamiento es milenario. Además, tanto en el valle de Tehuacán como en la Mixteca Baja se encuentran evidencias de huertos abandonados prehispánicos, coloniales o de principios del siglo XX (Luna y Aguirre, 2001; Casas y Barbera, 2002). En la Mixteca Baja la importancia actual y pasada de esta especie se evidencia también por la presencia del cultivo de más de 30 variantes intra-específicas (Luna *et al.*, 2001). Es en los huertos familiares donde se encuentra mayor variedad de fenotipos (Luna y Aguirre, 2001; Parra *et al.*, 2008) ya que los fenotipos deseables se multiplican vegetativamente y nueva variación se incorpora por plántulas de voluntariado (Casas y Barbera, 2002).

Los huertos familiares son una gran fuente de información de las reservas de recursos actuales y potenciales de las especies de plantas y comúnmente satisfacen necesidades humanas como alimentación, medicina, leña, construcción, forraje y para usos ornamentales y ceremoniales. El manejo de plantas en los huertos familiares fue categorizado en tres grupos: cultivadas, protegidas y disponibles. Las cultivadas son sembradas por los propietarios; las protegidas son trasplantadas de otras zonas o crecen espontáneamente dentro del jardín y los dueños deciden protegerlas; las disponibles son parte de la vegetación original y también crecen espontáneamente pero no son protegidas ni removidas, el propietario sabe que tienen algún uso, por ejemplo las cactáceas comestibles (Blanckaert *et al.*, 2004).

Según Dávila *et al.*, (2002) en un estudio realizado en Zapotitlán Salinas y San Rafael, Coxcatlán ambos pertenecientes al Valle de Tehuacán-Cuicatlán, *S. pruinus*, es una planta protegida y de uso silvestre localizada en huertos familiares y en barrancas de selva baja caducifolia.

En otros estudios realizados recientemente, tanto en la Mixteca Baja como en el Valle de Tehuacán–Cuicatlán (Martínez y Bonilla, 2005; Luna, 2007; Rosales *et al.*, 2009; Bravo, 2011 y Parra *et al.*, 2012), las pitayas pueden ser consideradas como plantas cultivadas de acuerdo a la clasificación de Blanckaert *et al.*, (2004) ya que en estas investigaciones se ha trabajado con diferentes manejos de cultivo de la pitaya incluyendo huertos familiares y huertos propiamente de producción.

De estas últimas investigaciones sobre la variación biológica de la pitaya, las realizadas por Luna (2007) y Rosales *et al.*, (2009) se localizan dentro de la Mixteca Baja, mientras que los de Parra *et al.*, (2008 y 2012) dentro del Valle de Tehuacán. Todos concluyen que las variedades de *S. pruinus* son clasificadas por los cultivadores por diferentes caracteres morfológicos y agronómicos del fruto como son: tamaño y peso, color de la cáscara y la pulpa, forma (esférico u ovoide), resistencia y grosor de la cáscara, sabor (dulce o ácido), cantidad y forma de espinas (largas o cortas), cantidad de semilla, época de maduración y duración de la vida postcosecha.

### **3.4 Propagación y recolección de frutos de *Stenocereus spp.***

Debido a que el desarrollo de plántulas por semilla es muy lento, tradicionalmente se realiza su propagación de manera asexual (Piña, 1977) y se seleccionan sólo las más productivas (Llamas, 1984; Bárcenas y Jiménez, 2010). La propagación vegetativa es común tanto en ambientes naturales y artificiales, y las plantas individuales derivados de las ramas de aproximadamente 1.2 m de longitud que ya hayan fructificado y que producen flores dos o tres años después de ser plantadas (Casas *et al.*, 1999<sup>a</sup> citado en Parra 2008).

La recolección de los frutos se realiza generalmente en la mañana y se utiliza un poste de hasta 4 m de largo que puede ser de metal o carrizo y en uno de los extremos lleva un recipiente que rodea y corta una fruta individual, que se separa fácilmente. Inmediatamente después de la cosecha, se clasifican según el tamaño y el color de los frutos y luego se colocan en cestas, a menudo en capas separadas, para el transporte a

los mercados de esa misma mañana; pueden llevarlos con espinas para alargar su duración o sin espinas, incluso las frutas pueden cosecharse con la cáscara abierta, que expone la pulpa colorida y es una característica llamativa en los mercados, en carreteras y las ciudades. Sin embargo, esta dehiscencia natural en el momento de la maduración es uno de los principales factores que limitan la comercialización de las pitayas, que debido a su corta vida postcosecha se recomienda comer los frutos uno o dos días después de colectarlos y en refrigeración de 5 a 7 días máximo (Pimienta y Nobel, 1994; Luna y Aguirre, 2005).

### **3.5 Composición química del fruto**

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 %).

Campos *et al.*, (2011) evaluaron características morfológicas y químicas en frutos de *Stenocereus spp.* Encontraron firmeza del fruto con cáscara de 2.36 kgF<sup>-1</sup> en amarilla y 2.46 kgF<sup>-1</sup> en roja, acidez baja (0.25 %) y azúcares totales de 10.50 % en roja y 11.00 % en amarilla todas ellas sin diferencias significativas.

García *et al.*, (2013) indicaron que la pitaya de *S. pruinosus* de huertos familiares de Tepexi de Rodríguez, México tiene 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 estadísticas y, contenido mineral alto en hierro (Fe) 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 (µg g<sup>-1</sup> de peso seco) es diferente ( $P \leq 0.05$ ) entre frutos, tanto de betacianinas como de betaxantinas y concluyeron que la pitaya puede tener mayores concentraciones de betalaínas que otros cactus. Los fenoles solubles totales expresados como ácido gálico (mg GAE g<sup>-1</sup> muestra fresca) también son diferentes ( $P \leq 0.05$ ) 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 (µmoles equivalentes a Trolox ETg<sup>-1</sup> muestra fresca), reportaron también diferencias significativas entre frutos, la roja presenta mayor actividad antioxidante que la anaranjada.

### 3.6 Parámetros que influyen en la calidad de frutos.

#### 3.6.1 Color

La variable de color puede ser subjetiva, no obstante, se han diseñado sofisticados sistemas para comunicar el color de un objeto que permite a los usuarios evaluar estos atributos y expresarlos a otros en forma precisa con términos numéricos más objetivos, mediante el denominado espacio de color de luminosidad, saturación y tono ( $L^*c^*h^\circ$ ) cuya descripción se realiza con base a los elementos marcados en la Figura 4.

La luminosidad ( $L^*$ ) es la de intensidad del color, es el diámetro y sus valores van de 0 a 100, donde en la parte inferior es 0 absolutamente negro y en la parte superior, 100, blanco.

La saturación del color ( $c^*$ ) describe cuán vivo u opaco es el color, es el radio y va de 0 a 100, donde 0 es gris y 100 es el color puro.

El eje  $h^\circ$  representa al tono o matiz, las unidades en forma de grados  $^\circ$ , que van desde  $0^\circ$  (rojo) a través de  $90^\circ$  (amarillo),  $180^\circ$  (verde),  $270^\circ$  (azul) y de nuevo a  $0^\circ$ . Este eje representa la percepción que tenemos del color del objeto.

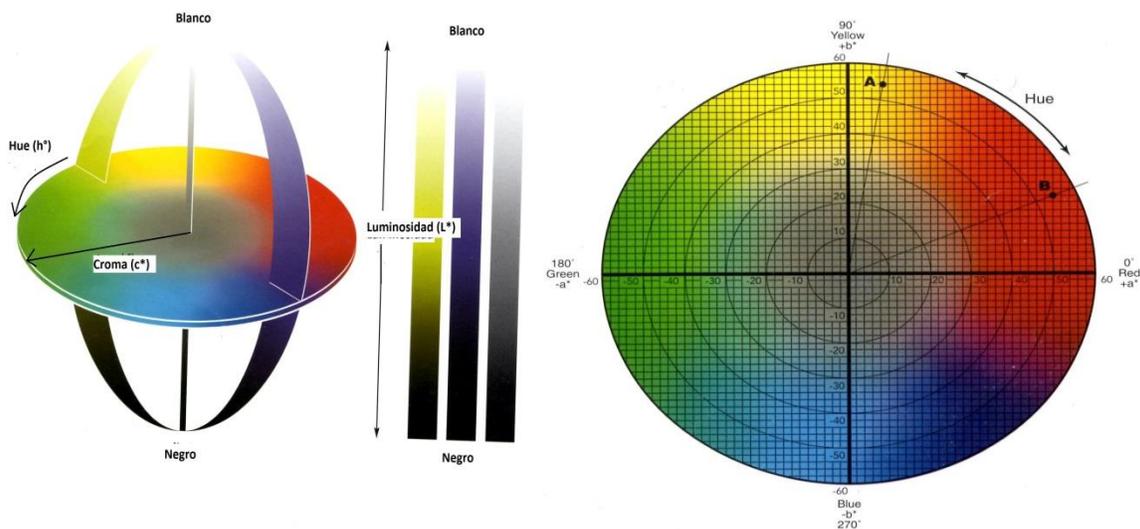


Figura 4. Representación del espacio de color  $L^*c^*h^\circ$ . Tomado y modificado de Guía para entender la comunicación del color X-Rite® 2002.

### 3.6.2 Minerales

La concentración y la distribución de los nutrientes inorgánicos son parte del trabajo agrícola que influye en la maduración y desarrollo fisiológico, madurez organoléptica y determinación de la calidad del fruto; aspectos importantes para la preferencia del consumidor, la nutrición humana y, por lo tanto, para el productor y el comerciante. La falta de un mineral específico puede derivar en la disminución de la calidad de los frutos (Ferguson y Boyd, 2002).

Las concentraciones de los nutrientes inorgánicos en los frutos maduros varían ampliamente entre especies y tipos incluso, dentro del mismo fruto existen diferencias en concentración y distribución de estos nutrientes que pueden estar relacionadas con las distintas funciones celulares de los tejidos. Según Ferguson y Boyd, (2002) las siguientes son características generales aplicables a la mayoría de los frutos:

- a) Los iones menos móviles como el calcio y el magnesio tienden a ser menores a los de las hojas, mientras que los iones más móviles como del potasio tienen concentraciones más altas (>100mM).
- b) Generalmente, las concentraciones más altas de minerales se encuentran en el epicarpio y las semillas, y las más bajas en el mesocarpio. Los iones menos móviles a menudo se encuentran localizados en las paredes celulares y fluido extracelular. La exposición al sol también puede tener influencia sobre la distribución de los minerales, sobre todo, los dependientes del flujo del agua como el calcio.
- c) Los orgánulos que tienen tasas metabólicas altas como el núcleo o, las células debajo del epicarpio, posiblemente tendrán requerimientos mayores de fósforo y nitrógeno; en la pulpa es poco probable que se encuentren altas concentraciones de calcio ya que las paredes de las células son menos rígidas que en los tejidos que no se expanden.

La entrada de los nutrientes inorgánicos de la planta al fruto varía durante su desarrollo y, además, se ve afectado por otros factores como: las relaciones hídricas, la posición del fruto en la planta y la polinización, las prácticas agrícolas precosecha también pueden influir sobre el contenido mineral.

De los minerales, el calcio tiene el mayor impacto sobre la calidad del fruto (Ferguson y Boyd, 2002). Este nutriente inorgánico es absorbido por la planta como ion  $\text{Ca}^{+2}$ , es abundante en la mayoría de los suelos aunque en suelos ácidos suele escasear. El calcio es necesario para la formación de la lámina media, se encuentra unido a las paredes celulares particularmente a los polisacáridos llamados pectatos cálcicos, se puede encontrar también en el citosol en concentraciones menores a  $1 \mu\text{M}$ . Es esencial para el funcionamiento normal de las membranas de la célula, ha sido implicado como segundo mensajero en varias respuestas de la planta tanto ambientales como hormonales, gran parte del calcio en el citosol se une a una proteína llamada calmodulina, que cambia su forma y activa así varias enzimas, sin embargo, el calcio del citosol es capaz de inhibir a muchas enzimas (Salisbury y Ross, 1992; Taiz y Zeiger, 1998; Azcón y Talón, 2000).

### **3.6.3 Respiración**

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  $\text{CO}_2$  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 perecederos desde el punto de vista postcosecha (Wills *et al.*, 1998; Guadarrama, 2001). Ejemplos de frutos climatéricos y no climatéricos y sus valores de respiración en  $\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , son:

- Climatéricos: Aguacate, 120-420; higo, 85-100; mango 120-400; manzana, 25-40; plátano, 50-240; tomate, 35-50; entre otros.
- No climatéricos: Limón, 20-28; mandarina, 30-45; piña, 28-43; uva, 25-30; etcétera.

El patrón general de la respiración durante la vida postcosecha se puede resumir en:

1. Transformación de polisacáridos (principalmente almidón) en monosacáridos como glucosa y fructosa que participan en la glucólisis, para originar compuestos que participan en diversos procesos del metabolismo de los frutos.
2. Conversión oxidativa de la glucosa en ácido pirúvico y su continuación en el ciclo de Krebs, lo que conlleva en la formación de ácidos orgánicos, como ácido cítrico y málico, componentes importantes de la acidez titulable y que junto con los azúcares contribuyen a la calidad organoléptica de los frutos.
3. Finalmente, la cadena de transporte de electrones para generar el ATP necesario para los procesos metabólicos de la maduración de los frutos.

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 (PPP), 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).

Si se conoce previamente el patrón respiratorio de un fruto en particular, se puede predecir el momento oportuno de la cosecha con mayor grado de precisión (Wills *et al*, 1998).

#### **3.6.4 Etileno**

El etileno es una hormona de estructura química sencilla ( $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ ) lo cual le confiere características peculiares como: actividad en forma gaseosa, capacidad de difundirse libremente por los espacios intercelulares y de coordinar una respuesta rápida y uniforme en los tejidos. Es llamada la “hormona de la maduración” ya que tiene una estrecha relación con este proceso tanto en el fruto como en otras partes de la planta, empero, también cumple otras funciones fisiológicas en la planta como la inhibición del alargamiento celular en hojas, incremento del desarrollo lateral y cambio en la orientación del desarrollo en tallos y raíces (Azcón y Talón, 2000).

Ésta hormona sintetizada o aplicada exógenamente promueve la rápida maduración del fruto. Tiene actividad biológica a concentraciones muy bajas ( $0.01\mu\text{gL}^{-1}$ ), su producción es variable y depende del fruto en cuestión, además con daños mecánicos, aumento de temperatura o humedad relativa e incidencia de enfermedades se incrementa la producción de etileno. Actúa similar a otras hormonas, se une a un receptor formando un complejo activado que a su vez inicia cadenas de reacciones, incluyendo expresión de genes, que conducen a una amplia variedad de respuestas relacionadas con la maduración de los frutos como la síntesis de la enzima poligalacturonasa responsable en parte del debilitamiento en la pared celular (Guadarrama, 2001).

La biosíntesis del etileno comienza con su precursor, el aminoácido metionina que es convertido por la enzima sintetasa del SAM en S-adenosilmetionina (SAM), el cual es precursor de otras rutas metabólicas además del etileno; posteriormente éste es convertido en ácido carboxílico amino ciclo propano (ACC) por la enzima sintetasa del ACC (ACS) la cual es considerada una enzima clave en la biosíntesis del etileno, es una enzima dependiente de fosfato de piridoxal y puede ser inhibida por los ácidos aminoetoxi-vinil-glicina o amino oxoacético, su actividad se localiza principalmente en el citosol y aún a máxima actividad su concentración es muy baja; por último el ACC es transformado en etileno mediante la oxidasa del ACC (ACO) la cual tiene una alta afinidad por su sustrato y necesita de la presencia de oxígeno para su actividad. Ambas enzimas, la ACS y la ACO sufren inactivación catalítica lo que sugiere que las plantas desarrollaron

un sistema rápido y eficiente en la detención de la biosíntesis del etileno para regular sus efectos fisiológicos (Azcón y Talón, 2000; Guadarrama, 2001).

El etileno estimula la actividad de algunas enzimas involucradas en la maduración como las enzimas pectolíticas y la sintetasa de ácido carboxílico amino ciclo propano (ACS) que provoca su propia síntesis, éste es el proceso característico durante la maduración de frutos climatéricos, primero el etileno ya producido induce la acción de la ACO previa a la de la ACS de forma que se incrementan los niveles de etileno sin afectarse los del ACC, cuando el etileno supera su nivel umbral comienza la actividad de la ACS con el aumento de ACC y como la actividad de la ACO ya está iniciado se produce un aumento masivo de producción de etileno, característico durante el climaterio de los frutos. El etileno puede tener un efecto diferencial en la tasa de respiración durante la maduración, si se trata de un fruto climatérico (incrementando la tasa respiratoria y adelantando su pico climatérico) o no climatérico (también aumentan la respiración pero al pasar el efecto vuelve a su nivel inicial) (Azcón y Talón, 2000; Guadarrama, 2001).

El efecto del etileno sobre la maduración puede ser controlado mediante: a) la regulación de su biosíntesis, b) la utilización de compuestos antagónicos o c) la manipulación de la expresión de genes inducidos por el etileno; provocando el retraso de la maduración en los frutos y alargando su vida útil postcosecha (Guadarrama, 2001).

Por ejemplo, la concentración interna de etileno en un fruto climatérico como el aguacate es de 28.9-74.2 µl/L y, en piña, fruto no climatérico 0.16-0.4 µl/L (Wills *et al.*, 1998).

### **3.6.5 Respiración anaerobia**

Durante la maduración del fruto en el árbol y después de la cosecha algunos procesos esenciales implican la producción de los metabolitos anaerobios, acetaldehído y etanol. Estos procesos incluyen la producción de compuestos volátiles con aroma y la eliminación de la astringencia de la fruta. El acetaldehído es un componente de aroma natural que está presente en casi todas las frutas; se acumula durante la maduración, incluso bajo condiciones aeróbicas pero a menor grado o, en condiciones totalmente anaeróbicas. Las condiciones parcialmente anaeróbicas a menudo se producen durante la maduración de la fruta y en condiciones de almacenamiento, por ejemplo, a través de revestimiento con ceras u otras películas, o en atmósferas modificadas y controladas (Pesis, 2005).

En anoxia la producción de ATP por el ciclo de Krebs y el transporte de electrones dentro de la mitocondria se inhibe, por lo que la respiración anaerobia es un medio para regenerar NAD, el cual puede entrar en la vía de la glicólisis y generar un poco de ATP, pero, en estas condiciones de anoxia, el piruvato formado en la glicolisis es convertido a lactato (por lactato deshidrogenasa). La acumulación de lactato en el citosol acidifica el medio y estas condiciones de pH bajo permiten la activación de la piruvato descarboxilasa, la cual conlleva a la transformación del piruvato en acetaldehído. El acetaldehído es reducido a etanol por la alcohol deshidrogena, por lo que éstos metabolitos son componentes volátiles comunes observados en los espacios vacíos de las frutas, indicativos de respiración anaerobia (Paliyath *et al.*, 2012).

### 3.6.6 Fenoles y Actividad antioxidante

Los alimentos de origen vegetal contienen cientos de componentes no-nutritivos generalmente llamados compuestos bioactivos o fitoquímicos con capacidad antioxidante. El término *antioxidante*, se refiere a sustancias naturales o sintéticas que previenen las reacciones de oxidación en sistemas biológicos, provocadas por radicales libres o por las especies reactivas de oxígeno (ROS). Entre estas últimas se encuentran los aniones superóxido ( $O\bullet^{-2}$ ), radicales hidroxil ( $OH\bullet$ ) y radicales peróxido ( $ROO\bullet$ ). Los *radicales libres* son moléculas generadas durante el metabolismo aerobio normal, poseen uno o más electrones desapareados, su vida es corta y son altamente reactivos, constantemente buscan otro electrón para emparejarse causando oxidación en otras moléculas como lípidos, proteínas, ácidos nucleicos y difundiendo cadenas de oxidación (Valero y Serrano, 2010). 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 tiolicos (Seeram, 2008; Tucker y Robards, 2008).

Los compuestos fenólicos son los más distribuidos en el reino vegetal. La definición biológica de *fenol* o *polifenol* es de un metabolito natural secundario formado a partir de la vía del fenilpropanoide y que posee un extenso intervalo de funciones fisiológicas en plantas incluida la pigmentación, el crecimiento y resistencia a patógenos, entre otras. La estructura de los fenoles y polifenoles puede ser muy simple o altamente polimerizada, los

fenoles principales en las frutas y vegetales son clasificados de acuerdo a su esqueleto básico se identifican como ácidos fenólicos ( $C_6-C_1$ ), como el ácido gálico; ácidos hidroxicinámicos ( $C_6-C_3$ ) con la cumarina como ejemplo; estilbenos ( $C_6-C_2-C_6$ ), como el resveratrol; y flavonoides ( $C_6-C_3-C_6$ ), 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. La actividad antioxidante de los fenoles es atribuida a la deslocalización de los electrones del anillo aromático y su alto potencial redox. 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).

### 3.6.7 Betalainas

La naturaleza se basa en una variedad de compuestos para conferir colores a los organismos vivos y para llevar a cabo diversas funciones. En ciertas especies, actúan como señales de apareamiento para sus compañeros; otros compuestos como las clorofilas y carotenos, participan en procesos metabólicos; algunos otros sirven como antioxidantes para proteger biomoléculas vulnerables de daño oxidativo; entre otras. En el caso de los alimentos no procesados, estos compuestos o pigmentos naturales mejoran la apariencia visual hacia los consumidores quienes asocian los colores de la comida con la calidad y frescura (Simpson *et al.*, 2012).

En las plantas superiores usualmente los pigmentos de colores rojos y amarillos están contenidos en vacuolas, pueden ser antocianinas o betalainas, hasta donde se sabe, los dos tipos de pigmentos nunca ocurren juntos en la misma planta ni en especies de la misma familia. Las antocianinas se encuentran mayormente distribuidas y son responsables de los pigmentos de muchas flores, pero en los años sesentas, descubrieron otro tipo de compuestos que daban color amarillo y rojo a la mayoría de las familias de las centrospermas y que fueron nombradas como *betalainas* (Marby, 1977).

Las betalainas constituyen un grupo de compuestos parecidos a las antocianinas, pero se diferencian de ellas, entre otras cosas, en que contienen nitrógeno en su estructura

(Figura 5), son mayormente solubles en agua y no poseen picos de absorción a 270nm. Las betalainas se encuentran en diez familias de centrospermas del orden Caryophyllales dentro de las que se halla la familia Cactaceae. El producto hortícola más conocido por contener betalainas es el betabel, pero también se les encuentra en la savia de la célula del cardo, los frutos de cactus, hierba carmín, así como varias flores, como buganvilia y amaranto (Fannema, 1985).

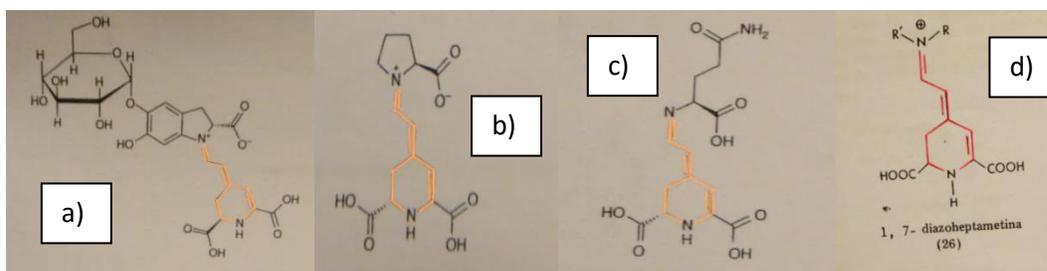


Figura 5. Estructura de algunas betalainas. a) Betanina, b) Indicaxantina, c) Vulgaxantina y d) 1,7-diazoheptametina. La cadena en diferente color indica la estructura nitrogenada básica de las betalainas. A), B) y C) tomado de Simpson, *et al.*, 2012 y D) tomado de Fannema, 1985.

Todas las betalainas contienen la misma estructura básica, compuestos indol aromáticos solubles en agua, su color se atribuye a las estructuras de resonancia, si R o R' no proyectan la resonancia el compuesto es de amarillo a anaranjado y se denomina betaxantina; si R o R' proyectan resonancia el compuesto es de rojo a violeta y se llama betacianina. Son sintetizadas del aminoácido tirosina a través de varias rutas: a) puede ser convertido en betalainas vía dihidroxi fenilalanina (L-DOPA) o dopaquinona o, b) a través de una combinación espontánea con el ácido betalámico a un compuesto intermedio, portulacaxantina II. Las betalainas son más estables dentro de un rango de pH ente 3.5 y 7, pero son susceptibles a la luz, el calor y el aire (Fannema, 1985; Simpson *et al.*, 2012).

El interés en los pigmentos naturales como auxiliares de procesamiento de alimentos se deriva del creciente rechazo de los consumidores al uso de compuestos sintéticos en la comida. Los extractos de las betalainas 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 betalainas tienen propiedades anticancerígenas debido a su comportamiento como antioxidantes y captación de radicales libres.

#### **4. Justificación**

Debido a la importancia cultural de la pitaya (*S. pruinosa*), su vulnerabilidad al manejo y la escasa información sobre los cambios fisiológicos que ocurren durante su postcosecha, con esta investigación se pretende generar información al respecto para el posterior desarrollo de tecnologías que disminuyan el deterioro acelerado del fruto y prolonguen su vida de anaquel.

#### **5. Objetivos**

##### **5.1 Objetivo General**

- Evaluar algunos parámetros de calidad postcosecha de frutos de *Stenocereus pruinosa*, con fenotipos rojo y amarillo colectados en la localidad de Venta Salada, municipio Coxcatlán, Puebla, durante el mes de mayor producción (mayo 2014 y 2015).

##### **5.2 Objetivos particulares**

- Describir los cambios de peso, firmeza, color, acidez titulable, azúcares totales y reductores y sólidos solubles totales de los frutos de pitaya amarilla y roja.
- Estimar la capacidad antioxidante de los frutos de pitaya amarilla y roja mediante la actividad antioxidante, los fenoles totales y betalaínas.
- Determinar la producción de etileno y actividad respiratoria (CO<sub>2</sub>) de los frutos de pitaya amarilla y roja.
- Determinar el contenido de Boro, Calcio, Cobre, Hierro, Potasio, Magnesio, Manganeso, Sodio, Fósforo y Zinc, en endocarpio (pulpa) y pericarpio (cáscara).

#### **6. Hipótesis**

La escasa información sobre la fisiología y manejo del fruto de *S. pruinosa*, aunado a la diversidad de fenotipos, hace necesario un conocimiento de las características y manejo durante la postcosecha. Es así, como el conocimiento de dichas características de los fenotipos rojo y amarillo de pitaya de la localidad de Venta Salada en el municipio de Coxcatlán, Puebla durante la postcosecha serán de utilidad para la planeación de su manejo después de la cosecha.

## 7. Material y métodos

### 7.1 Ubicación y descripción del área de colecta

Los frutos se obtuvieron de un huerto particular en la localidad de Venta Salada, Coxcatlán, Puebla localizada en las coordenadas geográficas UTM 14Q 692231 m E y 2019810 m N, a una altura de 1010msnm. Figura 6.

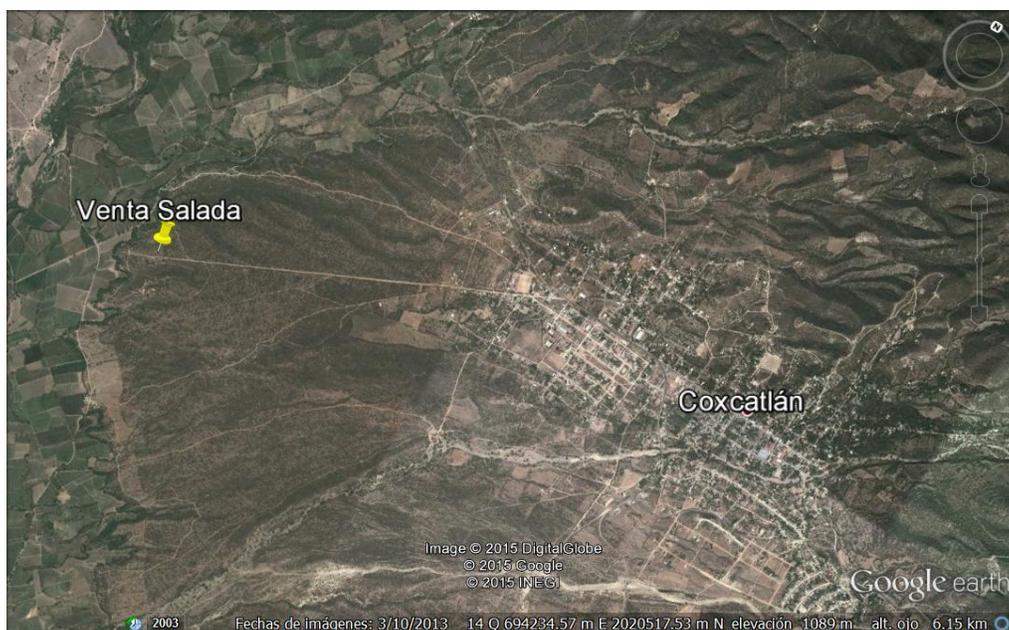


Figura 6. Localización del huerto particular en Venta Salada, Coxcatlán, Pue. Méx. Imagen tomada de Google earth © 2015.

INEGI, (2006) reporta el clima como tipo BS0 (h')w(w) lo que se refiere a un clima seco muy cálido con temperatura media anual mayor a 22°C con lluvias en verano.

La precipitación media anual va de los 400 a 600 mm. El rango de las unidades de escurrimiento es de 0 a 5%. La unidad geo-hidrológica es material no consolidado con posibilidades bajas de contener agua económicamente explotable. Existe una corriente de agua permanente cercana al punto de muestreo (500 m) pero con indicios de contaminación, detectado por los habitantes de la zona (2013).

El tipo de roca es conglomerado clase sedimentaria. El tipo de suelo reportado es I+RC/2 Litosol y Regosol calcáreo de clase 2 que es indicativo de un suelo de textura media comúnmente llamado franco, con equilibrio entre arena, arcilla y limo. El Litosol se caracteriza por su profundidad menor a 10 cm, fertilidad natural y susceptibilidad a la

erosión que depende de otros factores ambientales. El uso del suelo depende del tipo de vegetación que lo cubre, cuando es matorral o pastizal se puede usar para agricultura en especial de maíz o nopal. El Regosol es suelo poco desarrollado, somero, pobre en materia orgánica, su fertilidad es variable y su productividad depende de la profundidad y pedregosidad.

El uso de suelo es agrícola con agricultura de riego y cultivo semipermanente. El tipo de vegetación circundante es matorral xerófilo crasicaule; vegetación secundaria aparente, sin erosión evidente.

Específicamente en las unidades ambientales de la parcela agrícola donde se tomaron las muestras se cultivan dos variedades de pitaya: amarilla y roja y, antes de ellas las especies dominantes eran jiotilla (*Escontria chiotilla*) y mesquite (*Prosopis spp.*).

## **7.2 Trabajo en campo**

Se cosecharon de manera aleatoria frutos maduros (punto de venta) durante la época de producción en el mes de mayo de los años 2014 y 2015, para la evaluación de las variables de respuesta con un mínimo de tres repeticiones por variable a determinar. Para obtener los frutos de los cultivares rojo y amarillo se utilizó un gancho de carrizo y pinzas de plástico. Se colectaron de acuerdo a las características básicas del conocimiento tradicional: coloración del epicarpelo, rápido desprendimiento del fruto de la rama y de las espinas del fruto y que no se encontrasen abiertos o agrietados (Figura 7).

Después de su colecta fueron llevados a un espacio sombreado para su aclimatación. Se transportaron con todo y espinas en cajas con separaciones de cartón para evitar el daño postcosecha.

Se realizó la remoción manual de las espinas de todos los frutos y posteriormente se utilizaron cinco frutos rojos y cinco amarillos para la primera medición de etileno, CO<sub>2</sub>, peso, diámetro y longitud. A continuación, en las mismas cajas, se transportaron al laboratorio de Usos Múltiples del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH).



Figura 7. Frutos de *S. pruinosa* fenotipo amarillo (a) y rojo (b) tras su recolección (día 0 DDC) y separación de espinas, de acuerdo al índice de cosecha según conocimiento tradicional y un fruto abierto (c).

### 7.3 Trabajo en laboratorio

Se llevó a cabo de durante los años 2014 y 2015, en el Laboratorio 9 de la Unidad de Morfología y Función (UMF) de la FES Iztacala, así como en el laboratorio de Usos Múltiples del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma de Chapingo.

Para la cuantificación de variables se utilizaron de tres a cinco repeticiones de cada fenotipo. En las pruebas no destructivas (peso, diámetro, color, etileno y CO<sub>2</sub>) se usaron cinco frutos que fueron etiquetados y almacenados a temperatura ambiente (26-28 °C) y dichas variables se midieron cada dos días durante ocho días después de la cosecha.

Además, se midió la firmeza y los sólidos solubles totales de tres frutos rojos y tres amarillos, a continuación fueron etiquetados con el día después de la cosecha (DDC) en que fueron medidas las variables y se almacenaron en un congelador a -22°C para el procesamiento de las variables acidez titulable, azúcares totales y reductores, fenoles totales, actividad antioxidante, betalainas, etanol, acetaldehído e iones, las cuales se midieron posteriormente en orden indistinto. Se siguió el mismo proceso para los frutos faltantes, se utilizaron tres frutos de cada fenotipo cada dos días durante ocho días.

### 7.4 Procedimientos de las variables de respuesta

Peso: se pesaron con una balanza Ohaus con una precisión de 0.01g.

Diámetro y longitud: se midió con un vernier digital Mitutoyo®.

Firmeza: se determinó con un texturómetro Chatillon Ametek® modelo MT-150 (con una fuerza de penetración de 25 kgf, provisto de un puntal cónico), sobre la parte ecuatorial del fruto con y sin cáscara.

Color: se evaluó mediante la escala  $L^*c^*h^\circ$  (luminosidad, saturación, matiz) en un espectrofotómetro de esfera X-Rite® modelo SP62 sobre la cáscara del fruto.

Acidez titulable: se determinó por titulación con NaOH 0.01N hasta llegar a  $8.3 \pm 1$  de pH con ayuda de un potenciómetro Conductronic® modelo PC45. Los resultados se expresaron como porcentaje de ácido málico de acuerdo a la siguiente fórmula matemática

$$\% \text{ de ácido} = \frac{ml \text{ NaOH} * N * Meq \text{ c.} * V * 100}{\text{Peso muestra} * \text{aliquota}}$$

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  $\mu$ 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  $\mu$ l de glucosa ajustados a 3 ml con agua destilada, subiendo de 10 en 10  $\mu$ l para cada tubo y, se siguió el mismo procedimiento de antrona. Los resultados fueron expresados en mg de glucosa g de peso fresco<sup>-1</sup>.

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 $\mu$ 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.

- \* Reactivo A: disolver 12.5 g de Carbonato de Sodio anhidro  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , 12.5 g de tartrato de sodio-potasio  $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , 10 g Bicarbonato de Sodio  $\text{NaHCO}_3$ ,

10g de sulfato de Sodio anhidro  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , disolver en 350 ml de agua y diluir a 500 ml almacenar en frasco ámbar.

- \* Reactivo B: disolver 7.5 g de Sulfato Cúprico penta hidratado  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  en 50 ml de agua y agregar 1 gota de ácido sulfúrico  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Almacenar en frasco ámbar.

Sólidos Solubles Totales (SST): se utilizó el jugo del fruto extraído manualmente directo sobre un refractómetro digital Pocket Refractometer Pal-1 Atago®, los resultados fueron expresados en °Brix a 20°C.

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 homegenizador 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.

Se ajustó a 1 ml con agua destilada y 600  $\mu\text{l}$  del extracto, se adicionaron 7 ml de agua destilada, 500  $\mu\text{l}$  del reactivo Fenol Folin y Ciocalteu y 1500  $\mu\text{l}$  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  $100 \text{ g}^{-1}$  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  $0.700 \pm 0.01$  nm en un espectrofotómetro Thermo Fisher Scientific® modelo Genesys 10-S UV-Vis calibrado a 734 nm.

A 100  $\mu\text{l}$  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  $100 \text{ g}^{-1}$  de peso fresco.

Betalainas: 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 homegenizador 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, siguiendo las fórmulas matemáticas mostradas a continuación:

**Nilsson (1970)**

$$x= 1.095 (a-c)$$

$$y= b-z-(x/3.1)$$

$$z= a-x$$

Dónde:

a: lectura de la muestra a 538nm

b: lectura de la muestra a 476nm

c: lectura de la muestra a 600nm

x: absorción de betacianinas

y: absorción de betaxantinas

z: absorción de impurezas

**Dantas, *et al.* (2015)**

Contenido de betacianinas

$$CBT= ((x*R*100)/1120)$$

Contenido de betaxantinas

$$CBX= ((y*R*100)/750)$$

Dónde:

x: absorción de betacianinas

y: absorción de betaxantinas

$\epsilon$  1120= coeficiente de extinción de betanina

$\epsilon$  750= coeficiente de extinción de vulgaxantina-I

R = factor de dilución = 10 (se diluyeron 2g de pulpa en 20 ml)

Etileno y CO<sub>2</sub>: 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 CO<sub>2</sub> se realizaron en un cromatógrafo de gases Varian Star 3400. Como estándar se utilizó etileno 103 mg L<sup>-1</sup> y CO<sub>2</sub> 399 mg L<sup>-1</sup>. Como gas de arrastre Helio (He) y la cantidad de muestra para inyección de 1.0 ml.

++. Tasa de producción de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> (µl kg<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>):

$$\frac{[C_2H_4]_{\text{final}} - [C_2H_4]_{\text{inicial}}}{1000} \times (V_{\text{jarra}} - V_{\text{fruta}}) \times \frac{1000}{P_{\text{fruta}}} \times \frac{60}{t}$$

Dónde:

[C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>] inicial = concentración inicial de etileno (ml<sup>-1</sup>) ([0.01 ml<sup>-1</sup>] = ppm)

[C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>] final = concentración final de etileno (ml<sup>-1</sup>)

V<sub>jarra</sub> = volumen del contenedor o jarra (cm<sup>3</sup>)

V<sub>fruta</sub> = volumen de fruta (cm<sup>3</sup>)

P<sub>fruta</sub> = Peso de fruta (kg)

t = Tiempo (horas)

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.

iones: los elementos Boro, Calcio, Cobre, Hierro, Potasio, Magnesio, Manganeso, Sodio, Fósforo y Zinc, se determinaron mediante un espectrofotómetro de emisión atómica de plasma por inducción acoplada ICP-AES de Varian, con previa digestión de 0.5 g de tejido en peso seco en una mezcla de ácido sulfúrico, perclórico 2:1 y al final se le agregaron 2 mL de peróxido de hidrógeno al 30%. Todo el proceso se realizó en Laboratorio de Frutales de Fitotecnia de la UACH (Mandujano *et al.*, 2012).

## 7.5 Diseño de tratamientos

Para el análisis cuantitativo de las variables de respuesta se utilizó un arreglo de tratamientos completamente al azar, se tomó como factor el fenotipo con dos niveles (amarillo y rojo). La unidad de la muestra fue un fruto completo. Se usaron de tres a cinco repeticiones para cada variable de respuesta. Las variables de respuesta medidas se muestran en el Cuadro 1.

Para 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.

Cuadro 1. Variables de respuesta evaluadas en frutos de fenotipo amarillo y rojo de pitaya *S. prinosus* y análisis estadístico realizado para cada una.

Fenotipo	Repeticiones	Variables de respuesta	Análisis estadístico
Amarillo y Rojo	5 frutos	Peso y color.	ANAVA y comparación de medias por Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ).
		CO <sub>2</sub> y etileno.	Kruskal-Wallis.
	3 frutos	Firmeza con epicarpio, sólidos solubles totales, acidez titulable, azúcares totales y reductores, iones.	ANAVA y comparación de medias por Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ).
		Firmeza mesocarpio, actividad antioxidante, fenoles totales, betalainas, acetaldehído y etanol.	Kruskal-Wallis.

## 7.6 Modelo estadístico

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

$Y_{ij}$  = valor de la variable en el i-ésimo tratamiento y la j-ésima repetición.

$\mu$  = media general

$T_i$  = efecto del tratamiento

$\varepsilon_{ij}$  = error experimental

## 8. Resultados y discusión

### 8.1 Variables físicas

#### 8.1.1 Peso

El análisis de varianza para la variable de peso en cada uno de los días después de la cosecha mostró una tendencia descendente en ambos fenotipos y no se encontraron diferencias significativas en ningún día. Sin embargo el análisis de regresión indica que por cada DDC se pierden 4.4 y 5.53 g en el fenotipo rojo y amarillo respectivamente (Figura 7). La pérdida de peso de los frutos se debe principalmente a la transpiración o a daños mecánicos y a la diferencia entre la humedad relativa del ambiente y el fruto (Guadarrama, 2001). El fenotipo amarillo mostró una mayor pérdida como se observa en la Figura 7 aunque no con diferencias significativas entre días, pero podría importar en la venta ya que se tendrían menos pérdidas del producto del fenotipo rojo que de amarillo si su venta no es inmediata. Es importante considerar que los frutos aquí estudiados fueron almacenados a temperatura ambiente y sin espinas lo que pudo generar mayor pérdida en el peso del fruto en menor tiempo.

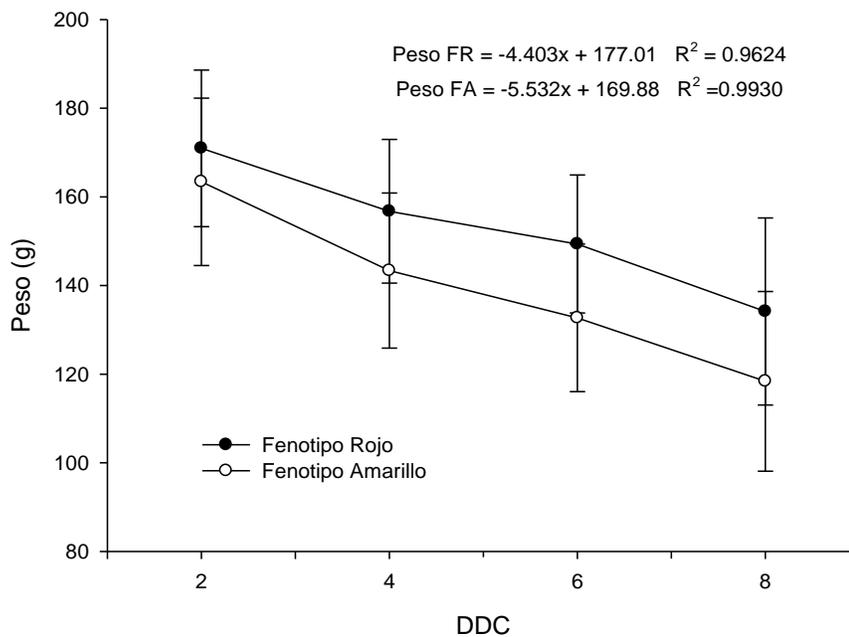


Figura 7. Modelo de regresión lineal de la pérdida de peso de pitaya de los fenotipos rojo (FR) y amarillo (FA) de *S. pruinosa*. Los datos de los fenotipos fueron analizados por día, no se encontraron diferencias entre los fenotipos.

Los pesos de los frutos son similares a los encontrados por Luna, (2004) quien trabajó en la Mixteca Baja y encontró diferencias significativas entre pitayas cultivadas y no cultivadas de *S. pruinosus*, el peso de las pitayas cultivadas (187.5 g) fue superior a las que no son tratadas (69.5 g) o las crecidas en forma silvestre (38.3 g). Además, Luna, (2007) trabajó con 31 variantes de *S. pruinosus* de la Mixteca Baja y encontró pesos que van desde los 398.5 g hasta 85.91 g. Los pesos obtenidos en el presente trabajo fueron intermedios a los mencionados por dicho autor. García *et al.*, (2013) y Rosas y Trujillo (2014) realizaron estudios cercanos a la zona de estudio del presente trabajo, la localidad de Tepexi de Rodríguez, Puebla, y reportaron para frutos rojos y anaranjados de *S. pruinosus* que no hubo diferencias estadísticas en cuanto al peso o pérdida de peso entre fenotipos, los valores que reportaron se asemejan a los obtenidos, García *et al.*, (2013) en pitaya roja de 180.9g y en anaranjada de 177.0g y Rosas y Trujillo (2014) quienes almacenaron los frutos a una temperatura de 12 °C durante 21 días obtuvieron una pérdida de peso mayor en pitaya roja (8.84 %) que en la anaranjada (8.53 %). Campos *et al.*, (2011) trabajaron con pitayas de *Stenocereus spp.* en Monte Escobedo, Zacatecas, y encontraron diferencias entre fenotipos, la roja tuvo un mayor peso con 171.5 g, seguida de la amarilla con 132.75 g.

Por otro lado, Armella y Yáñez (2003) para frutos de *S. griseus* indicaron que la pérdida de peso es mayor cuando las pitayas son almacenadas a temperatura ambiente y sin espinas hasta el 18%, mientras que en refrigeración y con espinas sólo pierden el 4% de su peso fresco.

### **8.1.2 Firmeza**

La firmeza de ambos fenotipos sigue una tendencia descendente, de acuerdo a los procesos de maduración general de los frutos. Sin embargo, se encontraron diferencias significativas entre los fenotipos, tanto en cáscara como en pulpa. Se observó que los frutos del fenotipo amarillo fueron menos firmes que los rojos (Cuadro 2).

Campos *et al.*, (2011) reportaron para frutos con cáscara del género *Stenocereus* de la localidad Monte Escobedo, Zacatecas una firmeza mayor incluso para el día 2 DDC, tanto en el fenotipo rojo ( $2.46\text{kgF}^{-1}$ ) como en el amarillo ( $2.36\text{kgF}^{-1}$ ). Los valores reportados por Rosas y Trujillo, (2014) en el fruto con cáscara para pitaya roja  $0.146\text{ kgF}^{-1}$

y anaranjada 0.145 kgF<sup>-1</sup>, son inferiores que los observados inclusive al día 8 DDC (Cuadro 2). Los datos encontrados para el mesocarpio del fruto siguieron la misma tendencia que la firmeza con epicarpio, pues para los días 2 y 6 DDC el fenotipo amarillo fue mayor (0.21-0.22). Campos *et al.*, (2011) reportaron una firmeza en pitaya roja de 1.10 kgF<sup>-1</sup> y en amarilla de 1.06 kgF<sup>-1</sup>, datos mayores a los observados en cualquier día para los fenotipos aquí reportados. Por otro lado, Rosas y Trujillo, (2014) para la pitaya roja reportaron 0.15 kgF<sup>-1</sup> y en anaranjada 0.139 kgF<sup>-1</sup>, los cuales coinciden con los del fenotipo amarillo en el día 6 DDC.

La firmeza de los frutos tanto en cáscara como en pulpa puede variar debido al estado de madurez de los mismos, el grosor de la cáscara y la acumulación del ion Calcio (Ca<sup>+</sup>), ya que, conforme la fruta va madurando la actividad enzimática de las enzimas pectolíticas aumenta, afectadas algunas por la producción de etileno, lo cual provoca la degradación de los compuestos pécticos de la pared celular de cáscara y pulpa de los frutos en general (Redgwell y Fischer, 2002). Sin embargo, al relacionar el contenido de calcio entre el fenotipo rojo y el amarillo no se observaron diferencias significativas entre fenotipos.

Cuadro 2. Medición de firmeza (con y sin cáscara) y sólidos solubles totales (SST) de los frutos de los fenotipos amarillo y rojo de pitaya (*S. prinosus*). Los valores presentados por día son el promedio con n=3 para las tres variables.

Fenotipo	Firmeza con cascara (kgF <sup>-1</sup> )				Firmeza pulpa (kgF <sup>-1</sup> )				SST (°Brix)			
	Días Después de la Cosecha (DDC)											
	2	4	6	8	2	4	6	8	2	4	6	8
Rojo	1.26 a <sup>z</sup>	0.94 a	1.09 a	0.74 a	0.21 a	0.17 a	0.22 a	0.12 a	11.1 a	10.8 a	9.5 a	10.27 a
Amarillo	0.73 b	0.48 b	0.34 b	0.28 b	0.15 b	0.12 b	0.10 b	0.09 a	10.5 a	8.1 a	9.4 a	9.18 a
DHS	0.346	0.185	0.228	0.218	0.050	0.046	0.039	0.067	8.29	15.04	8.44	7.53
C.V. (%)	22.78	20.90	29.26	37.51	17.72	23.39	16.53	40.59	8.29	15.04	8.44	7.53

<sup>z</sup>Medias 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  $\alpha \leq 0.05$ . DHS = Diferencia Honesta Significativa C.V.= Coeficiente de Variación.

Como indicaron Centurión *et al.*, (2008) en frutos de *Hylocereus undatus*, la porción de la cáscara disminuye mientras aumenta la porción comestible, lo cual hace menos firme al fruto y sensible a daños postcosecha. De acuerdo a esto, el fenotipo rojo puede presentar menor daño postcosecha, lo cual favorece su manejo de mercado.

### 8.1.3 Sólidos Solubles Totales (SST)

En el trabajo realizado se observó que los SST disminuyeron (de -0.6 a -1 °Brix) durante los ocho días de la postcosecha pero sin caer drásticamente, no se observó diferencia significativa en ningún día (Cuadro 2).

El que no hayan incrementado como generalmente sucede (Valero y Serrano, 2010) y que no existieron diferencias, puede explicarse debido a que este parámetro está asociado tanto a los azúcares como a los ácidos orgánicos y a su estrecha relación dentro de la respiración aerobia de las células, tal como lo explica Magaña *et al.*, (2013) para frutos de *H. undatus*.

Luna *et al.*, (2001 y 2004) obtuvieron valores de grados Brix para 31 variantes de *S. pruinosus* que van desde 10 a 14.5. También encontró diferencias significativas entre pitayas cultivadas y no cultivadas de *S. pruinosus*, el valor más alto fue para las cultivadas con 12.9°Brix, en las abandonadas 9.7 y en las silvestres 10.0. Al respecto, Armella y Yáñez, (2003) en *S. griseus* encontraron diferencias significativas en SST, mostraron que los grados Brix se incrementaron de 11.5 a 13 durante el almacenamiento debido a que la pérdida de agua provoca la concentración de los sólidos, también señalaron que a los 13°Brix los frutos fueron adecuados para la cosecha. Campos *et al.*, (2011) reportaron 11 % para pitaya roja y amarilla de *Stenocereus spp.* García *et al.*, (2013) indicó que obtuvo diferencias significativas entre pitaya roja de (9.3°Brix) y anaranjada (10.3°Brix). De la misma manera, Rosas y Trujillo, (2014) encontraron diferencias significativas entre fenotipos, para pitaya de *S. pruinosus* roja 10.19°Brix y 11.39°Brix en la anaranjada. Los valores obtenidos coinciden con los reportados por dichos autores para la especie, sin embargo, como no se declara en las referencias en qué día después de cosecha se tomaron sus muestras, no es posible comparar por día, sólo generalmente. El rango de grados Brix del fenotipo rojo fue de 11.1-10.2 y del amarillo 10.5-9.1, sin diferencias significativas, pero con tendencia a valores más altos en el fenotipo rojo para todos los días DDC.

## 8.2 Color

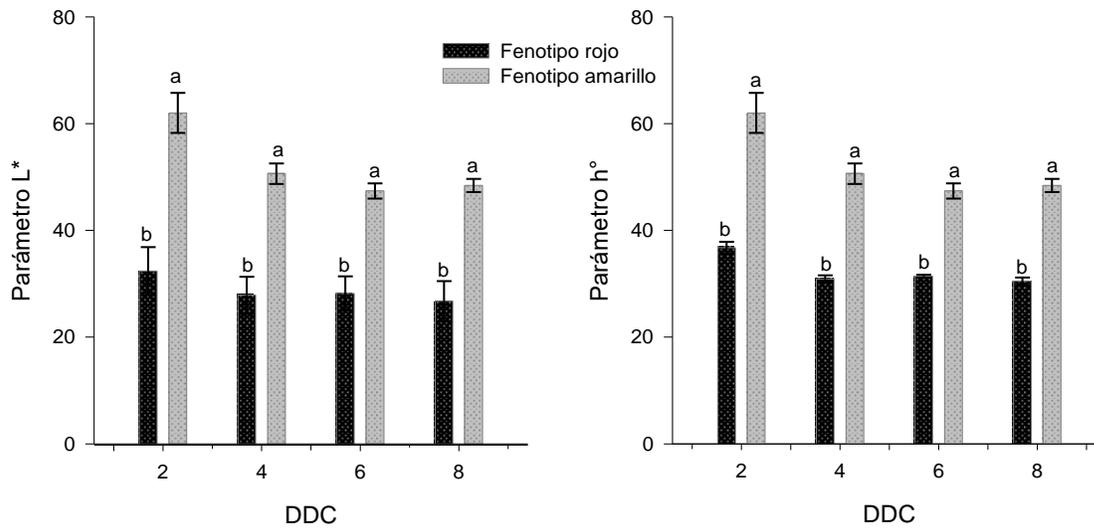


Figura 8. Parámetro  $L^*$  (luminosidad) y  $h^\circ$  (matiz) de la pitaya de *S. prinosus* fenotipo rojo y amarillo. Las medias con la misma letra por día (DDC) son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey  $P \leq 0.05$ . Se encontraron diferencias entre los fenotipos todos los DDC.

En los datos de color para el parámetro  $L^*$  se observaron diferencias significativas entre el fenotipo rojo y amarillo, lo cual, mostró que el fenotipo amarillo es más brillante que el rojo durante la postcosecha.

En cuanto al  $h^\circ$ , hubo diferencias en ambos fenotipos, lo que afirma que los colores de los frutos son diferentes. Los valores encontrados concuerdan con los grados de color dentro del amarillo y rojo; los frutos rojos tienen valores que van de los 30-40°; los frutos amarillos de los 45-90°.

El color en general de los fenotipos se puede describir de la siguiente manera: la pitaya amarilla presentó un color saturado pero menos “puro” y los valores de la luminosidad fueron intermedios (de 42.96 a 46.15); mientras que la pitaya roja presenta una cromaticidad opaca, un ángulo hue dentro del rojo y una luminosidad muy baja ( $< 40$ ).

La diferencia en el color está relacionada a la cantidad de pigmentos en los fenotipos donde se observó que la pitaya roja presenta mayor cantidad de betacianinas ( $> 150 \text{ mg } 100\text{g de peso fresco}^{-1}$ ) que la pitaya amarilla ( $< 50 \text{ mg } 100\text{g de peso fresco}^{-1}$ ) esto es lógico debido a que éstas moléculas se asocian con los colores rojo-púrpura.

En cuanto al manejo postcosecha de la fruta, el matiz más puro del fenotipo rojo puede ser una ventaja pero por otro lado el fenotipo amarillo es más brillante lo cual puede hacerlo más atractivo al consumidor.

Cuando la luz alcanza la superficie de los frutos, parte de ésta penetra y puede ser absorbida, dispersada o, incluso si la capa es lo bastante delgada, transmitida. Sin embargo, parte de la luz incidente se ve reflejada por la superficie. La distribución angular de esta luz depende de la naturaleza de la superficie lo cual puede cambiar durante la postcosecha.

### **8.3 Variables químicas**

#### **8.3.1 Acidez titulable**

Los valores de acidez titulable (medida como ácido málico) que presentó la pitaya de *S. pruinosus* fue muy baja (0.009-0.018 %) y se encontraron diferencias significativas entre fenotipos durante la postcosecha en los 2 y 8 DDC (Cuadro 3).

En un estudio realizado por Campos *et al.*, (2011) en frutos de pitaya (*Stenocereus spp.*), tampoco 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 la especie de *S. pruinosus*, 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.

Cuadro 3. Contenido de acidez titulable de los fenotipos amarillo y rojo de pitaya de *S. pruinosus*. 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 <sup>z</sup>	0.011 a	0.009 b
Amarillo	0.018 a	0.012 a	0.015 a

<sup>z</sup>Medias 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  $\alpha \leq 0.05$ .

### 8.3.2 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 se debe a la hidrolisis 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 9A). 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 (Cuadro 3).

En pitayas de *Stenocereus spp*, Campos *et al.*, (2011) reportaron para frutos amarillos 11.00 % y para frutos rojos 10.50 %. Para la especie de *S. pruinosus*, Rosas y Trujillo (2014) también obtuvieron para frutos rojos 7.09 % y 7.44 % para frutos anaranjados.

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 que los azúcares reductores (rojo , amarillo ) se encontraron en mayor proporción que los azúcares totales (rojo , amarillo ) (Figura 9B). En los datos reportados por Campos *et al.*, (2011) no observaron diferencias entre fenotipos, para la amarilla obtuvieron 9.75 % y en la roja 10.00 %.

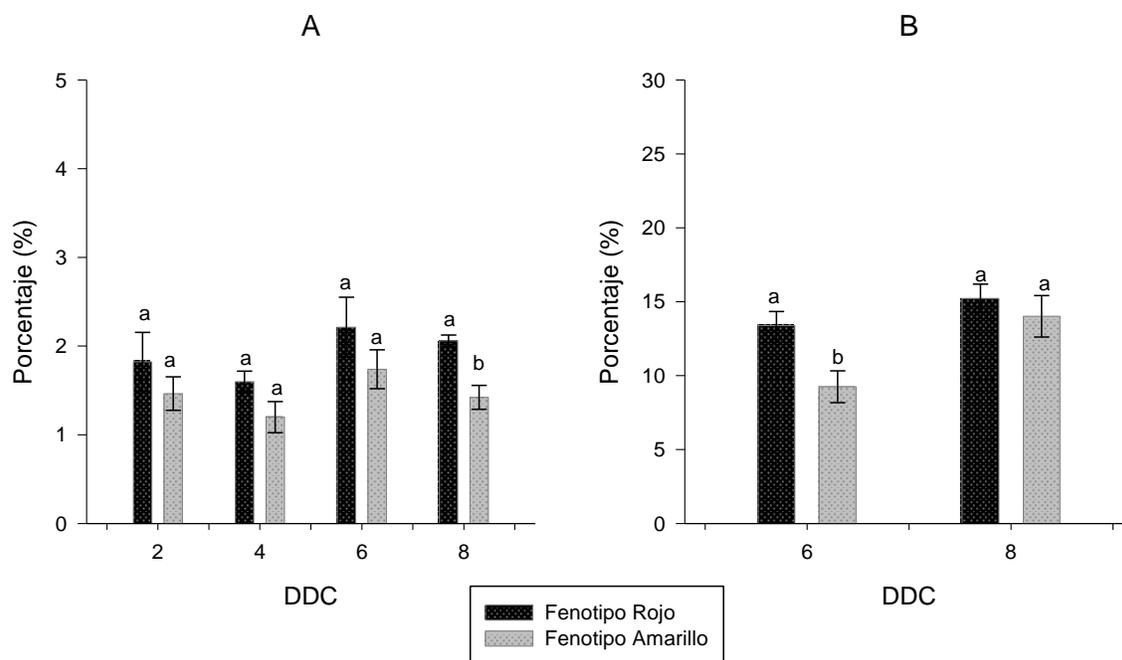


Figura 9. Azúcares totales (A) y reductores (B) de la pitaya de *S. prinosus* fenotipo rojo y amarillo. Las medias con la misma letra por día (DDC) son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey  $P \leq 0.05$ .

### 8.3.3 Azúcares Reductores

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 9B).

## 8.4 Compuestos antioxidantes

### 8.4.1 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 10A).

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 y, en ambos casos, el valor fue considerablemente mayor en el fenotipo rojo que en el amarillo o anaranjado.

Rosas y Trujillo, (2014) quienes trabajaron con pitayas de *S. prinosus* obtuvieron valores más bajos que los aquí encontrados, reportaron que para pitaya roja el valor fue de 0.42mg expresados como ácido gálico (EAG)  $g^{-1}$  de muestra fresca y para anaranjada

0.22mg EAG g<sup>-1</sup>, también encontraron diferencias significativas, la pitaya roja tuvo mayor cantidad de fenoles solubles totales que la anaranjada. Los valores de García *et al.*, (2013) se acercan más a los encontrados, ya que, obtuvieron para pitaya de *S. pruinosus* fenotipo rojo 1.6 mg EAG g<sup>-1</sup> de muestra fresca y para la anaranjada 1.2 mg EAG g<sup>-1</sup> de muestra fresca, mientras que en el 2016 García *et al.*, obtuvieron valores de 535.9 mg kg<sup>-1</sup> EAG para frutos rojos y 421.6 mg kg<sup>-1</sup> 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. pruinosus*. García *et al.*, (2012) reportaron (en mg de ácido gálico 100 g<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> 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. pruinosus*, Beltrán *et al.*, (2009) reportó en mg EAG 100 g<sup>-1</sup> 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•100g<sup>-1</sup> de ácido gálico, valor similar al encontrado en las pitayas del género *Stenocereus*.

El comportamiento de los fenoles totales fue similar en ambos fenotipos, se mantuvieron relativamente constantes. García *et al.*, (2016) indicó al respecto que se considera normal ya que los compuestos fenólicos están presentes en los tejidos vegetales, independientemente del estado fisiológico y pueden aumentar, disminuir o permanecer constantes durante el almacenamiento.

#### **8.4.2 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 10B).

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

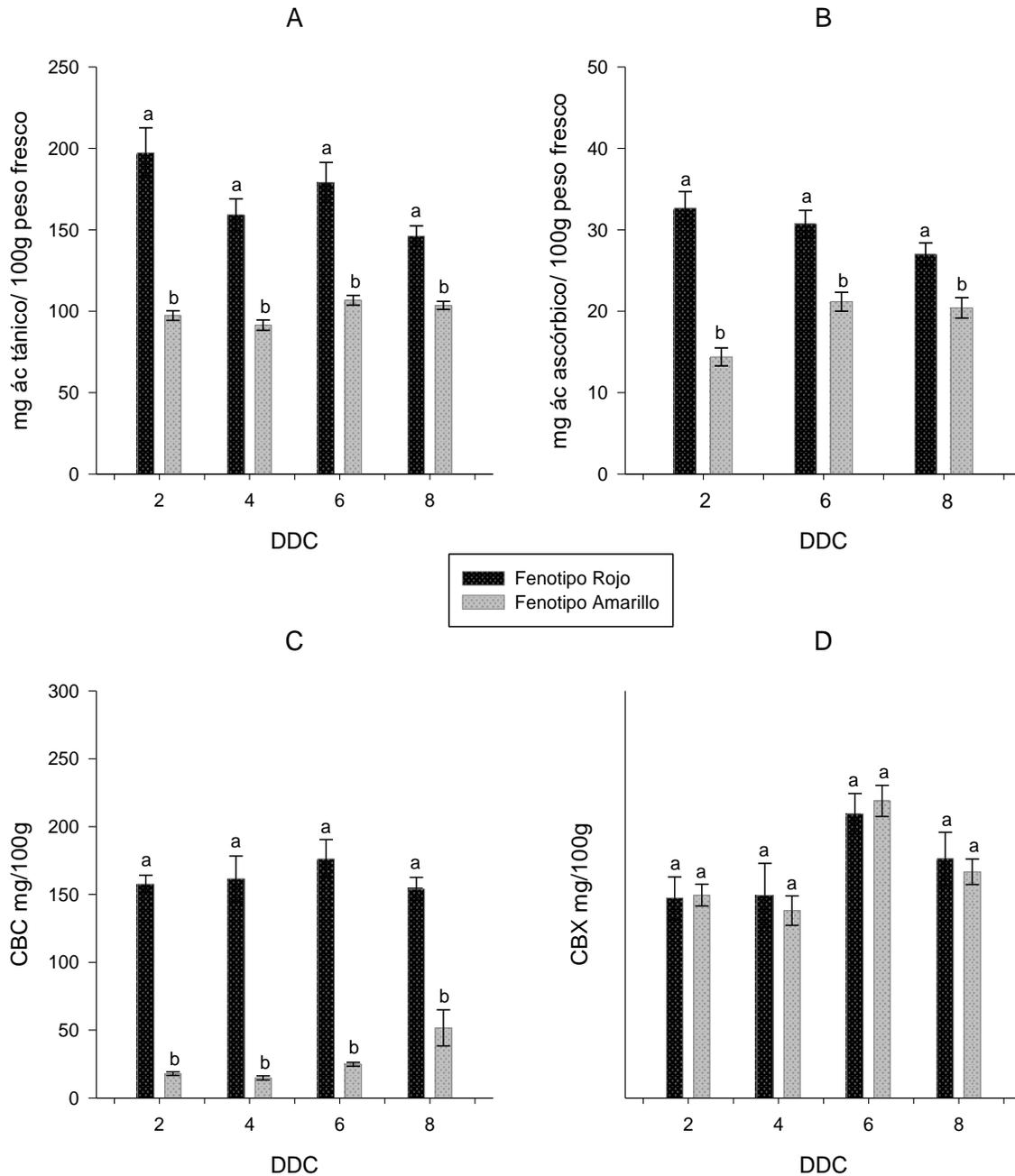


Figura10. Fenoles Totales (A), Actividad Antioxidante (B), Betacianinas (C) y Betaxantinas (D) de fenotipo rojo y amarillo de pitaya *S. pruinosus* a los 2, 4, 6 y 8 días después de la cosecha (DDC). Los datos de las variables fueron analizados por día mediante un análisis no paramétrico Kruskal-Wallis  $P \leq 0.05$  y no se encontraron diferencias significativas entre fenotipos fue en el contenido de betaxantinas.

En *S. pruinosus*, García *et al.*, (2013) quienes reportaron en equivalentes de Trolox (ET), encontraron para pitaya roja la cantidad de 1090.692  $\mu\text{Moles ET g}^{-1}$  muestra fresca y para anaranjada 735.4 92  $\mu\text{Moles ET g}^{-1}$  muestra fresca. Rosas y Trujillo (2014), obtuvieron 4.21 en pitaya roja y 2.92  $\mu\text{Moles ET g}^{-1}$  muestra fresca en anaranjada de *S. pruinosus*. García *et al.*, (2016) obtuvieron para pitaya roja 4.91 mmol ET  $\text{kg}^{-1}$  y 3.46 mmol ET  $\text{kg}^{-1}$  en

anaranjada. Beltrán *et al.*, (2009) en *S. stellatus* obtuvieron 2763.2 y 4202.1 mg ET g<sup>-1</sup> 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 *Vaccinium*. Ayala, (2008) para *S. griseus* obtuvo en el fenotipo rojo 9.17 μMoles ET g<sup>-1</sup> muestra fresca y en el amarillo 9.87 μMoles ET g<sup>-1</sup> 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.

#### 8.4.3 Betalaínas

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 10C y 10D 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, por lo tanto 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) tuvo 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<sup>-1</sup> y anaranjadas 2.49 mg g muestra seca<sup>-1</sup>, 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<sup>-1</sup>, amarilla 1.68-2.38 mg g<sup>-1</sup>). 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<sup>-1</sup> y en fenotipo anaranjado 37.6 mg 100 g<sup>-1</sup>, para CBX de pitaya roja 147.6 mg 100 g<sup>-1</sup> y pitaya anaranjada 177.37 mg 100 g<sup>-1</sup>, en ambos contenidos existen diferencias significativas, la pitaya roja posee mayor cantidad de BC y la anaranjada de BX.

El contenido de betalainas totales aumentó durante los 8 DDC. Se obtuvo su máximo de producción el día 6 DDC, 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.

## 8.5 Variables fisiológicas

### 8.5.1 Actividad respiratoria (CO<sub>2</sub>)

En la actividad respiratoria medida como la emisión de CO<sub>2</sub> 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, pero los valores del fenotipo rojo fueron mayores (Figura 11A). 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.

Los ligeros aumentos en la concentración de CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> en el estadio M3, previo a la senescencia.

Los resultados obtenidos por Rosas y Trujillo, (2014) con la misma especie *S. pruinosus*, son mayores que los obtenidos en el presente trabajo, reportaron valores promedio de 310 mg kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, 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 CO<sub>2</sub> dentro de los rangos de 24-31 mg kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> en el segundo día DDC, y posteriormente bajó entre los 19 y 25 mg kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> al quinto DDC. Rodríguez *et al.*, (2011) también reportaron para frutos de *S. stellatus* un comportamiento no climatérico con concentraciones de CO<sub>2</sub> menores a 30 mg kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> pero mayores de 20 mg kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> 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 CO<sub>2</sub> 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).

### 8.5.2 Etileno

La producción de etileno no mostró diferencias significativas entre fenotipos. No obstante la emisión de etileno siguió un patrón similar al de CO<sub>2</sub>, con valores bajos en roja con respecto a la pitaya amarilla (Figura 11B). El análisis grafico sugiere un comportamiento no climatérico.

Los resultados obtenidos en el trabajo son bajos en comparación con los datos reportados por los autores que se 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 "Giulla" 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.

### 8.5.3 Acetaldehído

Se encontraron diferencias en la concentración de acetaldehído entre los fenotipos rojo ( $\text{mg 1ml}^{-1}$ ) y amarillo ( $\text{mg 1ml}^{-1}$ ), la cantidad del compuesto aumentó durante los ocho días de almacenamiento, pero en el fenotipo amarillo hubo un aumento dramático (de a  $\text{mg 1ml}^{-1}$ ) en el día 6 DDC y posteriormente bajó ( $\text{mg 1ml}^{-1}$ ) (Figura 11C). El aumento en el día seis 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 mg 100ml<sup>-1</sup> para pitaya anaranjada y 10.58 mg 100ml<sup>-1</sup> para pitaya roja.

Monroy, (2016) obtuvo valores menores a 5 mg 100ml<sup>-1</sup> para diferentes cultivares de tuna, xocotuna y xoconostle.

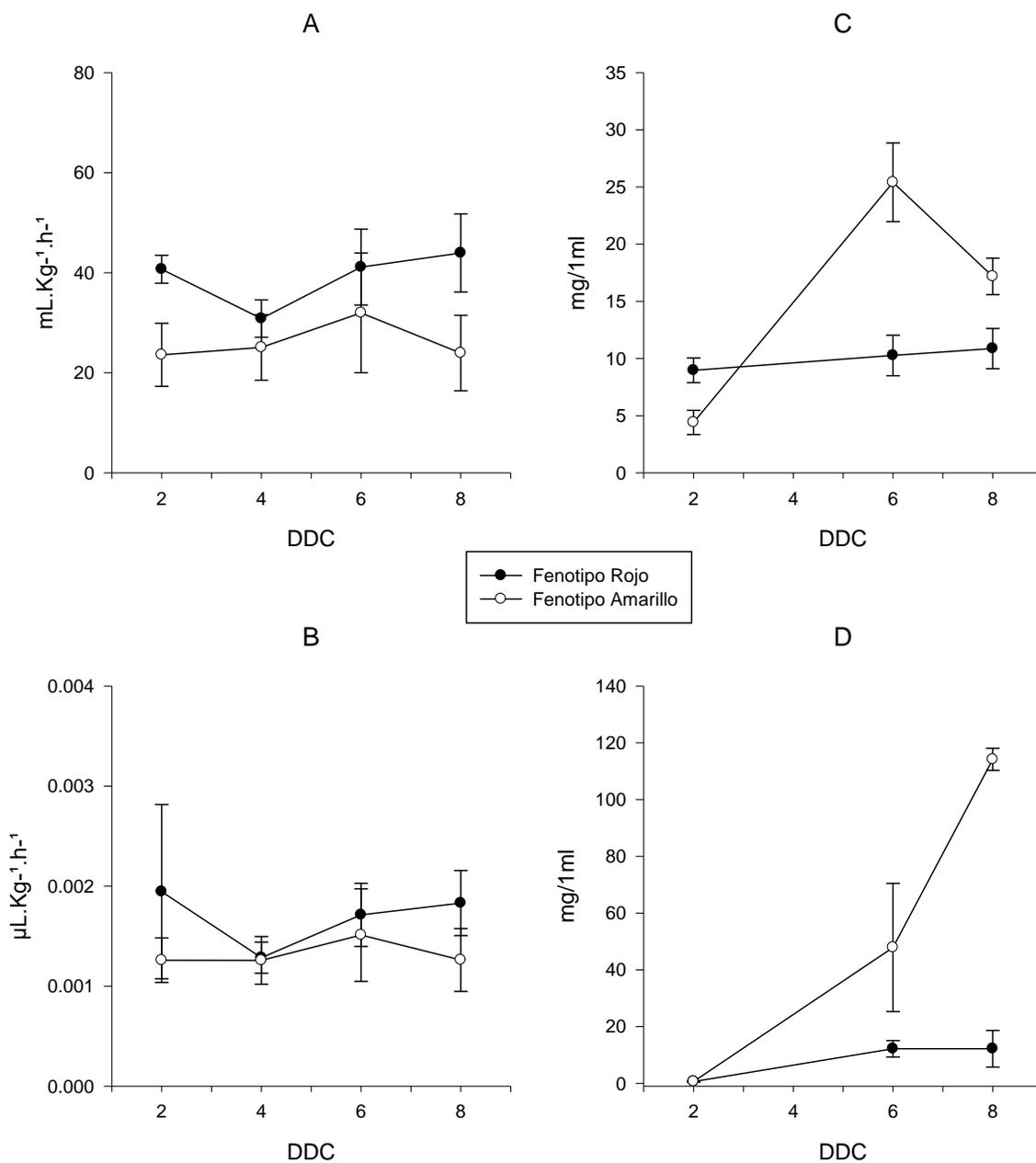


Figura 11. Resultados de la emisión de CO<sub>2</sub> (A), etileno (B), acetaldehído (C) y etanol (D) de pitaya de *S. pruinosus* fenotipo rojo y amarillo a los 2, 4, 6 y 8 días después de la cosecha (DDC). Los datos de las variables fueron analizados por día mediante un análisis no paramétrico Kruskal-Wallis  $P \leq 0.05$ .

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.

#### **8.5.4 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 la del rojo ( $\text{mg } 1\text{ml}^{-1}$ ) (Figura 11D).

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 ( $\text{mg } 1\text{ml}^{-1}$ ) y rojo ( $\text{mg } 1\text{ml}^{-1}$ ).

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.

#### **8.6 Contenido mineral**

Los resultados mostraron que la pitaya de *S. pruinosa* posee altos niveles de Ca, K, Mg y P (Cuadro 4), éstos elementos son macronutrientes que la planta necesita en grandes cantidades para sus funciones metabólicas lo que explica su alta presencia en los frutos, además, estos minerales tienen funciones importantes en la salud humana. En la mayoría de los minerales no se encontraron diferencias en el epicarpio y mesocarpio entre fenotipos, únicamente para el ion fósforo en cáscara y para el sodio en pulpa, sin embargo, los coeficientes de variación de todos los minerales fueron altos, algunos mayores que 40, lo cual no permite sentenciar una tendencia clara de la cantidad de iones en los frutos de pitaya *S. pruinosa* sobre todo para el caso del sodio y zinc.

## 8.6 Contenido mineral (iones).

Cuadro 4. Contenido mineral del epicarpio y mesocarpio de los fenotipos rojo y amarillo de pitaya de *S. pruinosus*. Los valores presentados son el promedio de los datos analizados por ion.

Epicarpio	Ión (ppm)									
	Boro	Calcio	Cobre	Hierro	Potasio	Magnesio	Manganeso	Sodio	Fósforo	Zinc
Rojo	15.520 a	4051.5 a	1.0302 a	27.536 a	12078 a	3031.1 a	86.56 a	27.15 a	763.9 b	22.715 a
Amarillo	19.370 a	4828.0 a	0.6492 a	25.68 a	11798 a	4174.0 a	85.43 a	110.23 a	1128.4 a	11.303 a
DHS	5.2771	1580.5	3.26115	10.488	5382.7	1481.2	47.502	108.07	355.77	15.493
C.V.	25.50400	30.28732	54.44230	32.39678	39.93535	34.01733	48.81828	97.55472	30.70653	88.38202
Mesocarpio										
Rojo	8.930 a	290.9 a	4.266 a	31.80 a	7728 a	2535.5 a	14.413 a	7.79 b	2510.0 a	18.605 a
Amarillo	12.310 a	518.4 a	5.652 a	37.14 a	7089 a	2420.2 a	21.730 a	108.47 a	2517.8 a	17.379 a
DHS	8.7588	292.53	4.1083	34.05	2518	1115	15.4	91.622	1287.6	7.4086
C.V.	42.34958	34.67853	43.02352	53.24196	19.76259	25.82980	42.69244	57.46408	28.93634	23.80224

<sup>2</sup>Medias con letras iguales en la misma variable significa que no existe diferencia significativa de acuerdo a la prueba de medias de Tukey  $\alpha \leq 0.05$ . DHS = Diferencia Honesta Significativa C.V.= Coeficiente de Variación.

En el epicarpio se observó mayor cantidad de B, Ca, K y Mg mientras que el mesocarpio tuvo valores más altos en Cu, Fe y P (Cuadro 4). En cuanto a la cáscara, el B y el Ca cumplen un papel estructural, son componentes principales de la pared celular (enlaces en pectinas y pectatos cálcicos) por lo que están relacionados con la firmeza del fruto; el

K está relacionado con la apertura estomática, pero se encuentra en abundancia en la vacuola y citoplasma por lo que se esperaba en mayor cantidad en el mesocarpio y no en el epicarpio, de igual manera que el Mg ya que este toma parte en el metabolismo energético, en el ciclo de Calvin y sirve en importantes funciones bioquímicas en síntesis de proteínas. En el mesocarpio, la mayor presencia de P puede explicarse debido a que es un elemento clave en el metabolismo energético (ADP y ATP); el Cu está presente en la enzima citocromo c oxidasa, la cual, es substancial en la cadena de transferencia de electrones, además, está implicado también en el complejo enzimático que interfiere con la síntesis de fenoles (Azcón y Talón, 2000).

El contenido de los minerales encontrados en el presente estudio fue en general más alto que los reportados por García *et al.*, (2013). El mayor aporte nutrimental de la pitaya *S. pruinosus* tanto roja como amarilla fue de potasio (K) lo que concordó con lo indicado por Vicente *et al.*, (2009) quienes afirman que este nutrimento es aportado en gran proporción por futas y verduras. Además, sobresalen los valores de hierro (Fe) ya que, García *et al.*, (2013) indicaron que la pitaya es rica en este mineral que es de importancia en la salud humana para padecimientos como la anemia. En comparación con frutas de otras cactáceas como el garmbullo (Guzmán *et al.*, 2010) y distintas especies y variedades de tuna (Silos *et al.*, 2003; Díaz *et al.*, 2007; El-Gharras *et al.*, 2009) también fueron mayores los valores encontrados en los fenotipos rojo y amarillo de *S. pruinosus*. Lo anterior sugiere que la ingesta de pitaya aporta importantes concentraciones de los distintos micro y macronutrientes a la dieta humana.

## 9. Conclusiones

El fenotipo amarillo perdió mayor cantidad de peso y presentó valores de firmeza más bajos durante su vida postcosecha que el fenotipo rojo. En cuanto a la acidez titulable y la cantidad de azúcares totales, el fenotipo amarillo tuvo en general mayor acidez y menor cantidad de azúcares, lo cual pudo hacer que su sabor fuera más contrastante y por lo tanto ser preferente para los consumidores.

El fenotipo rojo es una buena fuente de compuestos antioxidantes, ya que contiene mayores cantidades de fenoles totales y actividad antioxidante que el fenotipo amarillo, así como betalainas que también pueden ayudar a la capacidad antioxidante del fruto.

Se sugiere un patrón de respiración de comportamiento no climatérico, por lo que debe efectuarse su cosecha en plena madurez de consumo.

La ingesta de pitaya aporta significativas cantidades de minerales de importancia en la nutrición humana.

El fruto de pitaya de fenotipo rojo puede ser una mejor opción para venta a mayor distancia o si se almacenará por más días, debido a que sufre menos los cambios físicos postcosecha, y posee 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.

## 10. Bibliografía

- Alanís, F. G. G. y C. G. M. Velazco. 2008. Importancia de las cactáceas como recurso natural en el noreste de México. *Ciencia UANL*. 20 (1): 5-11.
- Almaguer, V. G. 1998. Maduración, cosecha y empaque de los frutos. En: *Fruticultura General*. 3ª. Mundi-Prensa y Universidad Autónoma Chapingo. México. 337-370pp.
- Arévalo, G. M. L. y Y. D. H. Ortiz. 2004. Comportamiento postcosecha del fruto de la pitahaya (*Hylocereus undatus*). *Cact. y Sucul. Méx.* 49 (3): 85-90.
- Ávalos, A. A.; Y. C. Ramírez; M. A. J. Goytia; A. F. P. Barrientos y C. V. Saucedo. 2006. Etileno en la abscisión del fruto de tres especies del género *Opuntia*. *Rev. Chap. Hort.* 12 (1): 127-133.
- Armella, M. A.; L. L. Yáñez; J. S. Soriano y G. R. Ramírez. 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: 251-254.
- Ayala K. y M. C. O. Beltrán. Propuesta para el desarrollo e implementación de una metodología en el manejo postcosecha de la pitaya. Universidad tecnológica de la Mixtca. Fecha de consulta 6 de abril de 2015. [www.utm.mx/~mtello/Extensos/290109.pdf](http://www.utm.mx/~mtello/Extensos/290109.pdf).

- Ayala, K. C.; T. V. Gallardo y M. C. O. Beltrán. 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.
- Azcón, B. J. y M. Talón. 2001. Cap. 8. Nutrición mineral y producción vegetal y Cap. 22. Etileno, ácido abscísico y otros reguladores del desarrollo. En: *Fundamentos de fisiología vegetal*. McGraw-Hill/Interamericana. España. 113-130 y 361-375 pp.
- Azeredo, H. M. C. 2009. Betalains: properties, sources, applications, and stability, a review. *Int. J. Food Sci. Technol.* 44: 2365–2376.
- Bárcenas, A. P. y V. C. Jiménez. 2010. Pitayas y Pitahayas (*Stenocereus spp.* e *Hylocereus spp.*), recursos agrícolas en el Valle de Tehuacán Puebla. *Soci. Rur. Prod. Med. Amb.* 10 (19): 101-120.
- Beltrán O. M. C.; G. T. C. Oliva; T. V. Gallardo y G. R. Osorio. 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.
- Blanckaert, I.; R. L. Swennen; M. F. Paredes; R. L. Rosas y R. S. Lira. 2004. Floristic composition, plant uses and management practices in homegardens of San Rafael Coxcatlán, Valley of Tehuacán-Cuicatlán, Mexico. *J. Ari. Envi.* (57): 39-62.
- Bravo, A. D. 2011. Relación entre la importancia cultural y atributos ecológicos en tres especies de cactáceas en la Mixteca Poblana. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Metropolitana. México. 101p.
- Bravo, H. H. 1978. *Las cactáceas de México, Vol. I*. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 755 p.
- Bravo, H. H. y H. Sánchez-Mejorada. 1991. *Las cactáceas de México, Vol. III*. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 505-512 pp.
- Campos, R. E.; J. M. E. Pinedo; R. G. M. Campos y A. D. F. Hernández. 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. y G. Barbera. 2002. Mesoamerican domestication and diffusion. En: *CACTI Biology and uses*. University of California Press. USA. 143-162 pp.
- Centurión, Y. A. R.; S. P. Solís; C. V. Saucedo; R. S. Báez y E. D. Sauri. 2008. Cambios físicos, químicos y sensoriales en frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) durante su desarrollo. *Rev. Fito. Mex.* 31 (001); 1-5.
- Corrales, G. J. y J. L. S. Hernández. 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.; S. M. Silva; D. M. Brito Primo; A. S. B. Sousa; E. S. Brito y E. M. S. Macedo. 2015. Changes during maturation in the bioactive compounds and antioxidant activity of *Opuntia stricta* (Haw.) Fruits. *Acta Hort.* 1067: 159-166.
- Davies, P. L. y W. G. Chace. 1969. Determination de alcohol in citrus juice by gas Chromatographic análisis of headspace. *Hort. Sci.* 4 :117-119.
- Dávila A. P. y R. S. Lira. 2002. La flora útil de dos comunidades indígenas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán: Coxcatlán y Zapotitlán de las Salinas, Puebla. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. T015. México D. F.
- D'Aquino, S.; I. Chessa; M. Schirra. 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.
- Díaz, E. M. M.; E. M. R. Rodríguez y C. R. Díaz. 2007. Chemical characterization of *Opuntia dillenii* and *Opuntia ficus indica* fruits. *Food Chemist.* 103: 38–45.
- Esquivel, M. 2004. Los frutos de las cactáceas y su potencial como materia prima. *Agro Mesoa.* 15 (2): 215-219.
- El-Gharras, H.; A. Hasib; A. Jaouad y A. El-Bouadili. Chemical and physical characterization of three cultivars of Moroccan yellow prickly pears (*Opuntia ficus indica*) at three stages of maturity. *Cienc. y Tecn. Aliment.* 5 (2): 93-99.

- Fannema, R. O. 1985. Pigmentos. En: *Introducción a la ciencia de los alimentos. Tomo II*. Reverté. España. 481-493 pp.
- FAO. 1987. *Manual para el mejoramiento del manejo poscosecha de frutas y hortalizas. Parte 1: Cosecha y Empaque*. FAO. Italia. 100p. Fecha de consulta 23 de febrero de 2015. <http://www.fao.org/docrep/x5055s/x5055s00.HTM>
- Ferguson, B. I. y L. M. Boyd. 2002. Inorganic nutrients and fruit quality. En: *Fruit quality and its biological basis*. Sheffield Academic Press y CRC Press. EUA. 17-39 pp.
- García L.; Y. M. Salinas y S. G. Valle. 2012. Betalaínas, compuestos fenólicos y actividad antioxidante en pitaya de mayo (*stenocereus griseus* H.). *Rev. Fitotec. Mex.* 35 (5): 1-5.
- García, C. L.; S. G. Valle; Y. M. Salinas y E. C. Joaquín. 2013. Physical, chemical, and antioxidant activity characterization of pitaya (*Stenocereus pruinosus*) fruits. *Plant Foods Hum. Nutri.* 68 (4): 333-430.
- Gentile, C.; L. Tesorire; M. Allegra; M. A. Livrea y P. D'Alessio. 2004. Antioxidant betalains from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) inhibit endothelial ICAM-1 expression. *Ann. N Y Acad. Sci.* 1028: 481-486.
- Granados, S. D.; B. J. A. Mercado y R. G. F. López. 1999. Las pitayas de México. *Cienc. y Des.* 25 (149): 58-67.
- Guadarrama, A. 2001. *Fisiología postcosecha de frutos*. Universidad central de Venezuela. Venezuela. 139 p.
- Lira, R.; A. Casas; R. L. Rosas; M. F. Paredes; E. N. Pérez; S. L. Rangel; L. Solís; I. Torres y P. Dávila. 2009. Traditional Knowledge and Useful Plant Richness in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Econo. Bot.* 63 (3): 271-187.
- Llamas, L. I. 1984. El cultivo de pitayo en Huajuapán de León. *Cact. Suc. Mex.* 29 (3): 62-65.
- Luna, M. C. 2007. Ordenación y clasificación morfológica del fruto de cultivares mixtecos de pitaya (*Stenocereus pruinosus*) en México. *Agrocien.* 11 (2): 10-16.

- Luna, M. C. y J. R. R. Aguirre. 2001. Clasificación tradicional, aprovechamiento y distribución ecológica de la pitaya mixteca en México. *Intercien*. 26 (1): 18-24.
- Magaña, B. W.; E. D. Sauri; J. G. Corrales y C. V. Saucedo. 2013. Variables bioquímicas fisiológicas y físicas de las frutas de la pitahaya (*Hylocereus undatus*) almacenadas en ambiente natural. *Rev. Ibero. Tecno. Post*. 14 (1): 21-30.
- Marby, J. T. 1977. The Order Centrospermae. *Ann. Missou. Botani. Gard*. 64 (2): 210-220. Fecha de consulta 14 de septiembre de 2015. [http://www.jstor.org/stable/2395333?seq=6#page\\_scan\\_tab\\_contents](http://www.jstor.org/stable/2395333?seq=6#page_scan_tab_contents)
- 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.
- Martínez, G. J. C. y J. J. B. Bonilla. 2005. Situación de la pitaya de mayo *Stenocereus pruinosus* (Otto) Buxbaum en tres localidades de la Mixteca Baja. *Rev. Geo. Agr.* (34): 75-90.
- Monroy, G. T. 2016. Caracterización química, física y fisiológica de xocotuna, tuna y xoconostle. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma Chapingo. México. 148p.
- Nerd, A.; F. Gutman y Y. Mizrahi. 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 Ann*. 36: 179-219.
- Osuna, E. T.; M. E. Z. Ibarra; M. D. R. Muy; B. T. Valdez; M. R. Villareal y S. V. Hernández. 2011. Calidad postcosecha de frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus* haw.) cosechados en tres estados de madurez. *Rev. Fitotec. Mex*. 34 (1): 63 – 72.
- Paliyath, G.; K. Tiwari; C. Sitbon y D. Whitaker. 2012. Biochemistry of fruits. En: *Food biochemistry and fruit processing*. 2<sup>nd</sup>. Wiley-Backwell. EUA. 533-553 pp.
- Parra, F.; N. N. Pérez; R. Lira; D. S. Pérez y A. Casas. 2008. Population genetics and process of domestication of *Stenocereus pruinosus* (Cactaceae) in the Tehuacán Valley, México. *J. Arid. Env*. 72: 1997-2010.

- Parra, F.; J. J. Blancas y A. Casas. 2012. Landscape management and domestication of *Stenocereus pruinosus* (Cactaceae) in the Tehuacán Valley: human guided selection and gene flow. *J. Ethnobiol. Ethnomed.* 8: 32
- Pérez, L. M.; F. T. Flores; J. D. Martín; C. D. Romero y E. M. R. Rodríguez. 2015. Physicochemical characterization of cactus pads from *Opuntia dillenii* and *Opuntia ficus indica*. *Food Chem.* 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, B. E. y P. S. Nobel. 1994. Pitaya (*Stenocereus spp.* Cactaceae) an ancient and modern fruit crop of Mexico. *Econo. Bot.* 48: 76-83.
- Pimienta, B. E. 1999. *El pitayo en Jalisco y especies afines en México*. Universidad de Guadalajara. México. 234p.
- Piña, L. I. 1977. Pitayas y otras cactáceas afines del estado de Oaxaca. *Cact. Suc. Mex.* 22 (1): 3-14.
- Redgwell, J. R. y M. Fischer. 2002. Fruit texture, cell wall metabolism and consumer perceptions. En: *Fruit quality and its biological basis*. CRC Press. E.U.A. 46-74pp.
- Rice, A. C.; N. J. Miller y G. Paganga. 1997. Antioxidant properties of phenolic compounds. *Tren. Plant. Scien.* 2 (4): 152-158.
- Rodríguez, I. Y.; F. J. G. Suárez; E. S. Mercado; L. M. R. Suarez; M. M.P. Martinez; R. G. Salgado y R. G. López. 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. y L. C. Trujillo. 2014. Frigoconservación de frutos de pitaya (*Stenocereus pruinosus* (Otto) Buxb.) en postcosecha. Tesis de grado. Universidad Autónoma Chapingo. México. 63p.
- Rosales, B. E. P.; C. C. M. Luna y A. L. Cruz. 2009. Clasificación y selección tradicional de pitaya (*Stenocereus pruinosus* (Otto) Buxb.) en Tianguistengo, Oaxaca y variación morfológica de cultivares. *Rev. Chap. Horti.* 15 (1): 75-82.

- Salsbury, B. F. y C. W. Ross. 1994. Nutrición Mineral. En: *Fisiología Vegetal*. Grupo Editorial Iberoamérica. México. 127-148 pp.
- Seeram, N. P. 2008. Berry fruits for cancer prevention: current status and future prospects. *J. Agri. Food Chem.* 48: 140-146.
- Silos, E. H; L. M. Fabian; J. A. C. Osuna; M. E. Valverde; F. L. Guevara y O. L. Paredes. 2003. Chemical and biochemical changes in prickly pears with different ripening behavior. *Nahrung. Food.* 47(5): 334-338.
- Simpson, K. B.; S. Benjakul y S. Klomkiao. 2012. Natural food Pigments. En: *Food biochemistry and fruit processing*. 2<sup>nd</sup>. 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. y M. Serrano. 2010. Fruit ripening. En: *postharvest Biology and Technology for preserving fruit quality*. CRC Press. EUA. 7-49 p.
- Waterman, P. G.; S. Mole. 1994. *Analysis of Phenolic Plant Metabolites*. Blackwell Scientific Publications, Oxford. UK. 238 p.
- Whitham F. H.; D. F. Blaydes y R. M. Devlin. 1971. *Experiments in Plant Physiology*. Van Nostrand Reinhold Company. New York. 55-58 pp.
- Wills, R.; B. McGlasson; D. Graham y D. Joyce. 1998. *Introducción a la fisiología y manipulación poscosecha de frutas, hortalizas y plantas ornamentales*. 2<sup>a</sup>. Acribia. España. 240p.
- Taiz, L. y E. Zeiger. 1998. *Plant Physiology*. 2<sup>nd</sup>. Sinauer Associates. USA. 792 p.
- Tucker, G. y K. Robards. 2008. Bioactivity and structure of biophenols as mediators of chronic diseases. *Crit. Rev. Food Scien. Nutri.* 48: 929-966.