



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

## CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD  
FISIOLOGÍA VEGETAL

**RELACIONES ENTRE GENOTIPO, PRODUCTIVIDAD Y  
CALIDAD DE FRUTO EN PITAHAYA (*Hylocereus* spp.)**

**RAÚL MARTÍNEZ CHÁVEZ**

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER  
EL GRADO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS**

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO.


2011


La presente tesis, titulada: **Relaciones entre genotipo, productividad y calidad de fruto en pitahaya (*Hylocereus* spp.)**, realizada por el alumno: **Raúl Martínez Chávez**, bajo la dirección del Consejo particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS


RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD  
FISIOLOGÍA VEGETAL


CONSEJO PARTICULAR

  
Consejero: Dr. Manuel Livera Muñoz

  
Asesor: Dr. José Alfredo Carrillo Salazar

  
Asesora: Dra. Yolanda Donají Ortiz Hernández

  
Asesor: Dr. Gabriel Alcántar González

  
Asesor: M.C. Jorge Valdez Carrasco

## AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados, *mi alma pater*.

A la Universidad Autónoma Chapingo, *mi alma mater*.

Al Instituto de Recursos Genéticos y Productividad del Colegio de Postgraduados.

Al programa de Fisiología Vegetal del Instituto de Recursos Genéticos y Productividad.

Al CONACYT por la beca otorgada para realizar este posgrado y el trabajo de investigación.

Al Departamento de Fitotecnia y toda su planta docente por permitirme ser parte de ella, en mi formación profesional que siempre recordaré con mucho orgullo y cariño.

Al Dr. Manuel Livera Muñoz, por facilitar los genotipos de pitahaya evaluados y la asesoría para desarrollar esta investigación.

A Don Tomás Rendón Navarrete, por las facilidades brindadas en su huerto, durante el desarrollo de esta investigación.

Al M.C. Jorge Valdez Carrasco, por la inagotable paciencia y calidad humana que permitieron trabajar en equipo.

Al M.C. Gabriel Peralta Valverde, por su amable disponibilidad en el análisis de resultados y las aportaciones valiosas hechas al presente trabajo.

Al Dr. José Alfredo Carrillo Salazar, por las valiosas sugerencias en el presente trabajo de investigación.

A la Dra. Yolanda Donají Ortíz Hernández, por las aportaciones al escrito y el impulso del cultivo de pitahaya.

Al Dr. Gabriel Alcántar González, por las sugerencias aportadas para mejorar este trabajo.

## DEDICATORIA

A *Martha Esmeralda Díaz Pérez*. Por motivar mi superación académica. Por impulsarme para culminar esta importante etapa de mi vida profesional; a pesar del cansancio, desvelo y escasez económica durante la presente investigación. Por las palabras y consejos que levantaron mi autoestima. Por su ayuda económica. Por el regalo más grande de esta vida.

A *Valeria Martínez Díaz*. Por las palabras que motivan mi superación. Cuentas conmigo, siempre.

Al pueblo de México, por permitirme realizar mis estudios.

A mi madre: Antonia Chávez Bazante.

A mi padre: Pascual Martínez Herrera.

A mis hermanas: Claudia, Marcela Paz y Johana.

A mi hermano: Juan Antonio.

A mi tía Cándida Bazante Enríquez; siempre estaré en deuda contigo, por la hospitalidad brindada y ser pilar fundamental durante mis estudios de bachillerato.

A mis sobrinos: Jordy Miguel, Diana y Yarezi.

A todos mis familiares que no menciono pero que los llevo en mi pensamiento.

A los habitantes de San Pedro Atzumba, Zapotitlán Salinas, Puebla (Mixteca poblana).

A los habitantes de Santiago Juxtlahuaca, Oaxaca (Mixteca oaxaqueña).

A mis catedráticos y compañeros de la Escuela Primaria *Carlos Marx* de San Pedro Atzumba, Puebla. Generación 1986-1992.

A mis catedráticos y compañeros de la Escuela Telesecundaria *Manuel "C" Tello* de San Pedro Atzumba, Puebla. Generación 1992-1995.

A mis catedráticos y compañeros del Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 131 por su amistad y apoyo durante mi estancia. Generación 1996-1999 y Grupo "C".

A mis catedráticos y compañeros del: Propedéutico 02, Generación 1999-2000 de la Universidad Autónoma Chapingo y del Grupo "1" Generación: 2000-2004 del Departamento de Fitotecnia; con quienes aprendí en las aulas, viajes de estudio y el campo experimental.

## Contenido

<b>ÍNDICE DE CUADROS EN EL TEXTO</b> .....	i
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	iii
<b>RESUMEN</b> .....	iv
<b>SUMMARY</b> .....	v
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>II. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	9
2.3 Manejo agronómico.....	10
2.4 Registro de datos .....	10
2.5 Precipitación, temperatura máxima y mínima.....	12
2.6 Análisis de datos.....	13
<b>III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	14
3.1 Fenología .....	16
3.1.1 Flujos de yemas florales.....	16
3.1.2 Fechas de brotación de yemas florales.....	17
3.1.3 Fechas de antesis de flores .....	19
3.1.4 Fechas de madurez de fruto.....	20
3.1.5 Periodo de brotación de yemas florales a antesis (BA).....	21
3.1.6 Periodo de antesis a madurez de fruto (AM).....	22
3.1.8 Interacción ciclo productivoXgenotipo en BA, AM y BM .....	23
3.2 Producción de yemas florales, flores y frutos .....	26
3.2.1 Producción de yemas florales.....	26

3.2.2 Producción de flores.....	27
3.2.3 Producción de frutos.....	28
3.2.4 Análisis de componentes principales .....	29
3.3 Proporción de Flores/Yemas Florales, Frutos/Flores y Frutos/Yemas Florales .....	32
3.3.1 Proporción de Flores/Yemas Florales .....	32
3.3.2 Proporción Frutos/Flores.....	33
3.3.3 Proporción de Frutos/Yemas Florales .....	34
3.4 Cantidad de yemas florales y flores abortadas.....	35
3.4.1 Cantidad de yemas florales abortadas .....	35
3.4.2 Cantidad de flores abortadas .....	36
3.5 Días a aborto de yemas florales y flores .....	38
3.5.1 Días a aborto de yemas florales.....	38
3.5.2 Días a aborto en flores.....	39
3.6 Rendimiento de fruto .....	41
3.7 Calidad de fruto .....	43
3.7.1 El diámetro de fruto.....	43
3.7.2 Longitud de fruto.....	43
3.7.3 Grosor de pericarpio.....	44
3.7.4 Firmeza.....	45
3.7.5 Peso de fruto fresco .....	45
3.7.6 Peso de pericarpio en fresco.....	47
3.7.7 Peso de pulpa en fresco .....	48
3.7.8 Proporción pulpa/fruto .....	49

3.7.9 Rendimiento de jugo .....	49
3.7.10 Color del exocarpio del fruto .....	50
3.7.11 Contenido de sólidos solubles totales (SST).....	52
3.7.12 Acidez titulable .....	54
3.7.13 Relación ° Brix/acidez.....	56
3.7.14 Valor de pH.....	57
3.7.15 Sólidos Solubles Totales (° Brix) en diferentes sitios en la pulpa.....	58
IV CONCLUSIONES .....	61
V LITERATURA CITADA .....	62

## ÍNDICE DE CUADROS EN EL TEXTO

	<b>Página</b>
<b>Cuadro 1.</b> Color de exocarpio y pulpa del fruto de seis genotipos de <i>Hylocereus</i> spp.....	9
<b>Cuadro 2.</b> Nivel de significancia, desviación estándar ( $R^2$ ) y coeficiente de variación (C.V.) para la temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación durante 2008 y 2009 a través de ciclos de evaluación, meses y la interacción ciclos de evaluación X meses.....	14
<b>Cuadro 3.</b> Flujos de yemas florales (FYF), flujo más productivo (FMP), yemas florales en flujo más productivo (YFFMP), yemas florales por planta (YFPP) en Tepoztlán, Morelos.....	17
<b>Cuadro 4.</b> Periodo de brotación de la yema floral a antesis (BA), antesis a madurez de fruto (AM) y de brotación de la yema floral a madurez de fruto (BM) en días.....	22
<b>Cuadro 5.</b> Producción de yemas florales, flores y frutos, de seis genotipos de pitahaya. Tepoztlán, Morelos.....	27
<b>Cuadro 6.</b> Asociación entre producción de órganos reproductivos y periodos fenológicos de seis genotipos de pitahaya ( <i>Hylocereus</i> spp.) en Tepoztlán, Morelos. 2008 y 2009. ....	29
<b>Cuadro 7.</b> Relación de componentes principales en la valoración de la fenología y capacidad productiva de seis genotipos de pitahaya.....	30
<b>Cuadro 8.</b> Porcentajes de flores producidas por yemas florales, frutos por flores y frutos por yemas florales.....	34



<b>Cuadro 9.</b> Porcentaje de yemas florales (YF) y flores (F) abortadas de seis genotipos de pitahaya durante 2008 y 2009.....	38
<b>Cuadro 10.</b> Rendimiento de fruto de seis genotipos de pitahaya durante 2008 y 2009.....	42
<b>Cuadro 11.</b> Diámetro, longitud, grosor de pericarpio y firmeza de pulpa en seis genotipos de <i>Hylocereus</i> spp.....	44
<b>Cuadro 12.</b> Peso de fruto, pericarpio, pulpa con semillas, proporción pulpa/peso de fruto y rendimiento de jugo, en seis genotipos de pitahaya.....	46
<b>Cuadro 13.</b> Sólidos solubles totales (° Brix, SST), acidez (%), relación ° Brix/acidez y pH del fruto en seis genotipos de <i>Hylocereus</i> spp., en Tepoztlán, Morelos.....	54

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
<b>Figura 1.</b> Sitios en el fruto de pitahaya ( <i>Hylocereus</i> spp.) donde se determinó la concentración de sólidos solubles totales (°Brix).....	12
<b>Figura 2.</b> Precipitación, temperatura máxima y mínima en 2008 y 2009, en Tepoztlán, Morelos. Las líneas punteadas representan las variables del año 2008 y las continuas las del año 2009.....	15
<b>Figura 3.</b> Periodos de brotación de yemas florales (B), de antesis de flores (A), y de madurez de fruto (M) en <i>Hylocereus</i> spp., en Tepoztlán, Morelos, durante 2008.....	18
<b>Figura 4.</b> Periodos de brotación de yemas florales (B), de antesis de flores (A), y de madurez de fruto (M) en <i>Hylocereus</i> spp., en Tepoztlán, Morelos, durante 2009.....	19
<b>Figura 5.</b> Interacciones genotipoXciclo productivo para: BA (a), AM (b) y BM (c)...	25
<b>Figura 6.</b> Componentes principales. Números en color rojo representan año 2008 y los de color verde año 2009; 1=CP-152, 2= CP-154, 3=CP-171, 4=CP-175, 5=CP-178 y 6=CP-182.....	32
<b>Figura 7.</b> Días a aborto en yemas florales de BA (i) y de AM (ii), en seis genotipos de pitahaya durante 2008 y 2009.....	40
<b>Figura 8.</b> Color de fruto maduro (ángulo de matiz) y luminosidad, en seis genotipos de <i>Hylocereus</i> spp.....	51
<b>Figura 9.</b> ° Brix tomados en diferentes puntos del fruto maduro, en seis genotipos de <i>Hylocereus</i> spp.....	60

# RELACIONES ENTRE GENOTIPO, PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD DE FRUTO EN PITAHAYA (*Hylocereus* spp.)

Raúl Martínez Chávez, M.C

Colegio de Postgraduados, 2011.

## RESUMEN

La información sobre la fenología reproductiva y el rendimiento de la pitahaya en México es limitada. En 2008 y 2009 se estudió la fenología reproductiva, rendimiento y calidad de fruto de seis genotipos de pitahaya (*Hylocereus* spp.) (CP-152, CP-154, CP-171, CP-175, CP-178 y CP-182) con diferencias en color de exocarpio y pulpa del fruto; utilizando plantas de 4 años de edad cultivadas en Tepoztlán, Morelos. Se registró el tiempo de aparición y producción de yemas florales, flores y frutos por planta; cantidad y fecha de aborto de yemas florales y flores; el periodo en días de la brotación de yemas florales a antesis de flores, y de antesis de flores a madurez de fruto. Con los datos anteriores se obtuvieron las proporciones flores/yemas florales, frutos/flores y frutos/yemas florales y el rendimiento de fruta por planta. En 15 frutos en madurez completa por cada genotipo, se midieron variables de calidad física y química. Entre el 30 a 39% y 59 a 73% de yemas florales y flores, abortaron. El amarre de flores/yemas varió entre 32 y 83% y el de frutos/flores entre 24 y 54%; y el amarre de frutos/yemas florales varió de 2 a 42%. El rendimiento de fruto varió de 1.5 a 3.1 kg planta<sup>-1</sup>. En pulpa, la concentración de SST (° Brix) vario entre 14.5 y 17.6 en la parte central siendo menor en la periferia, hasta 7 unidades; en pulpa de color rojo y magenta se expresó mayor contenido de SST que en la blanca. La relación ° Brix/acidez fue entre 39.0 a 48.6 y únicamente CP178 presentó 33.6. No hubo diferencias significativas entre los genotipos en el rendimiento de producción de jugo, que varió entre 65.9 y 85.6 mL por 100 g de pulpa. Se concluye que 1) Los genotipos evaluados presentaron una fenología y capacidad productiva diferente y tienen un alto potencial productivo, considerando el número de yemas reproductivas y flores producidas, quedando como reto incrementar el amarre de frutos y 2) Es posible ofertar frutos de calidad desde el 21 de mayo hasta el 26 de julio y dependiendo de las condiciones climáticas, hasta el 14 de noviembre, bajo las condiciones de Tepoztlán, Morelos.

**Palabras clave:** *Hylocereus* spp., aborto, calidad de fruto, fenología reproductiva, rendimiento de fruta.

## RELATIONSHIPS BETWEEN GENOTYPE, PRODUCTIVITY AND FRUIT QUALITY OF PITAHAYA (*Hylocereus* spp.)

Raúl Martínez Chávez, M.C

Colegio de Postgraduados, 2011.

### SUMMARY

The information about the reproductive phenology and yield of pitahaya in Mexico is limited. In 2008 and 2009 the reproductive phenology, fruit yield and quality were studied in six genotypes of pitahaya (*Hylocereus* spp.) (CP-152, CP-154, CP-171, CP-175, CP-178 and CP-182) with color differences of peel and fruit flesh; using plants of 4 years of age cultivated in Tepoztlán, Morelos. It was recorded the time of appearance and production of floral buds, flowers and fruits per plant; quantity and date of abortion of floral buds and flowers; the period in days of the emergence of floral buds to anthesis of flowers, and from flower anthesis to maturity of fruit. This information was used for computing the proportions of flowers / floral buds, fruits / flowers and fruits / floral bud and fruit yield per plant. Furthermore, in 15 fruits in complete maturity per genotype, were measured variables of physical and chemical quality. Abortion of flower buds was between 30 and 39 % and between 59 and 73 % for flowers. The setting of flowers / floral buds was between 32 and 83 % and that of fruits / flowers between 24 and 54 %; and fruits / floral buds was between 2 and 42 %. Fruit production per plant was between 1.5 to 3.1 kg. In flesh, TSS concentration (° Brix) was between 14.5 and 17.6 in the central part being lower, up to 7 units, in the periphery; colored flesh, red and magenta, showed a major content of TSS than the white flesh. The relation ° Brix/acidity was between 39.0 and 48.6 and only CP178 presented 33.6. There were no significant differences for juice production between the genotypes, which varied between 65.9 and 85.6 mL per 100 g of flesh. It is concluded that 1) The genotypes showed different reproductive phenology and productive capacity and have a high productive potential, considering the production of floral buds and flowers, remaining as a challenge to increase the fruits setting; and 2) It is possible to offer quality fruits from May 21 up to 26 of July, and depending on the climatic conditions, until November 14, under Tepoztlán, Morelos conditions.

**Key words:** *Hylocereus* spp., reproductive phenology, fruit yield, abortion, fruit quality.

## I. INTRODUCCIÓN

En México existe amplia diversidad genética de pitahaya (*Hylocereus* spp.); sus frutos son bayas con brácteas y sin espinas, de color de exocarpio rosa, roja y amarillo claro; su pulpa es jugosa con una gama de colores blanca, roja y magenta en varias tonalidades (Cáliz de Dios, 2004; Cáliz de Dios, 2005; Livera *et al.*, 2010), posee 3,081-5,098 semillas comestibles negras, de forma obovada, lisa y brillante (Castillo *et al.*, 2003; Castillo *et al.*, 2005). Su hábitat natural incluye: altitud, 2-2,750 msnm; precipitación anual, 340-3,500 mm; temperatura promedio anual, 13-28°C (Cáliz de Dios, 2004). Los frutos son considerados exóticos, con buenos precios y aceptación en los mercados nacionales e internacionales y constituyen una opción para productores de México (Ortiz y Livera, 2000; Castillo, 2005; Livera *et al.*, 2010) y otros países (Mizrahi *et al.*, 2002; Marten, 2003; Le Bellec *et al.*, 2006).

La especie más cultivada en México es *H. undatus*, que tiene pulpa blanca y un exocarpio ligeramente rojo púrpura (Castillo y Ortíz *et al.*, 1994; Centurión *et al.*, 2008; Osuna *et al.*, 2011) y en otros países es *H. polyrhizus*, de pulpa roja púrpura y exocarpio rojo (Mizrahi *et al.*, 2002; Le Bellec *et al.*, 2006). En la primera, su valor nutritivo es por el contenido de vitamina A (7.4 UI·100 g<sup>-1</sup>), potasio (4.0 g·L<sup>-1</sup>), sodio (33.0 g·L<sup>-1</sup>), magnesio (265.0 g·L<sup>-1</sup>) y calcio (30.0 g·L<sup>-1</sup>) (Stintzing *et al.*, 2003); proteína (1.2 g·L<sup>-1</sup>), lípidos (1.1 g·L<sup>-1</sup>) y su valor calórico es de 38 Kcal·100 g<sup>-1</sup> de pulpa (Le Bellec, 2003); adicionalmente, en *H. undatus* de pulpa blanca y exocarpio amarillo claro, el contenido de vitamina A es de 7.3 UI·100 g<sup>-1</sup> pulpa, 18 ° Brix, con altos niveles de potasio y sodio (Castillo y Cáliz de Dios, 1996);

frecuentemente, hay mayor contenido SST en la pulpa blanca (18.3 ° Brix) y menor en pulpa roja (13.5) (Wu *et al.*, 1997). El segundo tipo de pitahaya, *H. polyrhizus*, contiene 9.0 mg·L<sup>-1</sup> de vitamina C; proteína, 0.2 g; grasa, 0.6 g, fibra cruda, 0.9 g (Ruzainah *et al.*, 2009) y 10 betacianinas (Stintzing *et al.*, 2002). Los compuestos betalainicos, presentes en pulpa, reducen la dislipidemia (Stintzing *et al.*, 2002), y son responsables de la mayor capacidad antioxidante (Esquivel *et al.*, 2007b); su contenido es de 0.41 mg·g<sup>-1</sup> (la betacianina expresada como betanina equivale a 10.3 mg en 100 g de pulpa en fresco) (Stintzing y Carle, 2005). La pulpa y cáscara son ricos en polifenoles, considerados fuentes de antioxidantes (Wu *et al.*, 2006); en pulpa, contiene 6.8 Eq ácido gálico·g<sup>-1</sup> (Stintzing *et al.*, 2005) y particularmente los compuestos del pericarpio inhiben el crecimiento de melanomas (Wu *et al.*, 2006). Su jugo combina las propiedades funcionales de un colorante natural de alimentos con una alta potencia antioxidante (Stintzing y Carle, 2005). Estas propiedades, mejoran la salud de los consumidores de fruta en fresco (Esquivel, 2004), y muestra amplias perspectivas en la industria farmacéutica (Rebecca *et al.*, 2010).

Con respecto a la fenología reproductiva de *H. undatus*, se reportan tres periodos bien definidos que se traslapan; el periodo de brotación de yemas florales a la antesis, con tres flujos y con duración de 10, 21 y 31 d, para el primer, segundo y tercer flujo (Castillo y Ortíz *et al.*, 1994). El periodo de desarrollo de fruto aconteció de mayo a septiembre y el inicio de la maduración inició a los 31 d después de antesis en el primer periodo, a los 36-41 d en el segundo y entre 39-41 d en el tercer periodo (Castillo y Ortíz *et al.*, 1994), y entre 29-31 d cultivado en campo con una temperatura de 26.1 ° C y 73.9 mm de precipitación media

(Centurión *et al.*, 2008). El crecimiento del fruto es tipo sigmoideal (Centurión *et al.*, 2008), y el inicio de la madurez (primer cambio en el color de la exocarpio) se presentó 24-25 d después de anthesis (Castillo y Ortiz, 1994), y 29-31 d (Centurión *et al.*, 2008). En *H. purpusii*, con exocarpio y pulpa de color rojo, el tiempo de desarrollo de yemas florales, crecimiento y maduración de fruto fueron de 34, 30 y 6.6 d cultivado en condiciones de invernadero a 24.6 °C; estos periodos aumentaron a 41, 39 y 7.6 d en condiciones de campo abierto a 18.1 °C (Juárez *et al.*, 2005). En la especie *H. polyrhizus* la madurez de fruto ocurrió a 49 d desde la brotación de yemas florales, sin efecto del tipo de conducción de tallo poste, “T” y “V” (Martini *et al.*, 2008), y 27 d después de anthesis (Weiss *et al.*, 1994; Nerd *et al.*, 1999).

La producción de frutos en cactáceas depende en alto grado de factores intrínsecos, extrínsecos y la combinación entre ambos. En relación a los primeros, la areola comúnmente tiene dos zonas de crecimiento. En la parte superior se producen las flores y los brotes vegetativos y los meristemas espinulíferos en la inferior, de donde surgen las espinas (Vásquez *et al.*, 2005). Si el meristemo areolar produce un brote vegetativo o una flor, de acuerdo a Gibson y Nobel, (1986) ese mismo meristemo ya no volverá a ser útil. En varias cactáceas las flores se forman en meristemas que aparecieron uno o dos años antes; por lo anterior, la capacidad reproductiva depende parcialmente del crecimiento vegetativo de ciclos de evaluación anteriores, como sucede en *Opuntia* spp. y para la supervivencia la planta debe mantener un balance entre el crecimiento vegetativo y el reproductivo; balance que también es importante conocer para su manejo con objeto de obtener una producción óptima desde el punto de vista agronómico.

La productividad por planta de cualquier frutal depende del número de yemas reproductivas inducidas, número de yemas diferenciadas, número de flores formadas, número de frutos por planta y su tamaño. Los procesos que afectan estos componentes del rendimiento dependen del efecto del genotipo, ambiente y la interacción entre ambos; es decir, la producción depende del genotipo utilizado y de factores intrínsecos y extrínsecos. En *Hylocereus* se ha encontrado que la autoincompatibilidad sexual y la polinización deficiente causan aborto o caída de las flores; por lo tanto, bajo amarre de frutos (Castillo *et al.*, 2003 y 2005). En otros países como Israel, donde no hay polinizadores naturales, la polinización es manual (Nerd *et al.*, 2002). En México se ha encontrado que la producción de frutos es del 50% de las flores emitidas (Centurión *et al.*, 2008), situación que causa bajos rendimientos. Los rendimientos varían ampliamente: 2.9 t ha<sup>-1</sup> con plantas de *H. undatus* de dos años de edad (López *et al.*, 2004); y de 1.68 t ha<sup>-1</sup> con plantas de *H. polyrhizus* de la misma edad (Martini *et al.*, 2008).

Otro factor importante del rendimiento es el tamaño del fruto, que entre otros factores depende del genotipo, y factores del ambiente de producción, como son nutrición, abastecimiento de agua, temperatura, etc. En Israel en plantas de 5 años de edad el 60-70 % de los frutos de *H. undatus* e *H. polyrhizus* tuvieron un peso que varió entre 350 y 450 g (Nerd *et al.*, 2002). Las altas temperaturas (38 °C) inhibieron la producción de flores de *H. undatus* e *H. polyrhizus* (Nerd *et al.*, 2002).



El crecimiento del fruto es sigmoideal en *Hylocereus* sp. (Centurión *et al.*, 2000; Centurión *et al.*, 2008). El primer cambio en el color de la exocarpio se presentó a los 24-25 d después de anthesis en *H. undatus* (Castillo y Ortíz, 1994; Centurión *et al.*, 2008) y 26-27 d en *H. polyrhizus* (Weiss *et al.*, 1994; Nerd *et al.*, 1999). En ambas especies, el exocarpio se volvió completamente roja 4-5 d después del primer cambio de color (Nerd *et al.*, 1999; Centurión *et al.*, 2008). La fase de crecimiento lento se caracterizó por una disminución en la proporción de pericarpio y un aumento concomitante en la pulpa, el aumento de la concentración de sólidos solubles y azúcares reductores y una disminución en la firmeza y la concentración de almidón y mucílago (Centurión *et al.*, 2008). El aumento de la acidez antes del cambio de color muestra el inicio de los procesos de maduración (Centurión *et al.*, 2008). Para *H. polyrhizus*, que tiene una pulpa de color rojo-violeta, el aumento en la pigmentación de la pulpa se asoció al desarrollo de color del exocarpio (Nerd *et al.*, 1999). Los frutos en postcosecha, presentaron un comportamiento no-climatérico (Nerd *et al.*, 1999; Arévalo y Ortíz, 2004), y cuando se cosechan en el límite de completar su color, conserva la vida de anaquel al menos durante 2 semanas a 14 °C ó 1 semana a 20 °C. No se recomienda almacenar los frutos a 6 °C, porque la transferencia de esa temperatura a las condiciones ambientales causa pérdida de su firmeza y sabor rápidamente (Nerd *et al.*, 1999). Dos clones de pitahaya roja (*Hylocereus purpusii*) produjeron frutos con peso que varió de 381.4 a 315.5 g y con valores de 16.6 a 17.2 ° Brix (Juárez *et al.*, 2009).

El rendimiento de fruta depende del genotipo, el ambiente de producción y de su interacción; por ejemplo, en Israel se produjeron rendimientos de 28.34 y 5.0 t ha<sup>-1</sup> cuando la temperatura media fue de 34, 32 y 38 ° C con plantas de cinco años de *H. polyrhizus* y

polinización manual (Nerd *et al.*, 2002). El sistema de cultivo puede afectar los componentes del rendimiento y la calidad, ya que utilizando postes como tutores las plantas produjeron 17–38% más yemas florales, 15–36% más frutos y peso del fruto 24% mayor, en comparación con manejo en espalderas en forma de V o de T; también hubo efectos significativos del tipo de soporte de las plantas, sobre la concentración de sólidos solubles totales (% Brix), donde los frutos de plantas en espalderas en T y en postes tuvieron una concentración superior en °Brix en un 7% al sistema en V (Martini *et al.*, 2008).

La calidad organoléptica y nutricional del fruto depende del grado de madurez al corte (Centurión *et al.* 1999; Centurión *et al.* 2000). Cuando la temperatura y precipitación media fueron 26.1 C y 73.4 mm durante el desarrollo de los frutos de *H. undatus* en campo, la maduración del fruto ocurrió entre 25 y 31 d después de la apertura floral, con transición del color de la exocarpio de un verde claro con partes de color rojo incipiente a un rojo-púrpura, proceso en el cual hubo reducción de la firmeza. Los azúcares reductores y °Brix aumentaron de 2.4 a 6.6% y de 4.6 a 12.6%, respectivamente; el contenido de ácido málico disminuyó de 1.4 a 0.4%, lo que favoreció el aumento de la relación °Brix/acidez. A los 31 d después de la antesis los frutos medían 8.9 cm en diámetro polar, 8.2 cm en diámetro ecuatorial y 469.2 g en peso. El sabor varió de agridulce a dulce entre los 27 y los 31 d, y la mayor aceptación de los frutos se registró entre los 29 y 31 d después de antesis (Centurión *et al.*, 2008).

Durante el almacenamiento también hay cambios en la calidad del fruto. Frutos de *H. undatus*, cosechados en tres estados de madurez: inicial, medio y completo, con 25-50, 50-75 y 75-100% de color rojo en la exocarpio, respectivamente, se almacenaron a  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ . Se evaluaron

características físicas y químicas durante 12 d y fisiológicas por 8 d. El color del exocarpio varió durante el almacenamiento y entre estados de madurez. Frutos con madurez media y completa presentaron valores de ángulo de matiz de 15.6 (rojo) y 8.6 (rojo morado), respectivamente, y los de madurez inicial con 31.7 (rojo-naranja). Firmeza, acidez titulable y sólidos solubles totales, disminuyeron durante el almacenamiento. La firmeza se mantuvo más alta en frutos de madurez inicial. La acidez titulable disminuyó alrededor de 80% en los frutos de los tres estados de madurez, pero fue más alta en los cosechados con madurez inicial. Los sólidos solubles totales tuvieron un descenso significativo en frutos con madurez inicial, con valores ° Brix más altos en frutos con madurez media y completa. La relación ° Brix/acidez fue similar en los primeros 4 d de almacenamiento, pero los frutos en madurez inicial mantuvieron por más tiempo (10 d) los valores óptimos de dicha relación (<40) (Osuna *et al.*, 2011). En pitahaya de pulpa púrpura los cambios de color en la exocarpio también cambian conforme avanza la maduración; el peso, firmeza y acidez titulable decrecen, aunque hay diferencia entre genotipos (Esquivel *et al.*, 2007).

En México, los frutos y otras partes de la planta se han utilizado desde tiempos prehispánicos; sin embargo, el establecimiento de plantaciones comerciales se inició en los noventas, principalmente en la Península de Yucatán, donde se plantaron 1100 ha. Por falta de tecnología apropiada, uso de germoplasma diverso e improductivo, y daño de plagas y enfermedades, entre otros factores, dicha superficie se redujo a poco más de 100 ha en la misma década (Livera *et al.*, 2010). Actualmente se cultivan 500 ha, aproximadamente, en los estados de Yucatán, Quintana Roo y Puebla, con 328.8, 143.0 y 15.5 ha, respectivamente (SAGARPA, 2009). La producción de fruta de pitahaya presenta diversos problemas: bajos

rendimientos, frutos insípidos (8 ° Brix), estacionalidad de la producción, variabilidad en tamaño y calidad, daños de plagas y enfermedades, manejo postcosecha deficiente y falta de promoción de la fruta en el mercado, entre otros (Livera *et al.*, 2010).

Con el propósito de coadyuvar a la solución de algunos de estos problemas, en 1993 el Centro de Genética del Colegio de Postgraduados inició el proyecto Recursos Genéticos de *Hylocereus*: Conservación y Uso Sustentable. En dicho proyecto se ha realizado recolección de germoplasma en varios estados de la República Mexicana, caracterización, evaluación y mejoramiento a través de selección e hibridación (Livera *et al.*, 2010) y actualmente tiene germoplasma sobresaliente y diverso. El objetivo de esta investigación fue evaluar los componentes del rendimiento y calidad de fruto de genotipos de pitahaya que tienen diferente tipo de fruto.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Ubicación del experimento

La investigación se realizó en los años 2008 y 2009, en Tepoztlán, Morelos, México ubicado a 18° 59'LN y 99°07'W; a 1750 msnm; con precipitación media anual de 1463 mm y la temperatura promedio anual de 19.9 °C (García, 1981).

### 2.2 Material vegetal

Se estudiaron seis genotipos de pitahaya con color de exocarpio y pulpa indicados en el Cuadro 1, con plantas de cuatro años de edad establecidas en campo en un sistema de tutores vivos (*Erythrina* sp. y/o *Spondias* sp.), a una densidad de 500 plantas·ha<sup>-1</sup> (4X5 m) y bajo riego por goteo.

**Cuadro 1.** Color de exocarpio y pulpa del fruto de seis genotipos de *Hylocereus* spp.

GENOTIPO	Color de	
	Pulpa	Exocarpio
CP-152	Rosa	Rosa
CP-154	Rosa	Rosa
CP-171	Blanca	Rosa
CP-175	Blanca	Rosa
CP-178	Roja	Roja
CP-182	Blanca	Amarrillo claro

### 2.3 Manejo agronómico

Se aplicaron riegos cada 10 d a capacidad de campo, desde la aparición de yemas florales hasta el final del ciclo de producción en cada genotipo; durante la época de lluvia (junio-octubre) la aplicación del riego fue cada 15 d. Se aplicó fertilización en el riego (Poly-feed 19-19-19 de Haifa<sup>®</sup>, 1 g L<sup>-1</sup>) a través del sistema de riego durante los periodos de crecimiento de yemas florales y crecimiento del fruto. El control de malezas se realizó químicamente con *Faena*<sup>®</sup> 1L·ha<sup>-1</sup> en 200 L de agua cuando éstas presentaban un crecimiento menor a 2.0 cm de altura. El control de plagas: lepidópteros, coleópteros y hemípteros se realizó con 2 aplicaciones de *Malathion* (1L·ha<sup>-1</sup> en 200 L de agua), 5 d antes de la floración. Las enfermedades: “ojo de pescado o *Dothiorella* sp, pudrición del tallo o *Erwinia carotovora*” y antracnosis o *Colletotrichum* sp.; se controlaron eliminando de las partes vegetales afectadas y retiradas del huerto.

### 2.4 Registro de datos

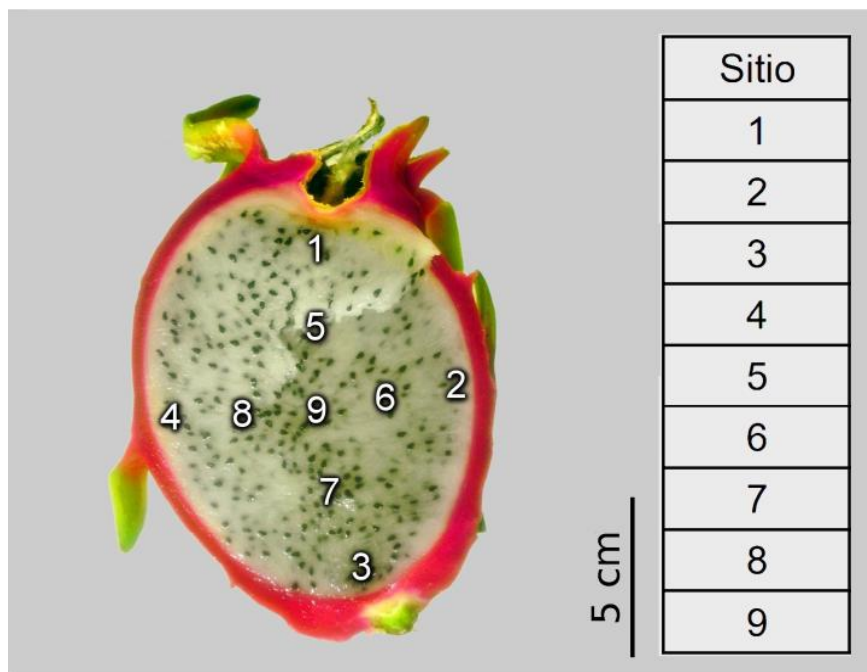
De febrero a noviembre de 2008 y 2009 se registró la emisión de yemas florales (fecha y número de yemas de 2-3 mm), número de flores que llegaron a antesis y fecha de madurez del fruto cada 8, 10 y 4 d, respectivamente. Se cuantificó el aborto de yemas florales y flores (fecha y cantidad). La unidad experimental fue de una planta con cinco repeticiones por genotipo. Con los datos obtenidos se determinaron: los flujos de yemas florales, flujo más

productivo, yemas florales en el flujo más productivo (cantidad y porcentaje), yemas florales totales por planta; los periodos (días) de: brotación de yema floral-antesis, antesis-madurez de fruto y brotación de yema floral-madurez de fruto; también las relaciones: flores/yemas florales, frutos/flores y frutos/yemas florales en porcentaje. Adicionalmente, los datos de aborto se agruparon en dos secciones: **a)** días a aborto después del aborto de yemas reproductivas y, **b)** días a aborto de flores después de antesis.

El rendimiento agronómico por planta se calculó a partir del número de frutos y su peso promedio (g). En 2009 en 15 frutos por planta, cosechados aleatoriamente, se midieron los diámetros polar y ecuatorial (cm), el peso (g) de pulpa y pericarpio se determinaron con una balanza digital (Asep<sup>®</sup>, modelo EY-2200). El color del exocarpio se determinó con un colorímetro Minolta<sup>®</sup> (modelo 200CR, EE.UU.) en escala CIE L\*a\*b\*, en el diámetro ecuatorial de cada fruto, mediante lectura directa en cuatro puntos; dos en un sitio y dos en el lado opuesto. Con los registros se calcularon las variables: ángulo de matiz (arco tan b\*/a\*) y luminosidad (L). La firmeza (kg\*cm<sup>2</sup>), fuerza requerida para penetrar la pericarpio, se determinó con un penetrómetro manual (Fruit Pressure Tester<sup>®</sup> modelo FT 011; EE. UU.) provisto con un puntal cónico de 8 mm de diámetro, en cuatro sitios distintos de la parte media del diámetro polar del fruto (dos en el lado con mayor coloración y dos en el lado contrario).

La concentración de sólidos solubles totales (° Brix) se midió con un refractómetro manual (Daigger, 0-32 %, resolución 0.2%), las muestras se obtuvieron de la pulpa en diferentes sitios: 1) centro, 2) en cada extremo del diámetro ecuatorial y polar (a 2 mm de la periferia) y,

3) en la distancia media entre el extremo ecuatorial y polar con respecto al centro del fruto, respectivamente (**Figura 1**). La acidez titulable (expresada como % ácido málico) de la pulpa se midió con la metodología descrita por AOAC (1999).



**Figura 1.** Sitios en el fruto de pitahaya (*Hylocereus* spp.) donde se determinó la concentración de sólidos solubles totales (°Brix).

## 2.5 Precipitación, temperatura máxima y mínima

Se utilizaron los datos de temperatura máxima y mínima y precipitación diarias, para obtener el promedio de estas variables cada 10 d. Fueron adquiridos de la estación meteorológica número 17049 ubicada en Tepoztlán, Morelos, a 18°59'07''LN y 99°05'59''LW (García,



1981), aproximadamente a 4.5 km de la parcela del cultivo. Se evaluaron las variaciones dentro y entre los ciclos productivos para analizar su posible efecto en la fenología de *Hylocereus* spp.

## 2.6 Análisis de datos

Se utilizó un modelo fijo:  $Y_{ijk} = \mu + G_i + C_j + G_i \times C_j + \epsilon_{ijk}$ ; donde  $Y_{ijk}$  es la respuesta al efecto de los tratamientos;  $G_i$ ,  $C_j$  y  $G_i \times C_j$  son las variables fijas: genotipo, ciclo de evaluación y la interacción genotipo\*ciclo de evaluación; mientras que,  $\epsilon_{ijk}$  corresponde al error experimental.

Previamente se aplicaron dos pruebas: de normalidad y de homogeneidad de varianza a los datos de cada variable por tratamiento, para verificar el cumplimiento de estos supuestos aplicados a la estadística paramétrica. Posteriormente, se efectuó el análisis de varianza y comparación de medias con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) y, prueba de Duncan ( $p \leq 0.01$ ) para interacción genotipo\*ciclo de evaluación en las variables; brotación de yemas florales-antesis, antesis a madurez de fruto y brotación de yemas florales-madurez de fruto. De la misma manera se realizó un análisis multivariado en las variables: días de brotación de yema floral-antesis, días de antesis-madurez de fruto, días de brotación de yema floral-madurez de fruto; y, producción de yemas florales, flores y frutos, utilizando el paquete estadístico SAS<sup>®</sup> (Statistical Analysis System Ver. 9.0).

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Precipitación, temperatura máxima y mínima

Las diferencias entre temperaturas medias mensuales fueron altamente significativas, por su variación estacional. Además, resultó significativa en esta investigación la interacción ciclos de evaluación X meses, para las variables temperatura máxima y precipitación; es decir, variaron con los meses y los ciclos de evaluación. (Cuadro 2).

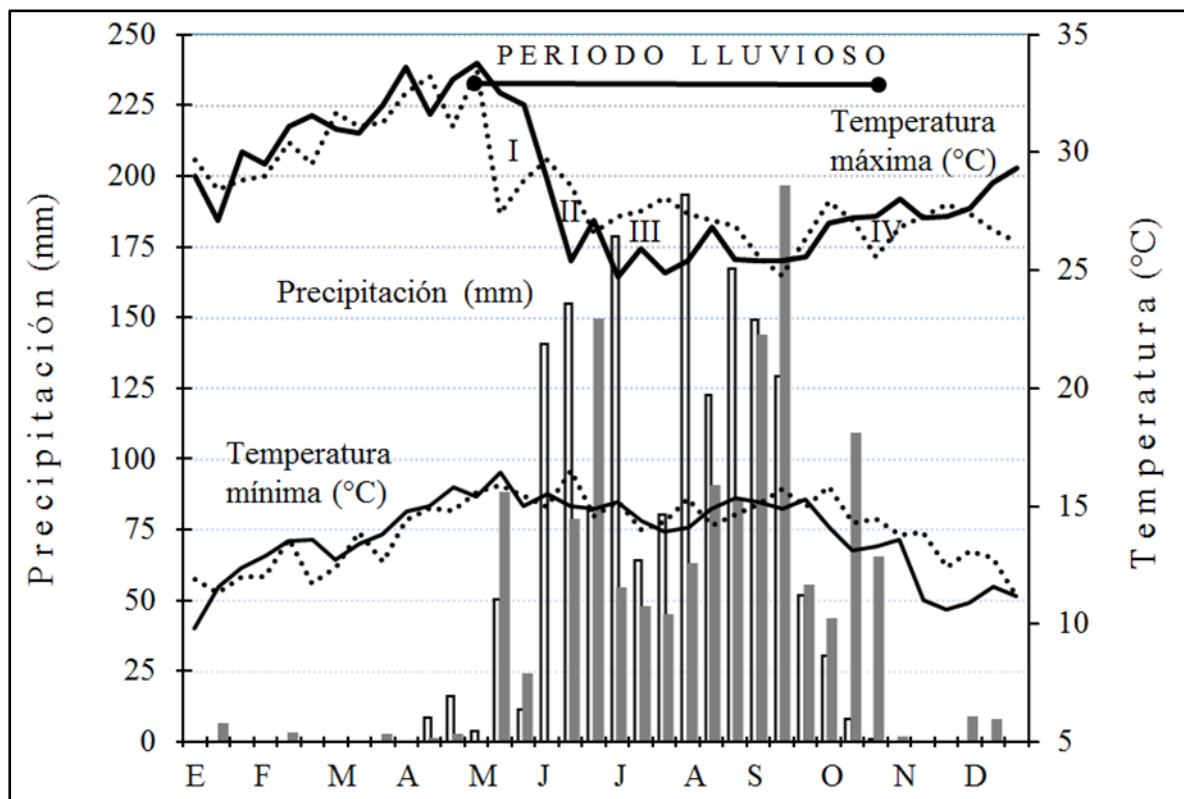
**Cuadro 2.** Nivel de significancia, desviación estándar ( $R^2$ ) y coeficiente de variación (C.V.) para la temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación durante 2008 y 2009 a través de ciclos de evaluación, meses y la interacción ciclos de evaluación x meses.

VARIABLE METEOROLÓGICA	CICLOS DE EVALUACIÓN	MESES	CICLOS DE EVALUACIÓN*MESES	$R^2$	C.V.
Temperatura máxima	NS	**	*	0.86	3.8
Temperatura mínima	NS	**	NS	0.84	5.3
Precipitación	NS	**	*	0.79	75.9

\*\* Altamente significativo; \*significativo; y NS, no significativo. Ciclos de evaluación X meses, representa la interacción entre estas variables.

Con base en los datos meteorológicos, la temperatura máxima durante el año fue superior a 25°C y alcanzó valores de 34°C a finales de abril y al inicio de mayo (Figura 2);

en 2008 y 2009 la temperatura mínima fue superior a 10 °C, alcanzando valores inferiores a 16°C (Figura 2); la precipitación inició en mayo y terminó en octubre. El año 2008 fue más lluvioso que 2009. En ambos ciclos de evaluación, se presentaron marcadas disminuciones de la precipitación pluvial en el periodo más lluvioso del año en 3 o 4 ocasiones y una muy notoria, durante el mes de julio (Figura 2).



**Figura 2.** Precipitación, temperatura máxima y mínima en 2008 y 2009, en Tepoztlán, Morelos. Las líneas punteadas representan las variables del año 2008 y las continuas las del año 2009. Las líneas oscuras representan la temperatura mínima, las barras sin relleno la precipitación de 2008 y las sólidas 2009.

### 3.1 Fenología

#### 3.1.1 Flujos de yemas florales

Los flujos de yemas florales (FYF) que presentaron los genotipos, se muestran en el Cuadro 3. En 2008 CP-178 presentó el mayor número de flujos (11) y el 6to flujo fue más el productivo, con 28 yemas florales (18%), y con 153 yemas florales por planta (YFPP); CP-182 presentó el menor número de flujos (4) y el primero fue el más productivo con 14 YF (61%). CP-152 y CP-154 presentaron el mismo número de FYF (9); por último, CP-171 y CP-175 presentaron el menor número de FYF (5). En 2009 CP-152 presentó el mayor número de flujos (7) y el FMP fue el cuarto, con 55 YF (59%), y con un total de 95 YFPP; CP-175 presentó menor número de flujos (4) y el primero fue el más productivo, con 17 YF (55%), y con un total de 31 YFPP (Cuadro 3). En 2008, CP-152, CP-154, CP-175 y CP-178 tuvieron más flujos que en 2009. En 2008 los FYF fueron más variables, de 4 (CP-182) a 11 (CP-178); mientras que en 2009 variaron menos, de 4 (CP-154) a 7 (CP-152 y CP-178). CP-171 tuvo 5 FYF en 2008 y 2009, respectivamente. Las YFFMP en CP-171 fueron de 4, en 2008 y 2009; mientras que en los demás genotipos fueron variables (Cuadro 3). La producción de YFPP fue superior en el año 2008 en CP-154 (62) y CP-178 (153), y en 2009 CP-152, CP-171 (28), CP-175 (31) y CP-182 (65) presentaron la mayor cantidad de YFPP (Cuadro 3). Estos resultados demuestran que dependiendo del genotipo, y ambiente (año) los flujos varían de 4 a 11, a diferencia de los 3 que se indican para un genotipo de *Hylocereus undatus* (Castillo y Ortíz, 1994).

**Cuadro 3.** Flujos de yemas florales (FYF), flujo más productivo (FMP), yemas florales en flujo más productivo (YFFMP), yemas florales por planta (YFPP) en Tepoztlán, Morelos.

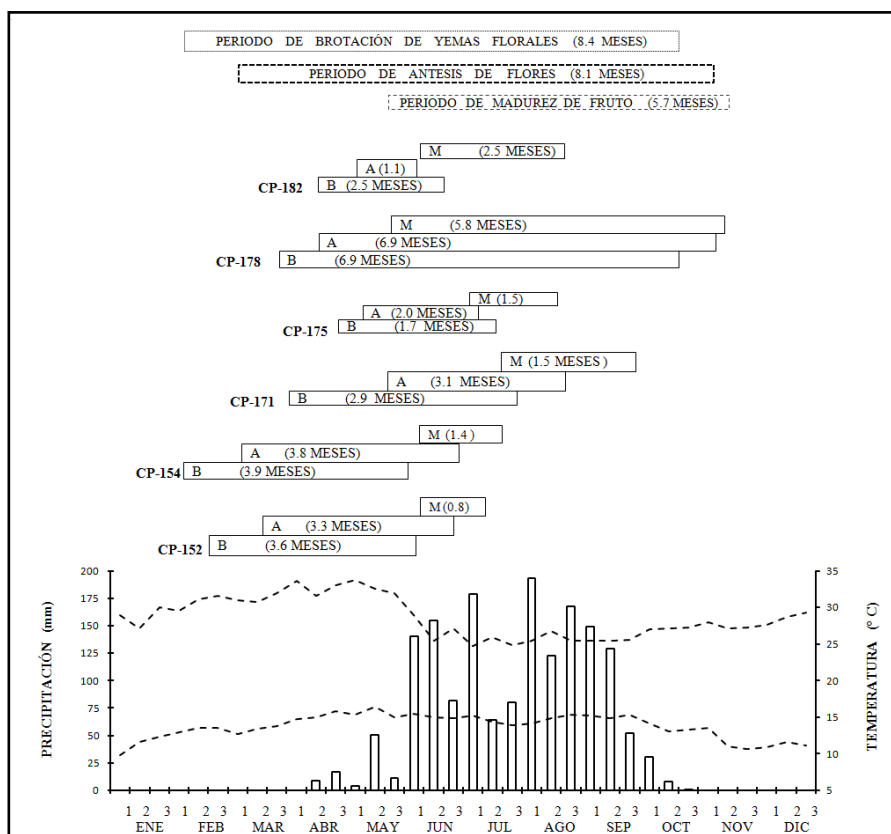
GENOTIPO	2008				2009			
	FYF	FMP	YFFMP	YFPP	FYF	FMP	YFFMP	YFPP
<b>CP-152</b>	9	5to	26 (41%)	64	7	4to	55 (59%)	95
<b>CP-154</b>	9	6to	17 (27%)	62	6	2do	46 (89%)	52
<b>CP-171</b>	5	4to	14 (69%)	21	5	4to	12 (49%)	28
<b>CP-175</b>	5	4to	8 (49%)	16	4	1ero	17 (55%)	31
<b>CP-178</b>	11	6to	28 (18%)	153	7	4to	19 (31%)	63
<b>CP-182</b>	4	1ero	14 (61%)	24	5	2do	32 (50%)	65

### 3.1.2 Fechas de brotación de yemas florales

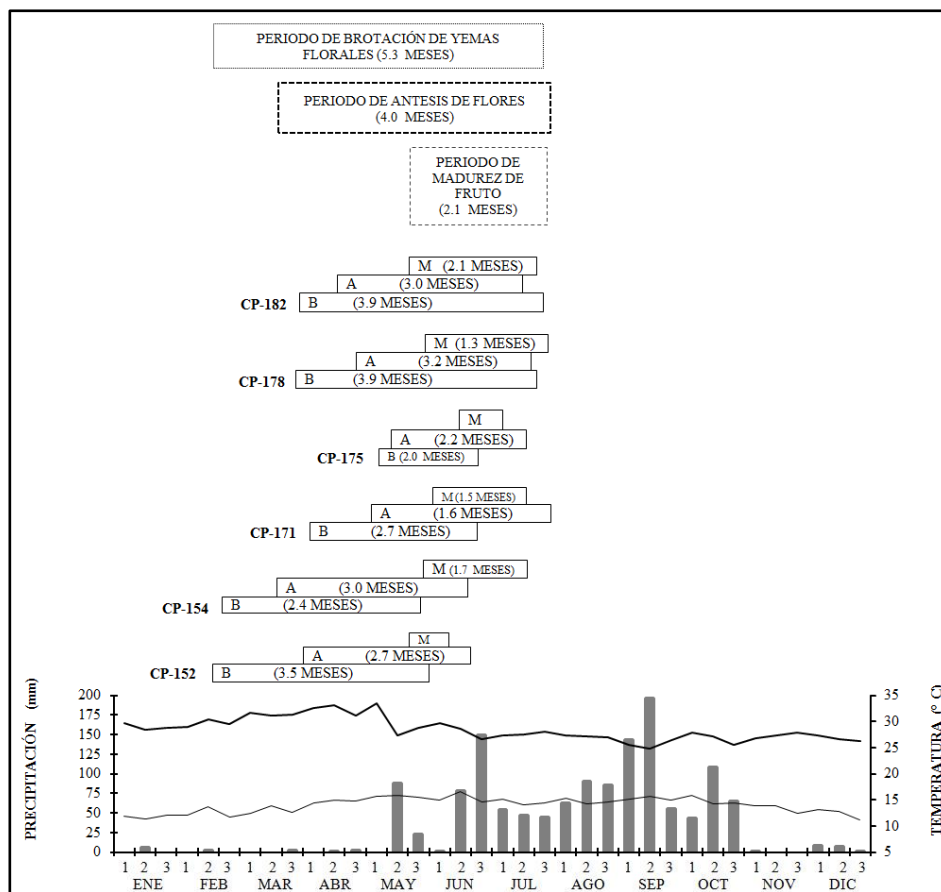
La brotación de yemas florales (B) ocurrió aproximadamente durante 8 meses durante 2008 y se redujo a 4 meses en 2009 (Figura 3 y 4) considerando los seis genotipos evaluados. La B se presentó desde febrero en los genotipos CP-152 y CP-154 y de finales de marzo a fines de abril en los genotipos CP-178, CP-171, CP-182 y CP-175 en ambos ciclos (Figura 3 y 4). La duración del periodo de B fue contrastante, de 1.7 meses en CP-175 a 6.9 meses con el

genotipo CP-178 en 2008 (Figura 3); para 2009 dicho periodo se redujo y ocurrió en menor tiempo de 2.0 a 3.9 meses en los seis genotipos (Figura 4).

Existen pocos trabajos publicados que mencionen las fechas y duración de BYF en *Hylocereus* spp. Los resultados encontrados en CP-171 (01 de junio-27 de julio, 2 meses) y CP-175 (25 de abril-16 de junio, casi 2 meses), de exocarpio rosa y pulpa blanca, similares a las características de *H. undatus*, difieren en duración del período (un mes) y fechas de ocurrencia (29 de abril, 10 de mayo y 01 de junio) con lo reportado para las condiciones de Zaachila, Oaxaca (Castillo y Ortíz, 1994).



**Figura 3.** Periodos de brotación de yemas florales (B), de antesis de flores (A), y de madurez de fruto (M) en *Hylocereus* spp., en Tepoztlán, Morelos, durante 2008.



**Figura 4.** Periodos de brotación de yemas florales (B), de antesis de flores (A), y de madurez de fruto (M) en *Hylocereus* spp., en Tepoztlán, Morelos, durante 2009.

### 3.1.3 Fechas de antesis de flores

La antesis de flores (A) ocurrió aproximadamente durante 5 meses durante 2008 (Figura 3) y se redujo a 4 meses en 2009 (Figura 4) considerando los seis genotipos evaluados; se presentó desde marzo en CP-154 y CP-152 y desde abril en CP-178, y durante mayo los genotipos CP-175 y CP-171 en 2008 y 2009; excepto el genotipo CP-182 que durante 2008 se presentó en abril y en 2009 ocurrió durante mayo (Figura 3 y 4). La duración del periodo de A fue

mayor en 2008 desde 1.1 a 6.9 en 2008 y de 1.6 a 3.2 en 2009 considerando los seis genotipos evaluados (Figura 4).

En los genotipos CP-171 y CP-175, con características típicas de *H. undatus*, la antesis duró del 23 de mayo al 23 de agosto y del 08 de mayo al 06 de julio, respectivamente. Castillo y Ortíz (1994) reportaron que este período se presentó del 17 de mayo, 6 de junio y 12 de julio en tres flujos. La AF de CP-182, (exocarpio amarillo claro y pulpa blanca) fue del 06 de mayo al 07 de junio, lo que contrasta con lo reportado por Cáliz de Dios y Castillo (2008) en *Hylocereus undatus* (Haw.) Britt. & Rose subsp. *luteocarpus* quienes encontraron que la época más fuerte de floración es desde finales de mayo a principios de agosto.

#### **3.1.4 Fechas de madurez de fruto**

La madurez fisiológica del fruto (M) ocurrió casi durante 6 meses durante 2008 (Figura 3) y se redujo a 2.1 meses en 2009 (Figura 4) considerando los seis genotipos evaluados. La M se presentó desde mayo en el genotipo CP-178 y durante junio los genotipos 152, 154 y 182, y por último CP-171 y CP-175 en el mes de julio durante 2008 (Figura 3); mientras que durante 2009 solo en el mes de mayo (CP-152, CP-154, CP-178 y CP-182) y junio se presentó la M (Figura 4). La duración del periodo de M de varió de 0.8 a 5.8 meses en 2008 (Figura 3) y fue para 2009 se presentó de 0.6 a 2.1 meses en los seis genotipos (Figura 3 y 4).

De acuerdo a diversos autores, el periodo de fructificación de *Hylocereus undatus* inicia en los primeros días de junio (Centurión *et al.*, 2008), o también se ha observado que la fructificación ocurre en tres períodos correspondientes a los flujos de yemas y flores: mayo-junio, junio-julio



y julio-septiembre (Castillo y Ortíz, 1994). El patrón reproductivo fue marcadamente estacional en algunos genotipos (CP-171, CP-175), característica que también ocurre en *Opuntia* y cactáceas columnares tales como: *Neobuxbaumia macrocephala*, *N. mezcalensis* y *N. tetetzo* (Esparza y Valverde, 2003).

### **3.1.5 Periodo de brotación de yemas florales a antesis (BA)**

En 2008, el periodo de brotación a antesis (BA) fue significativamente más corto para CP-175 y CP-182 (21 y 20 d); y fue similar en CP-152, CP-154, CP-171 y CP-178) con duración de 23 a 25 d. En 2009, los períodos significativamente más cortos correspondieron a CP-182, CP-175 y CP-178 y fueron de 17 a 19 d. CP-154 mostró 26 d y en CP-152 y CP-171 fueron 24 y 21 d (Cuadro 4). En un genotipo de *H. undatus* de pulpa blanca y exocarpio ligeramente rosa, semejante a CP-171 y CP-175, se registraron 10, 21 y 31 d, para el primer, segundo y tercer periodo de brotación de yemas florales a antesis, respectivamente (Castillo y Ortiz, 1994). Dos genotipos de *H. purpusii*, de pulpa y exocarpio rojo y cultivados en invernadero a 24 ° C, tuvieron períodos más largos (33 y 34 d) de los que se determinaron en este estudio; y clones de estos mismos genotipos, plantados a la intemperie (18.1°C) incrementaron este periodo a 40 y 41 d (Juárez *et al.*, 2009).

**Cuadro 4.** Periodo de brotación de la yema a antesis (BA), antesis a madurez de fruto (AM) y brotación de la yema a madurez de fruto (BM) en días.

GENOTIPO	Periodo fenológico					
	2008			2009		
	BA	AM	BM	BA	AM	BM
CP-152	25 a	39 a	65 a	24 ab	37 bcd	61 ab
CP-154	24 a	41 a	65 a	26 a	38 abc	63 a
CP-171	23 a	40 a	63 a	21 bc	34 cd	51 c
CP-175	21 b	40 a	62 a	19 cd	32 d	48 c
CP-178	23 a	34 a	56 a	19 cd	40 ab	59 ab
CP-182	20 b	41 a	60 a	17 d	42 a	57 b
Media general	23	39	61	21	37	56

Medias con la misma letra por columna son estadísticamente iguales (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

### 3.1.6 Periodo de antesis a madurez de fruto (AM)

En 2008, el periodo AM, no fue significativamente diferente entre los genotipos (34-41 d) con 7 d de diferencia (Cuadro 4). En cambio, en 2009 sí se observaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) con 10 d de diferencia. Este periodo fue de 42 d para CP-182, superior a los 32 d que requirió CP-175; en CP-178, CP-154 y CP-152 el período de antesis a madurez del fruto fue 37 a 40 d, mientras que este periodo fue de 32 a 34 d para CP-171 y CP-175. El genotipo CP-

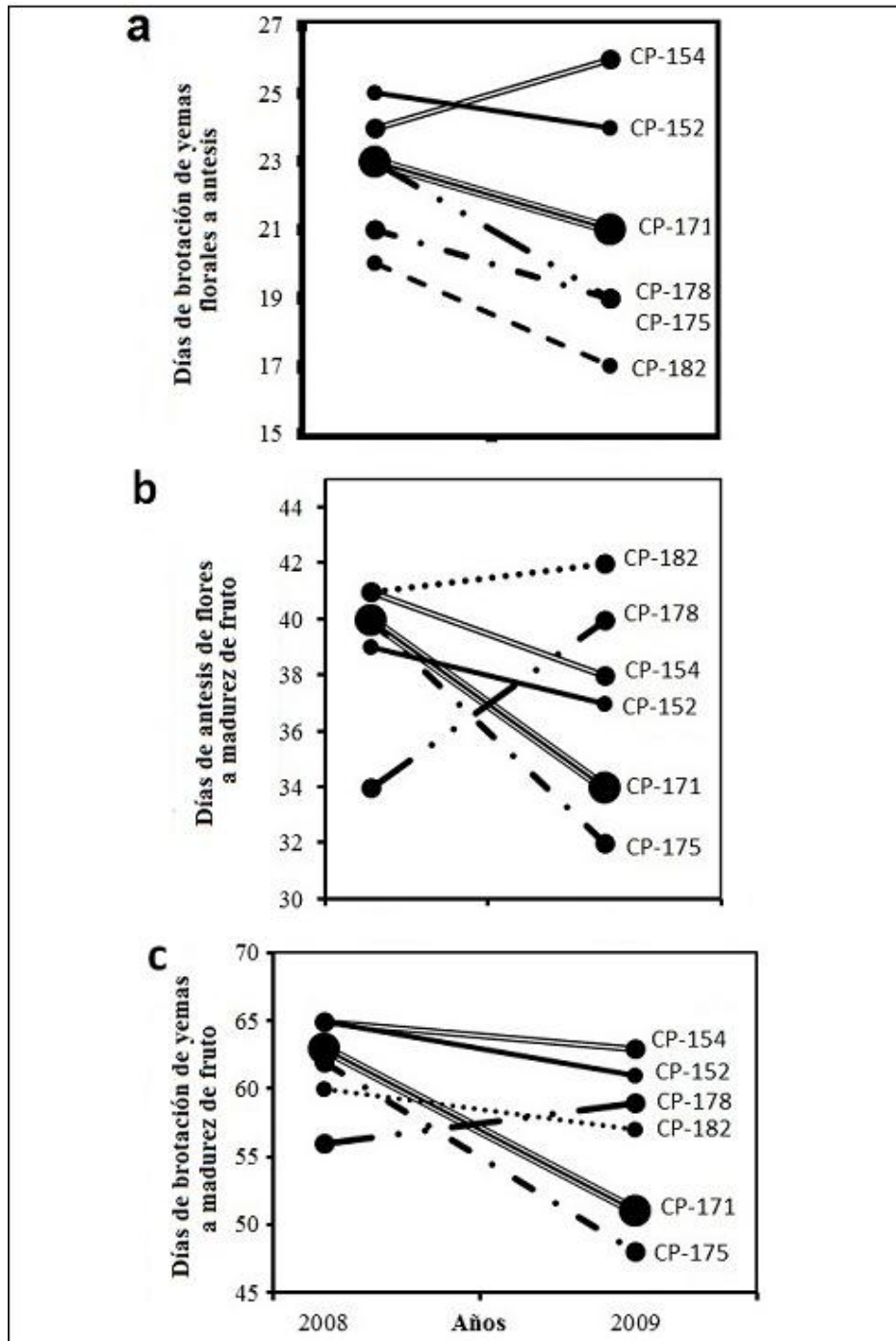
182 tuvo los períodos de antesis a madurez fisiológica más largos en los dos años (Cuadro 4). El período más corto en 2008 lo tuvo CP-178 (34 d) y en 2009 CP-175 (32 d) (Cuadro 4).

Otros autores han encontrado períodos similares; en *H. undatus* la maduración del fruto ocurrió a los 31, 36-41 y 39-41 d para el primer, segundo y tercer flujo con 10 d de diferencia entre la maduración de fruto del primer al tercer flujo (Castillo y Ortiz, 1994). En esta misma especie se han reportado valores de 28 y 30 d (To *et al.*, 2002) y de 29 a 31 d (Centurión *et al.*, 2008). Para *H. purpusii*, la maduración del fruto fue de 38 y 39 d en dos genotipos cultivados a temperatura media de 18 ° C, y disminuyó de 8 a 10 d cuando se cultivó a 24.6 ° C (29 y 30 d) (Juárez *et al.*, 2009).

### **3.1.8 Interacción ciclo productivo X genotipo en BA, AM y BM**

La interacción ciclo productivo X genotipo fue significativa ( $P \leq 0.01$ ) en BA ( $R^2 = 0.80$ , C.V.=20), AM ( $R^2 = 0.87$ , C.V.=7.7) y BM ( $R^2 = 0.67$ , C.V.=7.3). La duración de las etapas o períodos fue afectada por el ciclo o año. Cinco genotipos (CP-152, CP-171, CP-175, CP-178 y CP-182) tuvieron un período BA menor en 2009 respecto al que tuvieron 2008 y entre ellos destaca el último genotipo con el menor período BA en 2009. El genotipo CP-178 fue el más sensible al ambiente ya que representa la línea con la pendiente mayor (negativa). En contraste, BA aumentó para CP-175 (Figura 5a). AM disminuyó en los genotipos CP-152, CP-154, CP-171 y CP-175 mientras que aumentó en CP-178 y CP-182. Un genotipo sobresaliente fue CP-175, el cual disminuyó AM hasta 8 d por lo que es el genotipo más sensible al ambiente (Figura 5b). La BM de cinco de seis genotipos evaluados (CP-152, CP-154, CP-171,

CP-175 y CP-182) disminuyó en 2009; en dos genotipos (CP-171 y CP-175) BM disminuyó en 12 a 14 d, y sólo la BM de CP-178 incrementó 3 d para este periodo fenológico (Figura 5c). Lo anterior coincide con lo reportado por Castillo y Ortíz (1994), quienes atribuyen la disminución de AB y AM, al incremento de la temperatura en dichos periodos fenológicos. También se ha observado variabilidad en el tiempo de producción de estructuras reproductivas en otras cactáceas, y esto podría explicarse por la diversidad de hábitat en que se adaptan estas especies (Esparza y Valverde, 2003) lo que sugiere que los materiales evaluados provienen de colectas de ambientes diversos.



**Figura 5.** Interacción genotipo X ciclo en los períodos de: a) brotación de yemas florales a antesis (BA), b) antesis a madurez del fruto (AM), y c) brotación de yemas florales a madurez del fruto (BM).

## 3.2 Producción de yemas florales, flores y frutos

### 3.2.1 Producción de yemas florales

En 2008, CP-178 presentó el mayor número de yemas florales (YF) (156) (Cuadro 5). El genotipo CP-152 produjo 79 YF y fue numéricamente superior a CP-182 y CP-154 con 65 y 52 YF; mientras que la menor producción ocurrió en CP-178, CP-175 y CP-171 con 37, 35 y 28 YF, respectivamente. En 2009 la mayor producción correspondió a CP-152 (79) y no hubo diferencias significativas entre los demás genotipos, que produjeron entre 28-65 YF. Dos genotipos (CP-171 y CP-175), mostraron la menor producción (20 y 28) en ambos ciclos productivos (2008 y 2009) (Cuadro 5).

La producción de yemas florales de CP-178 y CP-152 fue superior a 69, 59 y 50 yemas florales reportadas para *Hylocereus polyrhizus* de 18 meses de edad, en tres sistemas de soporte de los tallos: poste, “T” y “V”, respectivamente (Martini *et al.*, 2008). Se ha observado que la producción de yemas florales de *H. undatus* incrementa con la edad de la planta hasta el cuarto ciclo productivo (0, 18, 44 y 69 yemas florales); a partir del quinto año disminuyó el número de yemas florales (34) debido a la falta de formación de tallos en el año inmediato anterior, situación que disminuyó la cantidad de areolas, necesarias para la producción de yemas florales (Osuna *et al.*, 2007).

**Cuadro 5.** Producción de yemas florales, flores y frutos, de seis genotipos de pitahaya. Tepoztlán, Morelos.

GENOTIPO	Ciclo 2008			Ciclo 2009		
	Yemas florales	Flores	Frutos	Yemas florales	Flores	Frutos
CP-152	65 b	44 ab	4 a	79 a	54 a	13 a
CP-154	62 b	44 ab	4 a	52 ab	38 ab	15 a
CP-171	20 b	11 bc	6 a	28 b	18 b	8 a
CP-175	15 b	10 c	5 a	35 b	26 b	16 a
CP-178	156 a	55 a	3 a	37 b	16 b	7 a
CP-182	28 b	21 bc	9 a	65 ab	52 a	13 a
Media general	58	30	5	49	34	12

Medias con la misma letra, sin diferencias estadísticas significativas (Tukey,  $p \leq 0.05$ )

### 3.2.2 Producción de flores

Durante 2008, CP-178 obtuvo la mayor producción de flores (F) con 55 F; le siguieron CP-152 y CP-154 con 44 F y CP-171 obtuvo la menor producción (11 F) (Cuadro 5). En cambio en el 2009, los genotipos CP-152 y CP-182 fueron los que tuvieron el mayor número de flores (54 y 52 F), y en cambio CP-178, que el año previo había obtenido el mayor número de flores,

fue el que menos flores produjo (16 F). La variación en la producción de F puede deberse a factores como la temperatura y el nivel de radiación solar (Nerd *et al.*, 2002) o la cantidad de tallos producidos en el año inmediato anterior (Osuna *et al.*, 2007); en *Opuntia excelsa* se ha encontrado una relación lineal positiva entre la producción de flores y el número de cladodios totales de (Gutiérrez, 2000).

### **3.2.3 Producción de frutos**

En ningún año se observaron diferencias estadísticas entre genotipos en la producción de frutos producidos por planta (Fr) (Cuadro 5) que fue de 3 a 9 y de 7 a 15 Fr en 2008 y 2009, respectivamente. En 2009 hubo mayor producción debido probablemente a la edad de la planta. El número de fruto por planta reportado en *H. undatus* en esta investigación, fue menor a los 34 y 19 frutos por planta obtenidos en el cuarto y quinto ciclo (Osuna *et al.*, 2007) similar a los ciclos evaluados en la presente investigación. Al igual que en el número de flores, se ha observado que aumenta el número de frutos en *H. undatus* conforme incrementa la edad de la planta (Osuna *et al.*, 2006; Osuna *et al.*, 2007); en la investigación de Osuna *et al.*, (2007), la producción de frutos incrementó en los primeros cuatro ciclos de producción (0, 7, 22 y 31) y en el quinto disminuyó (19) por falta de formación de tallos el año previo. Se observó en esta investigación que la lluvia también afectó negativamente el número de Fr producidos, ya que disminuyó el amarre cuando hubo una precipitación pluvial durante la anthesis, esta sensibilidad también se ha observado en flores de almendro (Muncharaz, 2004).



### 3.2.4 Análisis de componentes principales

La producción de yemas florales (YF) estuvo asociada con la producción de flores (F) y frutos (Fr), lo que indica que la mayor o menor producción de YF, resulta en un incremento o decremento de F y Fr, como ocurre en *H. polyrhizus* (Martini *et al.*, 2008). Sin embargo, la producción de órganos reproductivos (YF, F y Fr) no influyó en la duración de los periodos de desarrollo. El periodo de brotación de yemas florales a antesis (BA) está asociado a la duración de las etapas de antesis a madurez de fruto (AM) y de brotación de yemas florales a desarrollo de fruto (BM); si una de estas etapas es modificada por la influencia de factores ambientales, repercute en la duración de los otros periodos de desarrollo (Cuadro 6) y se sabe que un incremento de temperatura influye en el acortamiento de las etapas fenológicas en especies *H. undatus* (Castillo y Ortíz, 1994), *H. purpusii* (Juárez *et al.*, 2005) y en tres especies de *Neobuxbaumia* spp. (Esparza y Valverde, 2003), hasta cierto punto, ya que temperaturas >38 °C y salinidad hídrica (EC=0.8-0.9 dS m<sup>-1</sup>) inhiben la producción de fruto (Nerd *et al.*, 2002).

**Cuadro 6.** Asociación entre producción de órganos reproductivos y periodos fenológicos de seis genotipos de pitahaya (*Hylocereus* spp.) en Tepoztlán, Morelos. 2008 y 2009.

	Producción de órganos reproductivos			Períodos fenológicos		
	YF	F	Fr	BA	AM	BM
YF		**	**			
F			**			
Fr						
BA					**	**
AM						
BM						

\*\* Altamente significativo.

Órganos reproductivos: YF= yemas florales, F=flores y Fr=frutos; periodos fenológicos: periodo de brotación de yemas florales a antesis (BA), antesis a madurez de fruto (AM), brotación de yemas florales a madurez de fruto (BM).

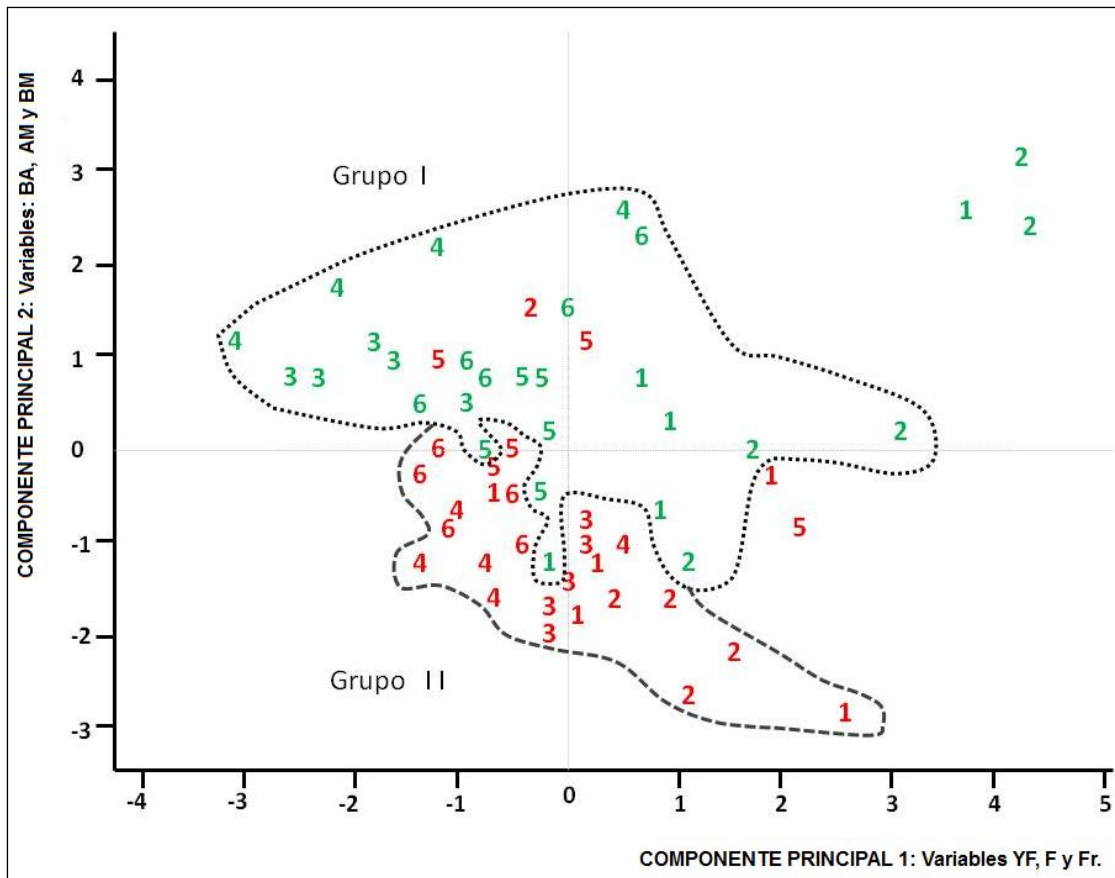
Del Cuadro 7, se desprende que las variables con mayor participación en el Componente Principal 1, son las referentes a los órganos reproductivos (YF y F) por presentar los valores más altos de Eigenvectores (valores resaltados). Mientras que el Componente Principal 2, los valores corresponden a los periodos de duración del desarrollo floral (AM y BM). Ambos componentes principales, explican poco más del 70% de la variación del fenómeno estudiado.

**Cuadro 7.** Relación de componentes principales en la valoración de la fenología y capacidad productiva de seis genotipos de pitahaya.

Variable	Componentes principales (Eigenvectores)	
	CP 1	CP 2
YF	<b>0.45</b>	0.44
F	<b>0.46</b>	0.44
Fr	0.31	0.30
BA	0.37	-0.21
AM	0.41	<b>-0.50</b>
BM	<b>0.44</b>	<b>-0.47</b>
$\lambda =$	2.42	1.96
Diferencias	0.46	1.12
Proporción	0.40	0.32
Proporción acumulada	0.40	0.73

( $\lambda$ )= valor propio.

En el plano conformado con los componentes principales 1 (CP1) y componentes principales 2(CP2) (Figura 6), se observa la dispersión de los genotipos formando dos grupos. De la tendencia del Grupo I, del ciclo de producción 2009 (plantas de 5 años de edad) se puede afirmar que por efecto temperatura máxima asociada a una menor precipitación en este ambiente (Cuadro 6), las plantas pueden incrementar la duración de los periodos fenológicos. El Grupo II, es del ciclo reproductivo 2008 (plantas de 4 años de edad), y se observa que hubo una disminución de la duración de los periodos fenológicos BA, AM y BM; durante este año la temperatura mínima y máxima fue más estable (Figura 2) y ocurrió una mayor precipitación comparado con 2009 (Figura 2); adicionalmente, la temperatura máxima y la precipitación fue estadísticamente significativa en 2008 y 2009 (Cuadro 6). Aunque se desconoce la temperatura óptima para BA, AM y BM, se infiere que en este año se presentaron las condiciones más propicias para acelerar el crecimiento y desarrollo de yemas florales, flores y frutos, propiciando la reducción de los periodos fenológicos mencionados.



**Figura 6.** Componentes principales. Números en color rojo representan año 2008 y los de color verde año 2009; 1=CP-152, 2= CP-154, 3=CP-171, 4=CP-175, 5=CP-178 y 6=CP-182.

### 3.3 Proporción de Flores/Yemas Florales, Frutos/Flores y Frutos/Yemas Florales

#### 3.3.1 Proporción de Flores/Yemas Florales

En ningún genotipo, el total de las yemas florales produjeron el 100% de flores; el porcentaje de flores que llegaron a antesis (F/YFP, %) fluctuó entre 32-78% en 2008 y de 56-83% en 2009. Los porcentajes más altos los presentó CP-182 (78 y 83 % en 2008 y en 2009,

respectivamente) (Cuadro 8). Por el contrario, los porcentajes menores los presentó CP-178 (32 y 56% en 2008 y 2009, respectivamente). El porcentaje de flores producidas fue similar en los años 2008 y 2009 en cinco genotipos (CP-152, CP-154, CP-171, CP-175 y CP-182) todos superiores a 54% (Cuadro 8). Estos porcentajes son menores a los reportados en *H. undatus*, donde 80% de las yemas florales produjeron flores (Castillo y Ortíz, 1994).

### **3.3.2 Proporción Frutos/Flores**

Este porcentaje fluctuó entre 7-54% en 2008 con diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) y de 24-55% en 2009 sin diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre los genotipos. En 2008 el mayor porcentaje lo presentó CP-171 (54%) y en 2009 CP-178 (55%) (Cuadro 8). En 2008 el menor porcentaje lo presentó CP-178 (7%) y en 2009 CP-152 (24%). La relación amarre de Fr/F producidas en cuatro genotipos (CP-152, CP-154, CP-175 y CP-178) fue superior (24, 40, 54 y 55%) durante el año 2009 comparado con el año 2008 (9, 9, 44 y 7%). Los genotipos CP-171 y CP-182 tuvieron mayor porcentaje de amarre (54 y 41%) en el año 2008, en contraste con el año 2009 (44 y 26%) (Cuadro 8). La producción de frutos en cactáceas columnares, a partir de la formación de flores, puede variar en una misma especie entre 20 y 80%, resultado del transporte de polen por polinizadores diurnos o nocturnos (Bustamante y Búrquez, 2005); y a las condiciones de climáticas como presencia o ausencia de lluvias (Petit, 2001); en varias especies de *Opuntia* que crecen en campo abierto producen un mayor número de flores que plantas sombreadas (Gutiérrez, 2000). Por lo que existe variabilidad en la producción de flores entre especies, sitios y ciclos de producción (Bustamante y Burquez, 2005).

### 3.3.3 Proporción de Frutos/Yemas Florales

Esta relación fluctuó entre 2 y 32% en 2008, con diferencias significativas y 15 a 42% en 2009 sin diferencias significativas. El mayor porcentaje de frutos en 2008 lo presentó CP-182 (32%) y en 2009 CP-175 (42%) (Cuadro 8). En 2008 el menor porcentaje lo tuvo CP-178 (2%) y en 2009 fue CP-152 (15%). En cinco genotipos (CP-152, CP-154, CP-171, CP-175 y CP-178) los porcentajes fueron superiores en el año 2009 (15, 29, 29, 42 y 35%) comparado con el año 2008 (6, 7, 27 y 2%); en 2008 CP-182 mostró el mayor porcentaje (32%), pero en 2009 bajó a 22% (Cuadro 8).

**Cuadro 8.** Porcentajes de flores producidas por yemas florales, frutos por flores y frutos por yemas florales.

GENOTIPO	Ciclo 2008			Ciclo 2009		
	Flores producidas por yemas florales	Frutos producidos por flores	Frutos producidos por yemas florales	Flores producidas por yemas florales	Frutos producidos por flores	Frutos producidos por yemas florales
	Porcentaje (%)			Porcentaje (%)		
CP-152	69 a	9 b	6 bc	67 a	24 a	15 a
CP-154	72 a	9 b	7 bc	75 a	40 a	29 a
CP-171	54 ab	54 a	27 ab	64 a	44 a	29 a
CP-175	62 a	44 a	29 ab	76 a	54 a	42 a
CP-178	32 b	7 b	2 c	56 a	55 a	35 a
CP-182	78 a	41 a	32 a	83 a	26 a	22 a
Media general	61	27	17	70	40	29

Medias con la misma letra en cada columna, indican que no hay diferencia estadística significativa (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

### **3.4 Cantidad de yemas florales y flores abortadas**

El porcentaje de órganos abortados se puede deducir de los datos presentados en el Cuadro 8; sin embargo debido a su importancia, se presentan en el Cuadro 9; en la Figura 7 se presentan los periodos de ocurrencia.

#### **3.4.1 Cantidad de yemas florales abortadas**

En 2008 durante el periodo de BA, hubo mayor diferencia en la variación del porcentaje de aborto de YF (46 %) comparado con el año 2009 (37%) en los seis genotipos (Cuadro 9). Cinco de seis genotipos (CP-154, CP-171, CP-175, CP-178 y CP-182) mostraron mayor porcentaje (28, 46, 38, 68 y 22 % de YF) de aborto en 2008 comparado con 2009 (25, 36, 24, 44 y 17 % de YF) (Cuadro 9). Los genotipos CP-152 y CP-154 fueron más estables en el porcentaje de aborto de YF en ambos ciclos (31 a 33 y 28 a 25 % de YF). Los genotipos CP-178 y CP-182 presentaron el mayor (68 y 44 %) y menor (22 y 17 %) porcentaje de aborto de YF en 2008 y 2009, respectivamente (Cuadro 9).

Castillo y Ortíz (1994) encontraron en un clon de *H. undatus* que 20% de los botones florales de cada flujo detuvieron su crecimiento durante los primeros 15 d y que generalmente corresponden a los producidos al final de cada periodo. En *Hylocereus polyrhizus*, el sistema de conducción del tallo en poste mostró menor porcentaje (20%) de flores abortadas, comparado con los sistemas “T” (24%) y “V” (26%) (Martini, 2008). En esta investigación se

observó que las yemas que abortaron cambiaron de color, de verde a amarillo, y se desprendieron de la areola; pero otras se secaron y persistieron en la rama, aún después de secarse. El aborto puede deberse a varias causas, entre las que se pueden considerar altas temperaturas, altos niveles de radiación solar, etc. Otra causa probable, es la carencia de fotosintatos y energía por exceso de producción en el ciclo productivo anterior y competencia con otras yemas florales, flores y frutos creciendo al mismo tiempo (Castillo y Ortíz, 1994). Además, se observó que algunas yemas florales fueron sensibles a la manipulación durante el registro de datos al inicio de su brotación, ya que abortaron aproximadamente 8 d después de dicho evento. También, se observó invasión de larvas de lepidópteros que de acuerdo con Piña *et al.*, (2007) pueden causar aborto de yemas florales (25%) en *Opuntia microdasys* (Cactaceae). Recientemente, se descubrió que *Ozamia fuscomaculella clarefacta* Dyar es un lepidóptero depredador que se alimenta de yemas florales, flores y frutos de *Hylocereus* spp. y también se señala que otras especies de los órdenes Hemíptera y Coleóptera atacan estos órganos (Ramírez, 2011). El aborto se considera un mecanismo de sobrevivencia, y también ocurre en especies silvestres, fomentadas o en proceso de domesticación (Valient *et al.*, 2007).

### **3.4.2 Cantidad de flores abortadas**

En 2008 durante el periodo de AM, hubo mayor diferencia en la variación del porcentaje de aborto de F (47 %) comparado con el año 2009 que tuvo 31% en los seis genotipos (Cuadro 9). Cuatro de seis genotipos (CP-154, CP-154, CP-175 y CP-178) mostraron mayor porcentaje (91, 91, 56 y 93 % de YF) de aborto en 2008 comparado con 2009 (76, 60, 46 y 45 % de F) (Cuadro 9). Los genotipos CP-178, CP-152, CP-154 tuvieron los mayores porcentajes de



aborto de F (93, 91 y 91 % F), y de estos, únicamente CP-152 presentó alto porcentaje de aborto en 2009 (76 % de F). Los genotipos CP-171 y CP-175 tuvieron los menores porcentajes de aborto que oscilaron entre 46 a 56 % de F y presentaron mayor estabilidad en esta característica en 2008 y 2009 (Cuadro 9). Los porcentajes de aborto (45 a 96 % de F) registrados en los seis genotipos evaluados en el presente estudio, son superiores a 21, 24 y 28 % reportados para los sistemas de conducción de la planta en poste, espalderas “T” y “V”, respectivamente (Martini, 2008); y este fenómeno se atribuye a efectos de estrés por diversos factores: clima, diferencias en fertilización y falta de carbohidratos (Martini, 2008), entre otros. En Pitahaya, se conoce que la auto-incompatibilidad causa aborto de flores, y esto se observa una semana después de la antesis (Castillo *et al.*, 2005); dicha característica se reportó en un genotipo con fruto de color de exocarpio amarillo (Castillo *et al.*, 2003), similar al genotipo CP-182 evaluado en esta investigación y que en este caso mostró un comportamiento distinto.

En el presente estudio, se observó la caída de flores después de una lluvia que ocurrió durante la antesis; probablemente este fenómeno meteorológico afectó la polinización, ya que desplazó el mucilago del estigma, lo que dificultó la permanencia del polen en el estigma para su germinación y fecundación.

**Cuadro 9.** Porcentaje de yemas florales (YF) y flores (F) abortadas de seis genotipos de pitahaya durante 2008 y 2009.

GENOTIPO	Ciclo 2008		Ciclo 2009	
	YF (%)	F (%)	YF (%)	F (%)
CP-152	31 b	91 a	33 a	76 a
CP-154	28 b	91 a	25 a	60 a
CP-171	46 ab	46 b	36 a	56 a
CP-175	38 b	56 b	24 a	46 a
CP-178	68 a	93 a	44 a	45 a
CP-182	22 b	59 b	17 a	74 a
Media General	39	73	30	59

Medias con misma letra por columna, son estadísticamente iguales (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

### 3.5 Días a aborto de yemas florales y flores

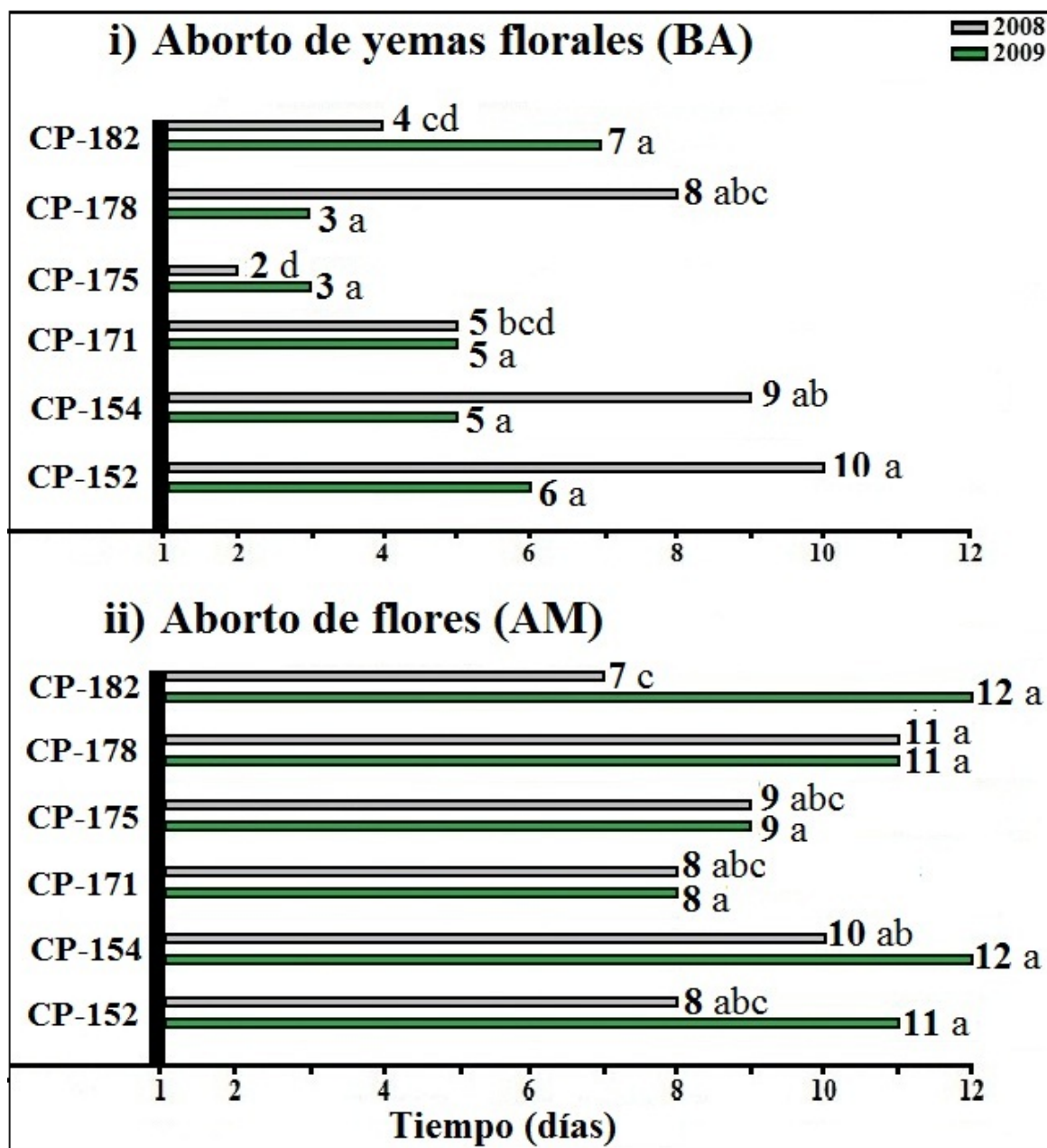
#### 3.5.1 Días a aborto de yemas florales

El aborto de YF de los seis genotipos evaluados ocurrió entre 2 y 10 d después de la brotación (Tukey,  $p \leq 0.05$ ); mientras que en 2009 se presentó de 3 a 7 d después, sin diferencia estadística (Tukey,  $p \leq 0.05$ ) (Figura 7-i). El genotipo CP-171 presentó 5 d al aborto de YF durante 2008 y 2009; en tanto que, CP-175 presentó el aborto más pronto, en 2 o 3 días

después de emerger en ambos años evaluados (Figura 7-i). Estos tiempos concuerdan con Castillo y Ortíz, (1994) quienes mencionan que el periodo de aborto de YF fue durante los primeros 15 d. Estos resultados indican que existe variabilidad entre los genotipos y que las condiciones climáticas prevalecientes en el año inciden en la amplitud o acortamiento del tiempo al aborto y que generalmente ocurre en los primero 10 d después de la brotación de YF.

### **3.5.2 Días a aborto en flores**

En los seis genotipos evaluados el aborto de F aconteció de 7 a 12 d después de antesis en 2008 y 2009, respectivamente (Figura 7-ii). Se ha mencionado que el aborto de F sucede 8 d después de la antesis (Castillo *et al.*, 2005). Tres genotipos de seis, CP-171, CP-175 y CP-178, presentaron los mismos días al aborto de F de 8, 9 y 10 d, respectivamente, en 2008 y 2009 (Figura 7-ii). Aunque pueden influir diversos factores (Martini *et al.*, 2008), se conoce que la principal causa del aborto en la etapa de AM es por auto-incompatibilidad (Castillo *et al.*, 2003; Castillo *et al.*, 2005).



Medias con misma letra sin diferencias estadísticas significativas (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

**Figura 7.** Días a aborto de yemas florales de BA (i) y de AM (ii), en seis genotipos de pitahaya, durante 2008 y 2009.

### 3.6 Rendimiento de fruto

El rendimiento promedio de los genotipos fue de 1.5 y 3.1 kg/planta<sup>-1</sup> en 2008 y 2009, sin diferencias significativas entre los genotipos en ninguno de los dos años (Cuadro 10). Si se considera el número de flujos de yemas reproductivas y flores, se puede decir que los genotipos estudiados tienen alto potencial productivo; sin embargo, los estados de desarrollo BA y AM han resultado críticos porque en ellos se presenta un alto porcentaje de aborto de órganos, entre 17 a 68% YF y de 45 a 93% de F, lo que impide la expresión de este potencial de rendimiento de fruto.

La densidad de plantas es un componente importante del rendimiento; en este caso se utilizó una densidad de 500 plantas ha<sup>-1</sup>, con lo cual los rendimientos máximos obtenidos en 2008 de 2.7 kg/planta<sup>-1</sup> en CP-171 y en 2009 de 5 kg/planta<sup>-1</sup> en CP-175 equivalen a 1,350 kg/planta<sup>-1</sup> y 2,500 kg/planta<sup>-1</sup>. El rendimiento puede aumentarse si se incrementa la densidad de población de 500 a 1000 o 2000 plantas ha<sup>-1</sup>, como se cultiva en otras regiones del mundo a cielo abierto o bajo invernadero (Nerd *et al.*, 2002; Martini *et al.*, 2008). Con la densidad de 1,000 y 2,000 plantas ha<sup>-1</sup> y el máximo rendimiento que se presentó en 2009 en el genotipo CP-175, se estima que se podrían producir 5 y 10 t ha<sup>-1</sup>.

En varios tipos de pitahaya se han reportado problemas de autoincompatibilidad; en pitahaya de exocarpio amarillo y pulpa blanca y en las de exocarpio rojo-púrpura y pulpa de color rojo o magenta (Castillo *et al.*, 2005). *H. undatus*, de exocarpio rojo púrpura y pulpa blanca similar a las características presentes en CP 171 y CP 175, está reportada como auto fértil (Castillo *et al.*, 2005).

Otro aspecto importante que hay que considerar es que estos rendimientos se obtuvieron bajo polinización libre, bajo el supuesto de que hay suficientes polinizadores, murciélagos y palomillas nocturnas, lo cual no se ha evaluado. La falta de polinizadores es un problema en algunos países donde se ha introducido la pitahaya y la polinización tiene que ser manual, como en Israel (Nerd *et al.*, 2002) y Malaysia (Martini *et al.*, 2008).

**Cuadro 10.** Rendimiento de fruto de seis genotipos de pitahaya durante 2008 y 2009.

GENOTIPO	Producción (kg·planta <sup>-1</sup> )	
	Ciclo 2008	Ciclo 2009
CP-152	0.7 a	1.4 a
CP-154	0.5 a	1.8 a
CP-171	2.7 a	4.2 a
CP-175	2.7 a	5.0 a
CP-178	0.6 a	3.6 a
CP-182	1.6 a	2.8 a
<b>Media General</b>	<b>1.5</b>	<b>3.1</b>

Medias con la misma letra por columna, son estadísticamente iguales (Tukey,  $p \leq 0.05$ )

### **3.7 Calidad de fruto**

#### **3.7.1 El diámetro de fruto**

En cuanto al diámetro del fruto, CP-171 tuvo 7.8 cm y fue superior a CP-175 y CP-178 con 7.5 y 6.5 cm; mientras que, CP-182 y CP-154 mostraron 5.6 y 5.2; por último, CP-152 presentó 5.2 cm (Cuadro 11). En *H. Polyrhizus* el diámetro del fruto fue de 9.70 cm y sin efecto significativo por el sistema de conducción del tallo (sistema en “V”, en “T” y poste) (Martini *et al.*, 2008); mientras que en *H. undatus* reportaron un cambio continuo durante el crecimiento, 31 d después de floración alcanzó 8.2 cm (Centurión *et al.*, 2008); esta misma especie en el verano y otoño en Sinaloa, México (29- 26 °C) alcanzó un diámetro promedio de 7.9 cm (Osuna *et al.*, 2007).

#### **3.7.2 Longitud de fruto**

CP-175 presentó 11.5 cm y fue superior a CP-171, CP-182 y CP-178 con 10.7, 9.5 y 8.3 cm; por último, CP-152 y CP-154 con 5 cm ambos genotipos (Cuadro 11). En *H. Polyrhizus* la longitud del fruto oscila entre 9.7-9.98 cm, mientras que en *H. undatus* se reportó 8.9 cm (Centurión *et al.*, 2008); para esta misma especie bajo condiciones de verano y otoño en Sinaloa, México (29-26 °C) alcanzó una longitud de fruto promedio de 14.3 cm (Osuna *et al.*, 2007).

**Cuadro 11.** Diámetro, longitud, grosor de pericarpio y firmeza de pulpa en seis genotipos de *Hylocereus* spp.

<b>GENOTIPO</b>	<b>Diámetro</b> (cm)	<b>Longitud</b> (cm)	<b>Grosor de pericarpio</b> (mm)	<b>Firmeza</b> (kg)
CP-152	5.2 d	8.0 c	2.6 b	0.40 c
CP-154	5.2 cd	7.7 c	2.2 b	0.40 c
CP-171	7.8 a	10.7 ab	4.2 a	0.55 b
CP-175	7.5 ab	11.5 a	3.8 a	0.55 b
CP-178	6.5 bc	8.3 bc	4.1 a	0.47 bc
CP-182	5.6 cd	9.5 abc	3.9 a	0.85 a

Medias con la misma letra por columna, sin diferencias estadísticas significativas (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

### 3.7.3 Grosor de pericarpio

El grosor de pericarpio fue estadísticamente diferente ( $p \leq 0.05$ ) en los seis genotipos evaluados. Cuatro genotipos (CP-175, CP-182, CP-178 y CP-171) tuvieron grosores entre 3.8 y 4.2 mm y dos genotipos: CP-152 y CP-154 2.2 y 2.6 mm (Cuadro 11). Castillo *et al.*, (2005), reportaron en tres clones de *H. undatus* de exocarpio rojizo grosores de 3.5-3.7 mm, lo cual es menor a lo encontrado en cuatro genotipos (CP-171, CP-178, CP-182 y CP-175) de esta



investigación. En un genotipo de color de exocarpio amarillo claro, similar al genotipo CP-182, el grosor del pericarpio fue 3.9 mm mientras que el pericarpio más delgado se encontró en un clon de *H. undatus* con 2.6 mm (Castillo *et al.*, 2005).

#### **3.7.4 Firmeza**

El genotipo CP-182 tuvo una firmeza de 0.85 kg cm<sup>2</sup> y fue superior a CP-178 con 0.47 kg cm<sup>2</sup>; CP-171 y CP-175, registraron valores idénticos de 0.55 kg cm<sup>2</sup>; y lo mismo ocurrió para CP-152 y CP-154 con 0.40 kg cm<sup>2</sup> (Cuadro 11). En *H. undatus* se ha reportado que la firmeza en pulpa disminuyó de 0.97 a 0.62 Kg cm<sup>2</sup> de 25 a 31 d después de antesis (Centurión *et al.*, 2008); durante el almacenamiento del fruto también disminuyó de 2.4 a 0.3 kg cm<sup>2</sup> de 1 a 3 semanas a 6 °C; en estas mismas condiciones de almacenamiento, la firmeza de *H. polyrhizus* disminuyó de 2.7 a 0.4 kg cm<sup>2</sup> (Nerd, *et al.*, 1999).

#### **3.7.5 Peso de fruto fresco**

Respecto a peso de fruto fresco, CP-175 y CP-171 produjeron los frutos de mayor tamaño (416.7 g y 398.2 g) superando a los producidos por CP-178 con 304.4 g; los frutos de menor peso fueron de los genotipos CP-182, CP-152 y CP-154 con 159.1, 132.7 y 132.7 g, respectivamente (Cuadro 12). Esta misma especie bajo condiciones de verano y otoño en Sinaloa, México (29-26 °C) alcanzó un peso promedio de fruto de 442 g (Osuna *et al.*, 2007).

**Cuadro 12.** Peso de fruto, pericarpio, pulpa con semillas, proporción pulpa/peso de fruto y rendimiento de jugo, en seis genotipos de pitahaya.

GENOTIPO	Peso (g)			Pulpa/fruto	Rendimiento
	Fruto	Pericarpio	Pulpa	(%)	de jugo (ml/100 g de pulpa)
CP-152	132.7 c	68.8 c	55.6 b	41.9 b	74.8 a
CP-154	132.7 c	66.6 c	53.8 b	40.5 b	65.9 a
CP-171	398.2 ab	97.5 b	224.8 a	56.5 b	74.4 a
CP-175	416.7 a	140.6 a	192.2 a	46.1 b	85.6 a
CP-178	304.4 b	57.9 c	214.1 a	70.3 a	68.9 a
CP-182	159.1 c	98.4 b	128.3 ab	80.6 a	69.2 a
Media					
General	257.3	88.3	144.8	55.9	73.1

Medias con la misma letra por columna, sin diferencias estadísticas significativas (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

### 3.7.6 Peso de pericarpio en fresco

El peso de pericarpio en fresco fue entre 57.9 a 140.6 g con diferencias estadísticas (Tukey,  $p \leq 0.05$ ) entre genotipos (Cuadro 12). El genotipo CP-175 tuvo 140.6 g, superior a los genotipos CP-171 y CP-182 (97.5 y 98.4 g); tres genotipos, CP-152, CP-154 y CP-178 tuvieron pesos entre 57.9 y 68.8 g (Cuadro 12). Dos clones de *H. undatus* (de exocarpio rojo y pulpa blanca) mostraron 105.3 g (Castillo *et al.*, 2003) y 110.5 g (Castillo *et al.*, 2005), estos pesos son menores a 140.6 g del pericarpio mostrado en el genotipo CP-175, de color de pulpa blanca pero de exocarpio rosa. El genotipo CP-182 de exocarpio amarillo claro y pulpa blanca mostró 98.4 g y fue inferior a 120.5 g de peso de pericarpio reportado en un clon de *H. undatus*, de exocarpio amarillo claro y pulpa blanca con 120.5 g (Castillo *et al.*, 2005), pero superior a 85.9 g presentado por otro genotipo con características similares a CP-182 (Castillo *et al.*, 2003). Dos genotipos, CP-171 y CP-175 de exocarpio rosa y pulpa blanca, tuvieron pesos de pericarpio en fresco de 97.5 g y 140.6 g; y únicamente CP-175 fue superior a dos genotipos de *H. undatus* (con características de color de fruto interno similares a CP-171 y CP-175) evaluados en las condiciones ambientales de Yucatán, con pesos de 118.2 g y 116.5 g (Castillo *et al.*, 2005); aunque el genotipo CP-171 tuvo 97.5 g, siendo el más bajo en el presente estudio, fue superior a un genotipo con 72.4 g reportado por Castillo *et al.*, (2005). Por su parte, Centurión *et al.*, (2008) indicaron que en un clon de *H. undatus* el pericarpio del fruto constituyó 20.4 % a los 31 d después de antesis, con un peso de 94.8 g, y consideran que conforme disminuye el peso, el pericarpio es más delgado y puede causar mayor sensibilidad al agrietamiento de fruto y daños en postcosecha (Centurión *et al.*, 2008).

### 3.7.7 Peso de pulpa en fresco

Esta variable mostró diferencias estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ) entre genotipos (Cuadro 12). Tres genotipos CP-171, CP-178 y CP-175, de exocarpio rosa y pulpa blanca, excepto CP-178 que tiene exocarpio rojo y pulpa roja, mostraron 224.8, 214.1 g y 192.2 g, respectivamente (Cuadro 12). Dos genotipos, CP-152 y CP-154, ambos de exocarpio rosa y pulpa magenta, mostraron los menores pesos (55.6 g y 53.8 g (Cuadro 12).

Existe variabilidad en la misma especie, ya que se ha reportado en dos genotipos de *H. undatus* pesos de pulpa en fresco de 224.6 y 320.1 g (Castillo *et al.*, 2005). Centurión *et al.*, (2008) reportaron 368.9 g para frutos de 31 d después de antesis, cuando los frutos tienen mayor aceptación para consumo; un genotipo evaluado en Sinaloa, México tuvo 297.8 g (Osuna *et al.*, 2007); también se han reportado pesos de 139.6 g (Castillo *et al.*, 2005). En otro genotipo de *H. undatus*, el peso de pulpa varió de 231.9 g a 97.6 g en dos años consecutivos. En otro genotipo de exocarpio amarillo claro y pulpa blanca, similar al genotipo CP-182 el cual obtuvo 128.3 g de peso de pulpa en fresco, se reportan pesos mayores a los encontrados en esta investigación: 188.4 g (Castillo *et al.*, 2003) y 233.3 g (Castillo *et al.*, 2005). El genotipo CP-178, de exocarpio rojo y pulpa roja tuvo 214.1 g de peso en pulpa y fue inferior a 291.7 y 251.1 g, reportados en dos clones de *H. purpusii* con las mismas características internas y externas de fruto a éste último (Juárez *et al.*, 2005). Se conoce que a partir del día 20 después de antesis, la pulpa incrementa aceleradamente desde el inicio del primer cambio de color (25 d) hasta la madurez de fruto (31 d), así que a partir del primer cambio de color en el exocarpio, ocurre la mayor acumulación de la porción de pulpa del fruto (Centurión *et al.*, 2008).

### 3.7.8 Proporción pulpa/fruto

Los genotipos CP-182 y CP-178 tuvieron la proporciones pulpa/fruto más altas, con porcentajes de 80.6 % y 70.3 %, mientras que cuatro genotipos (CP-171, CP-175, CP-152 y CP-154) tuvieron porcentajes de 40 a 56.5 % (Cuadro 12).

Otros autores, han reportado la proporción pulpa/fruto en *H. undatus* con valores de 73 % (Castillo *et al.*, 2005), por su parte Osuna *et al.*, (2007) reportan 79 % a los 31 d después de anthesis, considerado como el inicio de madurez (Centurión *et al.*, 2008). En dos genotipos de *H. purpusii*, de color de cascara y pulpa roja, similar a CP-178 reportó 76.5 y 79.6% (Juárez *et al.*, 2009), valores cercanos a los máximos mostrados en CP-182 y CP-178 (80.6% y 70.3%).

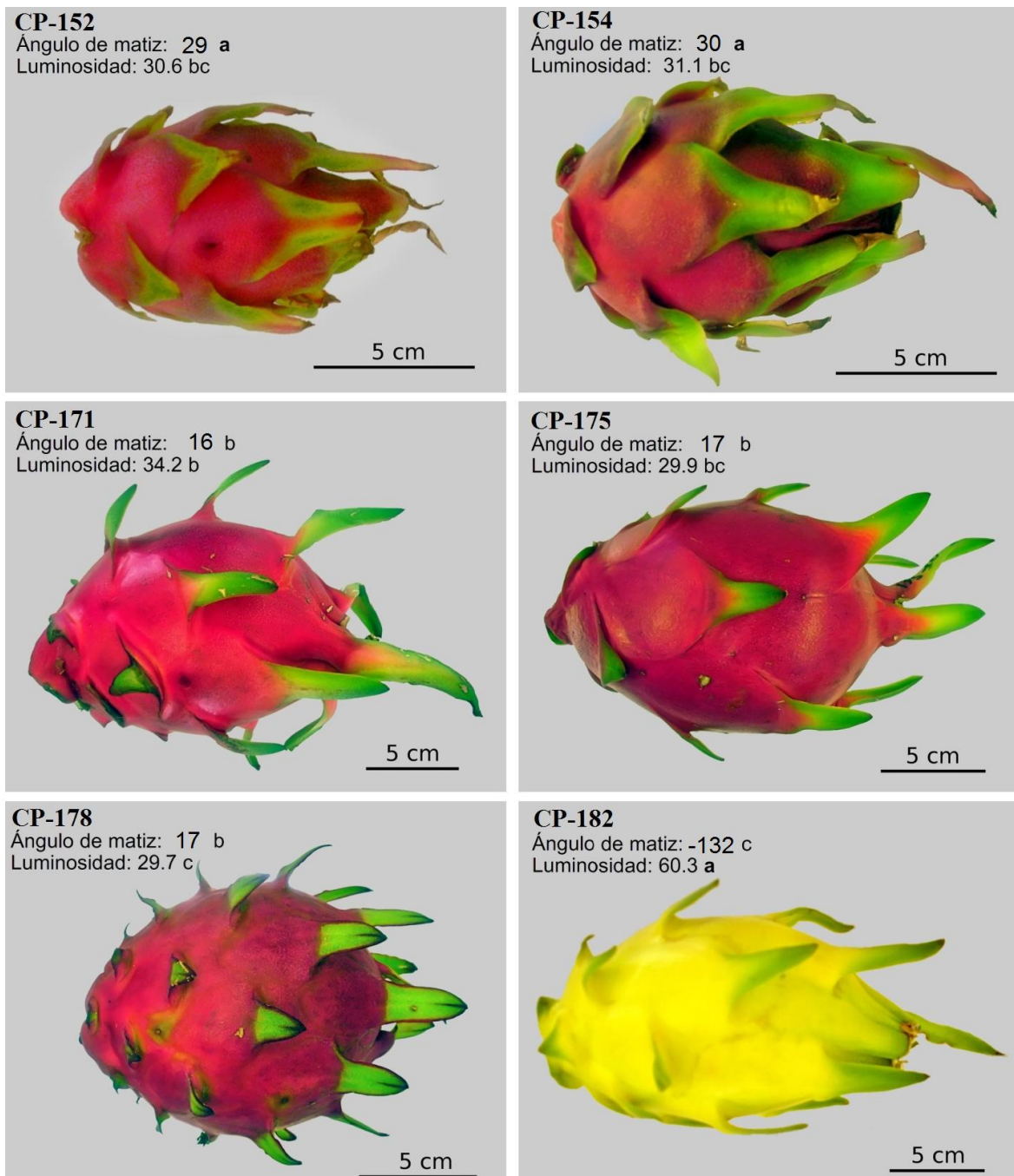
### 3.7.9 Rendimiento de jugo

El rendimiento de jugo del fruto no fue diferente estadísticamente entre genotipos ( $P \leq 0.05$ ) y fue entre 65.9 y 85.6 mL por 100 g de pulpa (Cuadro 12). El peso del jugo del fruto y las semillas, representa 55 % del peso de la pulpa de fruto en varios cultivares de pitahaya (Le Bellece *et al.*, 2006). En este estudio se observó que la extracción de jugo es difícil porque las semillas se adhieren al jugo el cual contiene mucílago viscoso y turbio. En los genotipos CP-178 de pulpa roja, y CP-152 y CP-154 de pulpa magenta fue más difícil extraer el jugo. Además, el jugo fue más fácil de extraer en los frutos de mayor tamaño.

### 3.7.10 Color del exocarpio del fruto

En cuanto a la apariencia externa del fruto, sin considerar las brácteas, los genotipos se agruparon en tres tipos de color con base en el ángulo de matiz: 1) CP-152 y CP-154 con 29° y 30°, que corresponden al color magenta; 2) CP-171, CP-175 y CP-178 con 16°, 17° y 17° que corresponden al color rojo; y, 3) CP-182 con 132° que corresponde al color amarillo claro (Figura 8). Otros autores, reportan un ángulo de matiz de 51° en *H. undatus* a los 31 días después de la apertura floral (Centurión *et al.*, 2008) valor que difiere a los determinados en CP-152 y CP-154 que fueron 29° y 30°. En la investigación de Arévalo y Ortíz (2004), reportan que el valor cambia de 33.8 a 36.5° y que este incremento hacia el día séptimo de almacenamiento, hace más atractivo el fruto por el color adquirido; pero disminuye su valor a 34° al día 8. El valor al inicio del almacenamiento (33.8°), es similar a los mostrados en CP-152 y CP-154 (29° y 30° que corresponden al color rojo). *H. polyrhizus*, tuvo matices de 31.1 a 32.9° (color rojo), sin encontrar efecto del sistema de cultivo (Martini, 2008).

Respecto al índice de luminosidad (brillantez del color), CP-182 obtuvo 60.3 (más brillante) y contrasta con el genotipo CP-178 que con 29.7 fue el menos brillante; los genotipos CP-175, CP-152, CP-154 y CP-171 mostraron valores similares de 29.9, 30.6, 31.1 y 34.2 (Figura 8). El índice de brillantes es importante para el consumidor de frutas; ya que, los contrastes en luminosidad permiten disponer los frutos en una presentación más atractiva. El índice de luminosidad en *H. undatus* no es afectado de manera drástica después de un periodo de ocho días en condiciones de almacenamiento, ya que cambió de 35.6 a 34.3 (Arévalo y Ortíz, 2004). En *H. polyrhizus* el índice de luminosidad fue 31.15 a 32.99 sin diferencias por efecto del sistema de conducción (Martini, 2008).



**Figura 8.** Color de fruto maduro (ángulo de matiz) y luminosidad, en seis genotipos de *Hylocereus* spp. Medias con la misma letra, sin diferencias estadísticas significativas (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

### 3.7.11 Contenido de sólidos solubles totales (SST)

El contenido de sólidos solubles totales (SST) de los frutos de los seis genotipos fue de 14.5 a 17.6 ° Brix (Cuadro 13). Los genotipos CP-178 y CP-182 mostraron el mayor (17.6 ° Brix) y menor (14.5 ° Brix) contenido de SST, con una diferencia de 3 unidades; cuatro genotipos (CP-152, CP-154, CP-171 y CP-175) tuvieron valores entre 15.1 a 16.5, con una mínima diferencia entre estos de 1.4 (Cuadro 13). Resultados similares fueron encontrados por Juárez *et al.*, (2009), quienes encontraron 16.6 y 17.2 ° Brix en dos genotipos (Techa-95-02 y Techa-95-04) de *H. purpusii* con pulpa roja. Por su parte, Livera *et al.*, (2010) reportan variedades seleccionadas de alta calidad: MX-CP-Zapata con fruto redondo de exocarpio rojo púrpura y pulpa blanca con 12 a 16 ° Brix y MX-CP-Dorada de fruto oblongo de exocarpio amarillo y pulpa blanca con 16 a 18 ° Brix. Así mismo, Merten, (2003) reportó 13 a 16 ° Brix en un genotipo de *H. undatus* cultivado en California, EE. UU. También se ha encontrado que en *H. undatus* se incrementó el contenido de SST conforme avanzaron los días después del corte, de 9.8 a 12.9 d, esta respuesta puede atribuirse a la pérdida de agua por la alta transpiración del fruto, concentrándose mayor cantidad de SST (Arévalo y Ortíz, 2004). En *H. polyrhizus* la diferencia en la concentración de SST fue altamente significativo por efecto del sistema de conducción de la planta, donde el contenido de SST fue mayor en los sistemas “T” (15.5%) y poste (15.38%) que en el sistema con espaldera en “V” (14.41%) (Martini *et al.*, 2008).

En este experimento CP-182 expresó el menor contenido de SST (14.5 ° Brix) (Cuadro 13), aunque existen reportes con valores más bajos: Castillo *et al.*, (2003) cuantificaron 11.9 ° Brix para un genotipo con frutos de exocarpio rojo y pulpa blanca; 11.3 ° Brix para un fruto con



exocarpio amarillo claro y pulpa blanca, sin encontrar efectos de xenia para SST. Por su parte, Encino *et al.*, (2011) evaluaron el efecto post-cosecha en frutos cosechados con madurez completa, media e inicial y encontraron que los valores más altos fueron al momento del corte en frutos con madurez completa e intermedia (13.6 y 12.4 ° Brix) y 12 d después de almacenamiento, los SST disminuyeron de 1 a 2 unidades. También Centurión *et al.*, (2008) reportaron que a 31 d después de anthesis los frutos alcanzaron el máximo de 12.6 ° Brix y con una alta relación entre el desarrollo de color en el exocarpio y el mayor nivel de preferencia del consumidor. En tanto que López *et al.*, (1998) reportaron valores entre 10.5 a 12.47 ° Brix en frutos de plantas de tres años de edad y concluyen que las aplicaciones de nitrógeno, fósforo, potasio y micronutrientes no muestran efectos significativos en este aspecto. Castillo *et al.*, (2005) reportaron en frutos con exocarpio rojo y pulpa blanca de cuatro genotipos valores de 10.9 a 14.1 ° Brix y 12.8 ° Brix en otro genotipo contrastante de exocarpio de color amarillo y pulpa blanca (Castillo *et al.*, 2005). Un aspecto importante que tiene efecto en la concentración de SST en la pulpa, es la exposición del fruto durante el crecimiento, a la luz y radiación solar, ya que se activa la formación de los pigmentos responsables de la coloración del exocarpio rojo, compuestos del grupo de las betacianinas (Castelar *et al.*, 2003) y los azúcares presentes en la pulpa (Castelar *et al.*, 2003; Wu *et al.*, 1997; Esquivel *et al.*, 2007). En este sentido, Martini *et al.*, (2008) probaron tres sistemas de conducción del tallo, usando un genotipo de *H. polyrhizus*. Estos autores encontraron efectos significativos del sistema de conducción de la planta en la concentración de SST (° Brix). Los SST más altos fueron 15.5 y 15.4 ° Brix en los sistemas con espaldera tipo “T” y con postes, mientras que el más bajo fue 14.4 ° Brix y se encontró en el sistema “V”.

**Cuadro 13.** Sólidos solubles totales (° Brix, SST), acidez (%), relación ° Brix/acidez y pH del fruto en seis genotipos de *Hylocereus* spp., en Tepoztlán, Morelos.

<b>GENOTIPO</b>	<b>SST (° Brix)</b>	<b>Acidez (%)</b>	<b>SST ° Brix/Acidez (%)</b>	<b>pH</b>
CP-152	15.7 bc	0.4 bc	47.1 a	5.0 b
CP-154	16.5 ab	0.4 bc	45.1 a	5.0 b
CP-171	15.3 bc	0.6 a	39.0 ab	5.4 ab
CP-175	15.1 bc	0.4 bc	40.5 ab	5.8 a
CP-178	17.6 a	0.5 ab	33.1 b	5.2 b
CP-182	14.5 c	0.3 c	48.6 a	5.3 ab
Media general	15.8	0.4	42.2	5.3

Medias con la misma letra en cada columna, sin diferencias estadísticas significativas (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

### 3.7.12 Acidez titulable

La acidez titulable expresada como contenido de ácido málico (%) mostró diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre los seis genotipos. El genotipo CP-171 con 0.6 % y CP- 182 (0.3 %) fueron contrastantes, esta diferencias representó 0.3% entre ambos genotipos (Cuadro 13). La acidez en los genotipos CP-152, CP-154 y CP-175 fue de 0.4 %, en todos los

casos (Cuadro 13). Los ácidos orgánicos presentes en frutos de *Hylocereus* sp., son cuatro: málico, cítrico, láctico y oxálico; el ácido málico es el que se presenta en mayor proporción (Esquivel *et al.*, 2007). La acidez en un genotipo de *H. undatus* fue de 0.36 % (Arévalo y Ortíz, 2004) y es similar a los valores de cuatro genotipos evaluados en esta investigación (CP-152, CP-154, CP-175 y CP-182), mientras que, 0.4 % fue reportado en *H. undatus* al día 31 después de anthesis (Centurión *et al.*, 2008), similar a los encontrados en los genotipos CP-152, CP-154 y CP-175 (Cuadro 13); reportes en frutos de esta misma especie, cosechados en madurez inicial, media y completa fueron de 0.92, 0.76 y 0.63 % al inicio del almacenamiento, y concluyeron 12 d posteriores con valores de 0.18, 0.14 y 0.10 %, respectivamente (Osuna *et al.*, 2011); esta disminución en el contenido de acidez por efecto del almacenamiento concuerda con 0.22 a 0.365 reportados por Arévalo y Ortíz, (2004); el momento de corte es importante ya que la acidez disminuye rápidamente Centurión *et al.*, (2008) encontraron que los frutos fueron más aceptados por su sabor 29 y 31 d después de la apertura floral. Por su parte, los frutos de *H. polyrhizus*, en el sistema de conducción “V” contenían 0.01 meq g<sup>-1</sup> de acidez titulable y 0.02 meq g<sup>-1</sup> en los frutos en el sistema de conducción del tallo en poste (Martini *et al.*, 2008) sin efecto significativo. Se conoce que la disminución de la acidez representa un problema en la pulpa de pitahaya, ya que este indicador no permite detectar el dulzor del fruto (Arévalo y Ortíz, 2004).

### 3.7.13 Relación ° Brix/acidez

Los genotipos CP-182, CP-152 y CP-154 obtuvieron la mayor relación ° Brix/acidez, 48.6, 47.1 y 45.1, respectivamente y contrastaron con el genotipo CP-178 que tuvo 33.1 con una diferencia de 9.6 unidades (Cuadro 13).

La relación ° Brix/acidez determina el gusto del consumo del fruto. En *H. undatus* 31.8 % y cambió de 26.8 a 58.6% durante ocho días de almacenamiento a 20 °C (Arévalo y Ortíz, 2004). Esta variable en *H. undatus* determina la aceptación del consumidor y valores entre 20.6 a 33.5, medidos de 29 a 31 d después anthesis, son los más adecuados. En *H. polyrhizus* se reportó 0.30 % de acidez total (Sornyatha *et al.*, 2009) y 0.24 % en *H. undatus* (Centurión *et al.*, 1999) con lo que mantiene un buen sabor; así mismo, Centurión *et al.*, (2008) indican que con 0.4 % de acidez y 35.5 de relación ° Brix/acidez (31 d después de la anthesis) es mayor la aceptación por el consumidor. Por su parte, To *et al.*, (2002) mostraron que la acidez titulable se mantuvo en 0.40 % de ácido cítrico en frutos maduros, y proponen que el mejor indicador del sabor en pitahaya es la relación ° Brix/acidez, cuyo valor ideal es de alrededor de 40. El porcentaje de ácido málico de los frutos cosechados en madurez inicial, media y completa fue de 0.92, 0.76 y 0.63 al inicio del almacenamiento y concluyeron 12 d posteriores con valores de 0.18, 0.14 y 0.10; asimismo, la mayor aceptación se observó entre los 10, 8 y 6 d de evaluación para madurez inicial, media y completa (Osuna *et al.*, 2011). Por otra parte, los frutos cosechados en madurez inicial mantuvieron la mejor relación ° Brix/acidez hasta 10 d después de almacenamiento, asociado a mayores niveles de firmeza, acidez y vitamina C

(Osuna *et al.*, 2011). Wills *et al.*, (1998) señalaron que la disminución de los ácidos orgánicos durante la maduración de los frutos se debe a que son utilizados como sustrato en la respiración. Adicionalmente, en el presente estudio se observó variación en el contenido de acidez entre genotipos. Esta característica se puede aprovechar en la preparación de platillos con sabor agridulce.

### **3.7.14 Valor de pH**

El genotipo CP-175 tuvo el pH más alto (5.8) y los genotipos CP-152 (5.0) y CP-154 (5.0) los más bajos (Cuadro 13) con una diferencia de 0.8. Esquivel *et al.*, (2007) reportan pH inferiores en *Hylocereus* spp. a los encontrados en este estudio (4.2 a 4.9) y valores de 4.3 a 4.7 fueron reportados por Stintzing y Carle, 2006 y difieren radicalmente a 1.7 en *H. undatus* subespecie *luteocarpus* (Cáliz y Castillo, 2008). Se conoce que un componente principal del jugo de pitahaya de pulpa roja, es la betacianina (Stintzing *et al.*, 2000; Stintzing *et al.*, 2001; Sornyatha *et al.*, 2009); la estabilidad de las propiedades de este compuesto es bajo condiciones de oscuridad, a 40 °C y un pH 4.5 a 5.5 (Sornyatha *et al.*, 2009). Los pigmentos de la pitahaya de pulpa roja, mantienen su apariencia en un ámbito de pH amplio y soportan altas temperaturas; esta característica es importante si los colorantes se usan combinados con alimentos de baja acidez durante el procesamiento de alimentos (Stintzing *et al.*, 2000).

### 3.7.15 Sólidos Solubles Totales (° Brix) en diferentes sitios en la pulpa

Se encontró que dicho contenido es variable ( $p \leq 0.05$ ); se observó un gradiente de los sólidos solubles totales, mayor en la parte central de la pulpa y menor (hasta en 7 unidades) en la periferia (Figura 9):

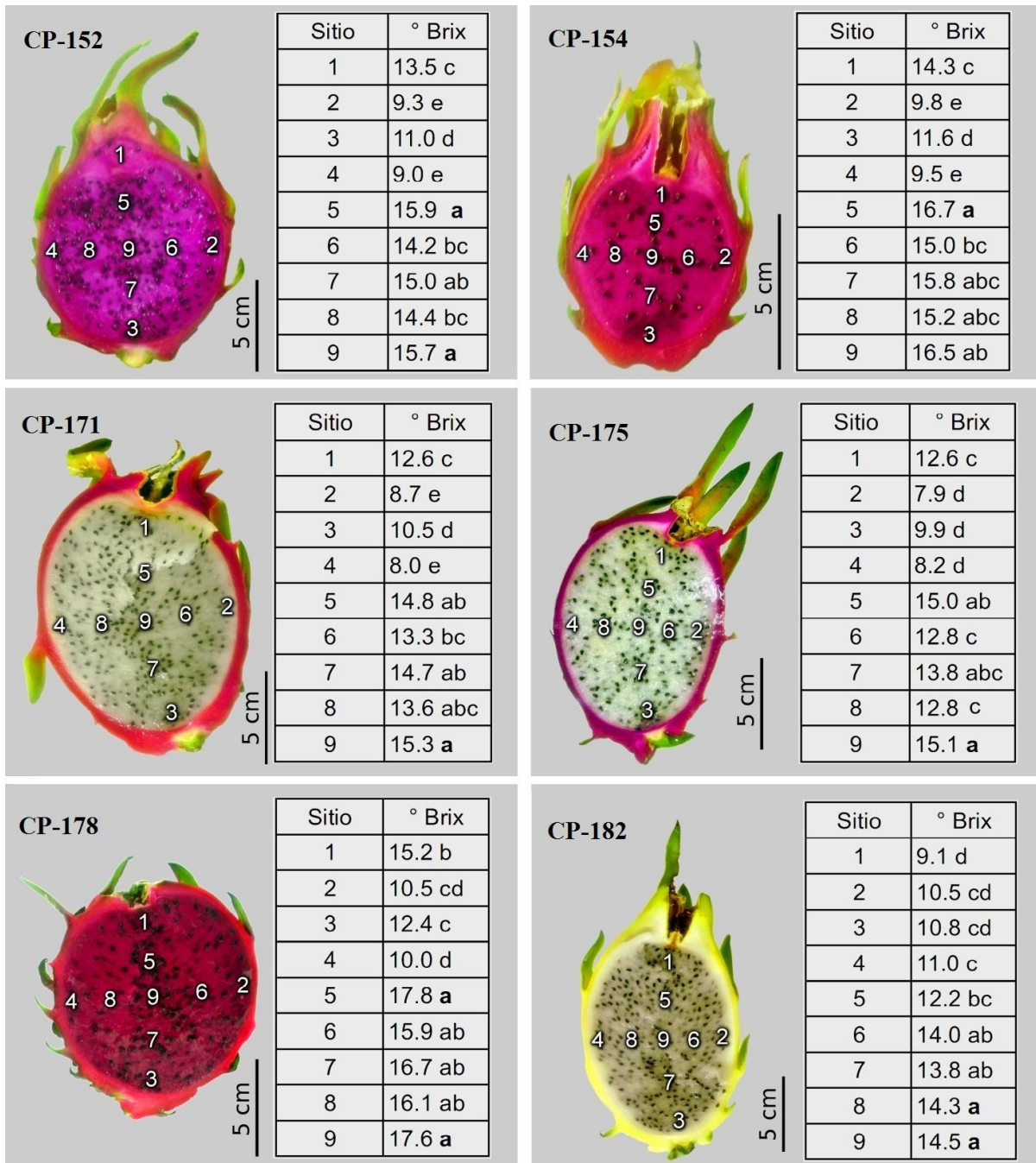
- a) El genotipo CP-152 mostró en los puntos 5, 9 y 7 valores de 15.9, 15.7 y 15.0 ° Brix; superiores a los registrados en los puntos 8 y 6 con 14.4 y 14.2 ° Brix; seguido del punto 1 con 13.5 ° Brix y el punto 3 con 11.0 ° Brix; los puntos 2 y 4, tuvieron los valores más bajos 9.3 y 9.0 ° Brix (Figura 9).
- b) El genotipo CP-154 mostró en los puntos 5, 9, 7 y 8 con 16.7, 16.5, 15.8 y 15.2 ° Brix; superiores al punto 6 con 15.0 ° Brix; en tanto que, el punto 1 con 14.3 ° Brix supera al punto 3 con 11.6 ° Brix y finalmente los puntos 2 y 4 con 9.8 y 9.5 ° Brix son los más bajos (Figura 9).
- c) El genotipo CP-171 mostró en el punto 9, 15.3 ° Brix; en los puntos 5 y 7, 14.8 y 14.7 ° Brix; en el punto 6 con 13.3 ° Brix fue superior al punto 1 con 12.6 ° Brix; el punto 3 con 10.5 ° Brix; finalmente los puntos 2 y 4 con 8.7 y 8.0 ° Brix mostraron los valores más bajos (Figura 9).
- d) El genotipo CP-175 mostró en el punto 9, 15.1 ° Brix; superó al valor de los puntos 5 y 7 donde se expresaron 15.0 y 13.8 ° Brix; los valores en los puntos 6 y 8 con 12.8 °

Brix en ambos genotipos; el punto 1 con 12.6 ° Brix y finalmente los puntos 3, 4 y 2 con 9.9, 8.2 y 7.9 ° Brix (Figura 9).

e) El genotipo CP-178 mostró en los puntos 5 y 9, 17.8 y 17.6 ° Brix; mientras que los puntos 7, 8 y 6 con 16.7, 16.1 y 15.9 ° Brix; el punto 2 con 10.5 ° Brix; los puntos 1 y 3 con 15.2 y 12.4 ° Brix y finalmente, el punto 4 con 10.0 ° Brix (Figura 9).

f) El genotipo CP-182 mostró en los puntos 9 y 8, 14.5 y 14.3 ° Brix; los puntos 6 y 7 con 14.0 y 13.8 ° Brix; el punto 5 con 12.2 ° Brix; el punto 4 con 11.0 ° Brix; los puntos 3 y 4 con 10.8 y 10.5 ° Brix y finalmente el punto 1 con 9.1 ° Brix (Figura 9).

Los genotipos CP-152 (pulpa color magenta), CP-154 (pulpa color magenta) y CP-178 (pulpa color rojo) presentaron los mayores ° Brix en el centro de la pulpa (15.9, 16.7 y 17.8 ° Brix); mientras que CP-171 (pulpa color blanca), CP-175 (pulpa color blanca) y CP-182 (pulpa color blanca) presentaron valores ligeramente más bajos (15.3, 15.1 y 14.5 ° Brix) en el sitio ubicado entre el centro de la pulpa y el ápice del fruto (Figura 9). Estos resultados difieren con Wu *et al.*, (1997) quienes encontraron un mayor contenido de dichos azúcares en pulpa blanca comparado con pulpa roja (Wu *et al.*, 1997). Por el contrario los menores valores se encuentran en la periferia, en los puntos: 4 (9.0 ° Brix) y 2 (9.3 ° Brix) en CP-152; 4 (9.5 ° Brix) y 2 (9.8° Brix) en CP-154; 4 (8.0 ° Brix) y 2 (8.7 ° Brix) en CP-171; 3 (9.9 ° Brix), 4 (8.2 ° Brix) y 2 (7.9 ° Brix) en CP-175; 4 (10.0 ° Brix) en CP-178; 1 (9.1 ° Brix) en CP-182 (Figura 9); esta tendencia descendiente de la parte central hacia el perímetro de la pulpa del fruto también se ha reportado para glucosa, con ligeros cambios en fructosa y sucrosa (Wu *et al.*, 1997).



**Figura 9.** ° Brix tomados en diferentes puntos del fruto maduro, en seis genotipos de *Hylocereus* spp. Medias con la misma letra, sin diferencias estadísticas significativas (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).



## **IV CONCLUSIONES**

Los seis genotipos evaluados presentaron una fenología y capacidad productiva diferente.

El potencial productivo de los genotipos es alto, considerando el número de yemas reproductivas y flores producidas, y queda como reto incrementar el amarre de frutos.

Es posible ofertar frutos de calidad desde el 21 de mayo hasta el 26 de julio y dependiendo de las condiciones climáticas, hasta el 14 de noviembre, bajo las condiciones de Tepoztlán, Morelos.

## V LITERATURA CITADA

**AOAC, Association of Official Analytical Chemists (1999)** Official Methods of Analysis. 16th ed. S William (ed). Published by the Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C. USA. CD-Rom.

**Arévalo G M L y Ortíz H Y D (2004)** Comportamiento postcosecha del fruto de la pitahaya (*Hylocereus undatus*). Cactaceas y suculentas 49:85-90.

**Bravo H H (1978)** Las Cactáceas de México. Vol. I. UNAM, México, D.F. 743 p.

**Bustamante E y Búrquez A (2005)** Fenología y biología reproductiva de las cactáceas columnares. Cactáceas y suculentas 50:69-87.

**Cáliz de Dios H, y Castillo M R. (2008)** Estudio sobre la pitahaya amarilla de la Península de Yucatán. Trópico Rural. 1:31-35.

**Cáliz de Dios, H. (2004)** Distribución geográfica de las pitahayas (*Hylocereus*) en la República Mexicana. Cactáceas y Suculentas Mexicanas. 49:4-23.

**Castellar R, J J Obon, M Alacid, J A Fernández L (2003)** Color proprieties and stability of betacyanins from opuntia fruits. J. Agr. Food Chem. 55:2772-2776.

**Castillo M R (2006)** Aprovechamiento de la pitahaya: bondades y problemáticas. Caos Conciencia 1:13-18.

**Castillo M R y Cáliz De Dios H (1996)** Contenido nutricional de tres especies de pitahaya (*Hylocereus*). Agricultura Tropical 33:86-92.

**Castillo M R, M Livera M, G J Márquez G. (2005)** Caracterización morfológica y compatibilidad sexual de cinco genotipos de pitahaya (*Hylocereus undatus*). Agrociencia: 39: 183-194.

**Castillo M R, M Livera M, Brechú F, Alicia E (2003)** Compatibilidad sexual entre dos tipos de *Hylocereus* (Cactaceae). *Revista biología tropical*. 51:3-4.

**Castillo M R, Y D Ortíz H (1994)** Floración y fructificación de pitajaya en Zaachila, Oaxaca. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 17:12-19.

**Centurión A R, S Solís, E Mercado, R Báez, C Saucedo, E Sauri (1999)** Variación de las principales características de la pitahaya (*Hylocereus undatus*) durante su maduración postcosecha. *Hort. Mex*. 7:419-425.

**Centurión Y A R, S Solís P, C Saucedo V, R Báez S, E Sauri D (2008)** Cambios físicos, químicos y sensoriales en frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) durante su desarrollo. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 31:1-5.

**Centurión Y A, S Solís P, R Báez S, E Mercado S, C Saucedo V, E, Sauri D (2000)** Crecimiento, desarrollo y comercialización de la pitahaya (*Hylocereus undatus*) durante la postcosecha. Revista Iberoamericana Tecnología Postcosecha. 2:161-168.

**Centurión Y A, V Pérez M, S Solís P, R Báez S, E Mercado S, C Saucedo V, E Sauri D (2000)** Crecimiento, desarrollo y comercialización de la pitahaya (*Hylocereus undatus*) durante la postcosecha. Rev. Iberoam. Tecnol. Postcos. 2:161-168.

**Esparza O L y Valverde T (2003)** Estudio comparativo de la fenología de tres especies de *Neobuxbaumia* que difieren en su nivel de rareza. Cactaceas y suculentas 49:68-83.

**Esquivel P, F C Stintzing y R Carle (2007)** Fruit characteristics during growth and ripening of different *Hylocereus* genotypes. Journal European. Hort.Sci. 72:231-238.

**Esquivel P, Florian C, Stintzing, Reinhold Carle (2007b)** Comparison of morphological and chemical fruit traits from different pitaya genotypes (*Hylocereus* sp.) grown in Costa Rica. Journal of Applied Botany and Food Quality. 81:7-14.

**Esquivel P (2004)** Los frutos de las cactáceas y su potencial como materia prima. Agronomía Mesoamericana 15:215-219.

**García E (1981)** Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köeppen. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México D. F. 252 p.

**Gibson A C and P.S. Nobel (1986)** The Cactus Primer. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.

**Gutiérrez L G M (2000)** Efecto del nivel de luz sobre el patrón de ramificación, floración y el crecimiento de *Opuntia excelsa* Sánchez-Mejorada en una Selva Baja Caducifolia. Cactáceas y suculentas 45:77-83.

**Juárez S I, F J Ramírez M, T Cruz H (2009)** Caracterización de dos clones de pitahaya roja (*Hylocereus purpusii*) de Jalisco, México. Rev. Chapingo Zonas Áridas. 8:105-195.

**Le Bellec F, F Vaillant, E Imbert (2006)** Pitahaya (*Hylocereus* spp.): a new fruit crop, a market with a future. Fruits 61:237-250.

**Legaria S J P, M E Alvarado Cano, R Gaspar Hernández (2005)** Diversidad genética en pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth. Britton y Rose). Revista Fitotecnia Mexicana 28:179-185.

**Livera M M, Y D Ortiz H, R Castillo M, F Castillo G, R Martínez C, J J Ramírez D, A J Valencia B y J A Carrillo S (2010)** Pitahaya (*Hylocereus* spp.): problemas, logros y perspectivas. En: Cruz Izquierdo S, A Muratalla L y A T Kato Y. (comps.). La investigación al servicio del campo mexicano. Ed. Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Genética. Colegio de Posgraduados- Campus Montecillo. Montecillo, Edo. de México. pp: 57-59.

**López S A, J Pohlan, D Salazar C (2004)** Efectos Agrobiológicos de Coberturas Verdes en el Cultivo de la Pitahaya (*Hylocereus undatus* Britton & Rose) en Nicaragua. Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics. 105:175–187.

**López T O, G Miranda A (1998)** Evaluación de dosis de nitrógeno y fósforo en el cultivo de pitahaya (*Hylocereus undatus*). Agronomía Mesoamericana 9: 66-71.

**Marten S (2003)** A review of *Hylocereus* production in the United States. J. Prof. Assoc. Cactus Develop. 1:98-105.

**Martini M Y, A H Ridzwan, T M M Mahmud, O S R Syed, M Zainuddin (2008)** Growth, yield and fruit quality of red dragon (*Hylocereus polyrhizus*) fruit as affected by plant support system and intercropping with long bean (*vigna sinensis*). Journal of Food, Agriculture & Environment 6:305-311.

**Merten S (2003)** A review of *Hylocereus* production in the United States. J. Prof. Assoc. Cactus Develop. 1:98-105.

**Minolta (1994)** Precise Color Communication. Color control from feeling to instrumentation. Minolta Co., Ltd. Osaka, Japan. 49 p.

**Mizrahi Y, A Nerd, Y Sitrit (2002)** New Fruits for Arid Climates. *In*: New Trends in New Crops and New Uses. J Janick, A Whipkey (eds). ASHS Press, Alexandria, VA. pp: 378-384.

**Muncharaz P M (2004)** El almendro. Editorial Mundi Prensa. Madrid, España. pp: 160-161.

**Nerd A, F Gutman, Y Mizrahi (1999)** Ripening and postharvest behavior of fruits of two *Hylocereus undatus* species (Cactaceae). Postharv. Biol. Technol. 17:39-45.

**Nerd A, Y Sitrit, R Avtar K, Y Mizrahi (2002)** High summer temperatures inhibit flowering in vine pitaya crops (*Hylocereus* spp.). Scientia Horticulturae 96:343-350.

**Ortíz Hernández Y D, Livera Muñoz M (2000)** Manual para la propagación de la pitahaya (*Hylocereus* spp.) CIIDIR-Oaxaca, Instituto Politécnico Nacional, México. 36 p.

**Osuna E T (2006)** Validación de un huerto de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en la zona centro de Sinaloa: fenología y determinación de madurez del fruto para cosecha: *In*: Memoria

Anual, Ejercicio Operativo 2004-2005. Fundación Produce Sinaloa, A. C. Culiacán, Sinaloa, México. pp: 60-63.

**Osuna E T, F Bodart B, A L Mendoza T y F Zea M (2007)** Fenología reproductiva y calidad del fruto de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en Sinaloa, México. *In: XII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas*. 14 al 17 de agosto de 2007. Zacatecas, Zac. México. Fruticultura. pp 31.

**Osuna E T, M E Ibarra Z, M D Muy R, J B Valdez T, M Villarreal R y S Hernández V (2011)** Calidad postcosecha de frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haw.) cosechados en tres estados de madurez. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 34: 63-72.

**Petit S (2001)** The reproductive phenology of three sympatric species of columnar cacti on Caracao. *Journal of Arid Environments* 49:521-531.

**Piña H H, Montaña C, Mandujano M del C (2007)** Fruit abortion in the Chihuahuan-Desert endemic cactus *Opuntia microdasys*. *Plant Ecology*. 193:305-313.

**Ramírez Delgadillo, J J (2011)** Estudio del patosistema de la pitahaya (*Hylocereus* spp.) (A. BERGER, BRITTON & ROSE) en Tepoztlán, Morelos. pp:41-59.

**Ruzainah A J, A R Bin A R, N Z Che M y R Vasudevan (2009)** Proximate Analysis of Dragon Fruit (*Hylocereus polyrhizus*). *Journal of American Applied Sciences* 6:1341-1346.

**SAGARPA, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2009)** Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx> (septiembre, 2011).

**SAS Institute (1998)** SAS/STAT<sup>®</sup> User's Guide. Versión 6.03. SAS Institute Inc. Cary, NC. 1028 p.

**Sornyatha K, Anprung P (2009)** Bioactive compounds and stability of betacyanins from skin and flesh of red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britton & Rose). *Agricultural Sci. J.* 40:15-18.

**Stintzing F C y R Carle (2005)** Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition. *Trends in Food Science & Technology* 15:19-38.

**Stintzing F C, A Schieber, R Carle (2002)** Betacyanins in fruits from red-purple pitaya, *Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britton & Rose. Food Chemistry 77:101-106.

**Stintzing F C, Carle R (2006)** Cactus fruits more than colour. Fruit Process (16):166-171.

**Stintzing F C, Schieber A, Carle R (2000)** Cactus pear – a promising component to functional food. Obst-, Gemüse- und Kartoffelverarbeitung 85:12-19.

**Stintzing F C, Schieber A, Carle R (2001)** Phytochemical and nutritional significance of cactus pear. Eur. Food Res. Technol 212:396-407.

**To L V, N Ngu, N D Duc, H T T Huong (2002)** Dragon fruit quality and storage life: Effect of harvest time, use of plant growth regulators and modified atmosphere packaging. Acta Horticulture 575:611-621.

**Valient Banuet A, R. Santos Gally, M.C. Arizmendi, A. Casas (2007)** Pollination biology of the hemiepiphytic cactus *Hylocereus undatus* in the Tehuacán Valley, México. Journal of Arid Enviroments. 68:1-8.

**Vázquez S M, T Terrazas & S Arias (2005).** Morfología y anatomía del cefalio de *Cephalocereus senilis* (Cactaceae). Anales del Jardín Botánico de Madrid 62:153-161.

**Weiss J, A Nerd, Y Mizrahi (1994)** Flowering and pollination requirements in climbing cacti with fruit crop potential. HortScience 29:1487-1492.

**Wills R, B McGlasson, D Graham, D Joyce (1998)** Postharvest, An introduction to the Physiology and Handling of Fruit, Vegetables and Ornamentals. University of New South Wales. Press-Cab International. Sidney, Australia. 262 p.

**Wu L C, H Wen H, Y Chen C, C Chung C, Y In L, J Annie H (2006)** Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya. Food Chemistry 95:319–327.

**Wu M C, Chen C S (1997)** Variation of sugar content in various parts of pitaya fruit. Proc. Fla. State Hort. Soc. 110:225-227.