



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD**

**FRUTICULTURA**

## **POLINIZACIÓN Y AMARRE DE FRUTO DE PITAHAYA SOLFERINA (*Hylocereus sp.*) EN LA MIXTECA POBLANA**

**BIBIANA SOLÍS MARTÍNEZ**

**T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRA EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO**

**2014**

**CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION**

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe BIBIANA SOLÍS MARTÍNEZ, Alumno de esta Institución, estoy de acuerdo en ser participe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor EDUARDO GARCÍA VILLANUEVA, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis

POLINIZACIÓN Y AMARRE DE FRUTO DE PITAHAYA SOLFERINA (Hylocereus sp.) EN LA MIXTECA POBLANA

y de los producto de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre el colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 20 de Noviembre de 2014



Firma



Vo. Bó. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada: **Polinización y amarre de fruto de pitahaya solferina (*Hylocereus sp.*) en la Mixteca Poblana**, realizada por la alumna: **Bibiana Solís Martínez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS**

**RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD**

**FRUTICULTURA**

**CONSEJO PARTICULAR**

**CONSEJERO**



**DR. EDUARDO GARCÍA VILLANUEVA**

**ASESOR**



**DR. VÍCTOR MANUEL MENDOZA CASTILLO**

**ASESOR**



**MC. ALFONSO MURATALLA LÚA**

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Noviembre de 2014

# **POLINIZACIÓN Y AMARRE DE FRUTO DE PITAHAYA SOLFERINA (*Hylocereus sp.*) EN LA MIXTECA POBLANA**

**Bibiana Solís Martínez, M.C**  
**Colegio de Postgraduados, 2014**  
**RESUMEN**

La pitahaya solferina (*Hylocereus sp.*), denominada por la coloración púrpura de su pulpa, se encuentra cultivadas y silvestre en México, sus frutos se reportan escasos y las plantas tienen problemas de caída de botones florales, flores y poco o nulo amarre de frutos. Las investigaciones señalan un posible mecanismo de incompatibilidad sexual. Este trabajo se orientó a la identificación, caracterización morfológica y descripción de dos genotipos de pitahayas de pulpa solferina y uno de pulpa blanca. Para identificar el problema de compatibilidad entre las especies, se estudió la fenología de la floración, el comportamiento reproductivo, la sincronía entre floraciones y la compatibilidad sexual al realizar polinizaciones cruzadas manuales entre los tres genotipos. En un experimento con plantas de pitahaya creciendo en condiciones de invernadero, se aplicó thidiazuron y ácido giberélico, para conocer el efecto sobre la brotación vegetativa y floral y se realizó un ensayo en campo, con la aplicación de AG<sub>3</sub> al momento de la antesis, para conocer su efecto sobre amarre de fruto. Con la caracterización morfológica, los resultados indican que las características vegetativas en (tallos) y reproductivas (flores), son descriptores confiables para identificar los genotipos. Se reconoce el mecanismo de autoincompatibilidad sexual en dos genotipos de pitahaya solferina y autocompatibles en el de pulpa blanca, existe compatibilidad sexual entre ellos, pero falta de sincronía de sus floraciones. Los promotores inhibieron la floración de pitahaya solferina y promovieron el crecimiento vegetativo. En campo, la aplicación de ácido giberélico, incrementó el porcentaje de amarre en flores de solferina polinizadas con flores del mismo genotipo pero de plantas diferentes.

**Palabras claves:** caracterización morfológica, sincronía de floración, polinizaciones manuales, compatibilidad sexual, promotores de la brotación.

**POLLINATION AND FRUIT SET OF PITAHAYA SOLFERINA (*Hylocereus sp.*)  
FROM POBLANA MIXTECA**

**Bibiana Solís Martínez, M.C  
Colegio de Postgraduados, 2014**

**ABSTRACT**

The solferina pitaya (*Hylocereus sp.*) called by the purple color of its flesh, is cultivated and wild in Mexico, reported low fruit and plants have problems falling flower buds, flowers and little or no fruit set. Research indicates a possible mechanism of sexual incompatibility. This work was oriented at the identification, characterization and morphological description of two genotypes of solferina pitahayas one pulp and white pulp. To identify the compatibility issue between species, the phenology of flowering, breeding behavior, synchrony between the blooms and sexual compatibility by performing manual among the three genotypes studied cross-pollinations. In an experiment with plants cactus flower growing in greenhouse conditions, applied thidiazuron and gibberellic acid, to know its effect on vegetative and floral bud break and a trial was conducted in the field, with the application of GA<sub>3</sub> at time of anthesis for we know its effect on fruit set. With the morphological characterization, the results indicate that in vegetative (stems) and reproductive characteristics (flowers), are reliable descriptors to identify the genotypes. The mechanism of sexual self-incompatibility genotypes solferina two and one self-compatible the white flesh pitaya were recognized, there is sexual compatibility between them, but their lack of synchrony blooms. The promoters inhibited flowering solferina pitahaya and promoted vegetative growth. Field, the application of gibberellic acid, increased the percentage of set solferina flowers pollinated with flowers of the same genotype but from different plants.

Keywords: morphological, flowering synchrony, hand pollinations, sexual compatibility, developers sprouting.

## **AGRADECIMIENTOS**

A México, mi país que me ha brindado las oportunidades para mi preparación profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico otorgado durante la maestría.

Al Colegio de Postgraduados, por aportar los conocimientos y la actualización de la tecnologías en el campo.

A los miembros del Consejo Particular: Dr. Eduardo García Villanueva, Dr. Víctor Manuel Mendoza Castillo y al M.C. Alfonso Muratalla Lúa, por su orientación, consejos y aportación de sus conocimientos en este trabajo.

Al Productor Sr. Liborio Burgos y su familia, por acceder a realizar este trabajo en su huerta de pitahaya en la comunidad de Dolores Hidalgo, Huitziltepec, Pue y por compartir sus conocimientos, sus inquietudes, su tiempo y su apoyo incondicional.

A mi amado Osvaldo, que me acompañó y apoyo en las tareas nocturnas que esta especie requiere, por ser la luz de mis noches y la alegría de mis días.

A mis compañeros y amigos que estuvieron en esta etapa de mi vida, a ustedes Silvino, Fernando, Ely, Anita, Silvia, Marisol y Eneida.

A mi amiga Ely Lozano, por su apoyo incondicional y su valiosa amistad. Por hacerme fuerte cuando me sentía vencida.

**LE AGRADEZCO A DIOS POR PONERME EN EL CAMINO, EL TIEMPO Y EL  
ESPACIO QUE ME PERMITE REALIZAR MIS SUEÑOS Y COMPARTIRLO CON  
MIS SERES QUERIDOS**

## DEDICATORIA

A mis padres: Matilde Martínez Caballero y Juan Solís Solís †, que me dieron la vida y lo que estuvo en sus manos para hacerme feliz.

A mis hermanos(as): Pedro, Alvina, Juana, Jesús, Eliza y Manuel por su apoyo y su cariño.

A mis sobrinos: Juan Carlos, Paty y Víctor Manuel Solís, para que sea su aliento por luchar de ser mejor todos los días y alcanzar sus sueños.

A mis tíos (as) y primos (as), que cada uno forma un fuerte eslabón de esta cadena familiar, que mantiene los valores, la unión y la lealtad que nos enseñaron nuestros padres y abuelos.

A las personas anónimas de las comunidades rurales de mi estado Poblano, que durante mi vida profesional me dieron cobijo y alimento, me enseñaron la riqueza de nuestros recursos naturales, pero sobre todo de la riqueza de sus conocimientos y el valor humano que los distingue.

A los productores rurales que buscan alternativas para no abandonar el campo mexicano, y con sus inquietudes, buscan respuestas, que nos obligan a actualizarnos y prepararnos para ser más eficientes.

## CONTENIDO

	PÁGINA
RESUMEN GENERAL.....	iv
GENERAL ABSTRACT.....	v
ÍNDICE DE CUADROS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1. Revisión de literatura.....	2
1.1 Importancia alimenticia.....	2
1.2 Importancia económica.....	4
1.3 Importancia social.....	5
1.4 Características de la Mixteca Poblana.....	6
1.5 Distribución de las especies de <i>Hylocereus</i> en México.....	6
1.6 Características generales del cultivo.....	8
1.6.1 Taxonomía.....	8
1.6.2 Diversidad de especies.....	8
1.6.3 Síntesis de Carbohidratos en las plantas MAC.....	10
1.6.4 Biología floral.....	11
1.6.5 Polinizadores y polinización.....	12
1.6.6 Mecanismos de polinización cruzada.....	12
1.6.7 Fenología.....	13
1.6.8 Condiciones ambientales del cultivo.....	14
1.6.8.1 Luz.....	14
1.6.8.2 Fotoperiodo.....	17

	<b>PÁGINA</b>
1.6.8.3 Temperaturas.....	17
1.6.8.4 Suelo.....	18
1.6.8.5 Agua.....	19
1.6.8.6 Fertilización.....	19
<b>2. Objetivos generales.....</b>	<b>22</b>
<b>3. Literatura citada.....</b>	<b>23</b>
<b>CAPITULO I. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA CAULINAR Y REPRODUCTIVA DE TRES GENOTIPOS DE PITAHAYA (<i>Hylocereus</i> spp.) DE LA MIXTECA POBLANA.....</b>	<b>27</b>
1.1 Resumen.....	27
1.2 Abstract.....	28
1.3 Introducción.....	29
1.4 Materiales y Métodos.....	38
1.5 Resultados.....	48
1.6 Discusión.....	69
1.7 Conclusiones.....	72
1.8 Literatura citada.....	73
<b>CAPITULO II. COMPATIBILIDAD SEXUAL DE TRES GENOTIPOS DE PITAHAYAS (<i>Hylocereus</i> spp.) DE LA MIXTECA POBLANA.....</b>	<b>75</b>
2.1 Resumen.....	75
2.2 Abstract.....	76

	<b>PÁGINA</b>
<b>2.3 Introducción.....</b>	<b>77</b>
<b>2.4 Materiales y métodos.....</b>	<b>84</b>
<b>2.5 Resultados.....</b>	<b>90</b>
<b>2.6 Discusión.....</b>	<b>126</b>
<b>2.7 Conclusiones.....</b>	<b>133</b>
<b>2.8 Literatura citada.....</b>	<b>134</b>
<b>CAPITULO III. PROMOTORES DE LA BROTACIÓN EN PITAHAYA SOLFERINA (<i>Hylocereus sp</i>) EN INVERNADERO Y ENSAYO DE AG<sub>3</sub> APLICADO EN FLORACIÓN EN CONDICIONES DE CAMPO.....</b>	<b>137</b>
<b>3.1 Resumen.....</b>	<b>137</b>
<b>3.2 Abstract.....</b>	<b>138</b>
<b>3.3 Introducción.....</b>	<b>139</b>
<b>3.4 Materiales y Métodos.....</b>	<b>141</b>
<b>3.5 Resultados.....</b>	<b>143</b>
<b>3.6 Conclusiones.....</b>	<b>150</b>
<b>3.7 Literatura citada.....</b>	<b>150</b>
<b>CONCLUSIONES GENERALES.....</b>	<b>152</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>CUADRO</b>	<b>PÁGINA</b>
1.1 Comparaciones de medias entre caracteres caulinares de tres genotipos de pitahaya.....	49
1.2 Comparaciones de medias entre caracteres caulinares de tres genotipos de pitahaya (continuación).....	51
1.3 Comparaciones de medias de caracteres externos de la flor, de tres genotipos de pitahaya de la Mixteca Poblana.....	53
1.4 Comparaciones de medias de caracteres externos de la flor, de tres genotipos de pitahaya de la Mixteca Poblana (continuación).....	54
1.5 Comparaciones de medias de los caracteres internos de las flores de pitahaya en la Mixteca Poblana.....	58
1.6 Comparaciones de medias de las variables cuantitativas en frutos de tres genotipos de pitahaya.....	62
2.1 Tratamientos, repeticiones y cruza entre los tres genotipos de pitahaya de la Mixteca Poblana.....	88
2.2 Calendario de eventos fenológicos en la etapa reproductiva de B1, Huitziltepec, 2014.....	91
2.3 Calendario de eventos fenológicos en la etapa reproductiva de S1, Huitziltepec, 2014.....	92
2.4 Calendario de eventos fenológicos en la etapa reproductiva de S2, Zacapala, 2014.....	93
2.5 Crecimiento longitudinal del botón floral de tres genotipos de pitahaya.....	94
2.6 Crecimiento ecuatorial del botón floral de tres genotipos de pitahaya.....	96

<b>CUADRO</b>	<b>PÁGINA</b>
<b>2.7 Calendario de los intervalos de floración de tres genotipos de pitahaya, Mixteca Poblana, 2014.....</b>	<b>96</b>
<b>2.8 Calendario de colecta de polen, polinización y cosecha de frutos en tres genotipos, durante el 2014.....</b>	<b>104</b>
<b>2.9 Comparación de medias en el crecimiento longitudinal de los frutos, días después de la polinización.....</b>	<b>107</b>
<b>2.10 Comparación de medias en los pesos por tratamiento.....</b>	<b>111</b>
<b>2.11 Determinación de SST por cada genotipo de pitahaya.....</b>	<b>116</b>
<b>3.1 Diseño de los tratamientos y productos comerciales utilizados en plantas de pitahaya cultivadas en invernadero.....</b>	<b>142</b>
<b>3.2 Número de botones florales emitidos, días después de la primera aplicación (dda), en plantas de pitahaya solferina.....</b>	<b>143</b>
<b>3.3 Comparación de medias del número de brotes vegetativos, días después de la aplicación (dda).....</b>	<b>146</b>
<b>3.4 Comparaciones de medias en la longitud de los brotes vegetativos, emitidos en plantas de pitahaya solferina, (dda).....</b>	<b>147</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
1.1 Descriptores del tallo en pitahaya.....	41
1.2 Descriptores de las flores en pitahaya.....	44
1.3 Descriptores externos de los frutos de pitahaya.....	47
1.4 Raíces adventicias en segmentos de tallo.....	49
1.5 Altura de cresta en tres genotipos de pitahaya de la Mixteca Poblana...	50
1.6 Características caulinares de tres genotipos de pitahaya de la Mixteca Poblana.....	52
1.7 Apariencia externa de las flores de pitahaya.....	56
1.8 Corte longitudinal y características internas de la flor de pitahaya.....	57
1.9 Apariencia de los lóbulos del estigma en antesis.....	59
1.10 Distancia de hercogamia, representativa en los tres genotipos de pitahaya.....	60
1.11 Apariencia externa de la región del ovario.....	61
1.12 Corte longitudinal en la región del ovario.....	61
1.13 Características externas de los frutos de pitahaya.....	65
1.14 Características internas de los frutos de pitahaya.....	65
1.15 Apariencia externa e interna de los frutos del genotipo B1.....	66
1.16 Apariencia externa e interna de los frutos del genotipo S1.....	67
1.17 Apariencia externa e interna de los frutos del genotipo S2.....	68
2.1 Tratamientos de autopolinizaciones en botones florales de pitahaya.....	87
2.2 Representación esquemática de los principales eventos en la fenología floral y reproductiva de <i>Hylocereus undatus</i> , genotipo B1.....	91

<b>FIGURA</b>	<b>PÁGINA</b>
2.3 Representación esquemática de los principales eventos en la fenología floral y reproductiva de <i>Hylocereus polyrhizus</i> , genotipo S1.....	92
2.4 Representación esquemática de los principales eventos en la fenología floral y reproductiva de <i>Hylocereus ocamponis</i> , genotipo S2.....	93
2.5 Crecimiento longitudinal del botón floral en tres genotipos de pitahaya.....	95
2.6 Floraciones de tres genotipos de pitahaya en la Mixteca Poblana, 2014.....	97
2.7 Condiciones de temperatura ambiental en la floración de tres genotipos de pitahaya.....	98
2.8 Condiciones de humedad relativa ambiental presentes en la floración de tres genotipos de pitahaya.....	100
2.9 Colecta de polen en frascos.....	102
2.10 Conservación de polen en frascos.....	102
2.11 Colecta de polen en campo.....	102
2.12 Porcentaje de amarre de flores en autopolinización y polinizaciones cruzadas.....	106
2.13 Crecimiento longitudinal del fruto, días después de la polinización...	107
2.14 Crecimiento ecuatorial del fruto, días después de la polinización.....	108
2.15 Corte longitudinal del ovario y forma del fruto en B1.....	109
2.16 Corte longitudinal del ovario y forma del fruto en S1.....	109
2.17 Corte longitudinal del ovario y forma del fruto en S1.....	109
2.18 Longitud final de los frutos de cada tratamiento.....	110

<b>FIGURA</b>	<b>PÁGINA</b>
2.19 Diámetro ecuatorial final de los frutos de cada tratamiento.....	110
2.20 Comparación de los frutos S1, polinizaciones cruzadas y libres, apariciencia externa e interna.....	113
2.21 Frutos del genotipo S1 de diferente tamaño.....	113
2.22 Apariciencia externa de los frutos de S1 y B1.....	113
2.23 Comparación de frutos de S2, obtenidos por polinización cruzada con los de polinización libre, apariciencia externa e interna.....	114
2.24 Apariciencia externa del fruto más grande de S2 con el fruto de B1.....	114
2.25 Comparación de medias en peso de frutos.....	115
2.26 Comportamiento diario de la temperatura ambiental en Huitziltepec, Pue.....	117
2.27 Comportamiento diario de la humedad relativa ambiental en Huitziltepec, Pue.....	118
2.28 Comportamiento de la intensidad lumínica en Huitziltepec, Pue.....	119
2.29 Comportamiento de las temperaturas ambientales en Zacapala, Pue.....	121
2.30 Comportamiento diario de la humedad relativa ambiental en Zacapala, Pue.....	122
2.31 Comportamiento de la intensidad lumínica en Zacapala, Pue.....	123
2.32 Comparaciones de la temperatura promedio en ambas comunidades.....	124
2.33 Comparaciones de la humedad relativa ambiental en ambas comunidades.....	125
2.34 Comparaciones de la intensidad lumínica en ambas comunidades....	126

<b>FIGURA</b>	<b>PÁGINA</b>
<b>3.1 Daños en botones florales de plantas de pitahaya solferina.....</b>	<b>144</b>
<b>3.2 Tallos jóvenes con emisión de un gran número de yemas hinchadas.....</b>	<b>146</b>
<b>3.3 Dinámica del crecimiento en tallos de pitahaya solferina.....</b>	<b>147</b>
<b>3.4 Frutos con pulpa y “falsos frutos” de pitahaya solferina a los 24 ddp.....</b>	<b>148</b>
<b>3.5 Amarre de frutos por efecto de polinizaciones y AG<sub>3</sub>.....</b>	<b>149</b>
<b>3.6 Aparente maduración de frutos solferinos en campo e internamente..</b>	<b>149</b>

## INTRODUCCIÓN GENERAL

México es un país con una amplia distribución de especies vegetales de interés agrícola y económico, algunas especies desplazan a cultivos tradicionales porque tienen mejor adaptabilidad a las condiciones del clima y suelo que cada día son más cambiantes.

Las cactáceas, son cada vez más importantes como fuente de frutas, hortalizas, forraje, medicinas, gomas, jabón, setos vivos y ornamentales y crecen en ambientes húmedos y secos donde otros cultivos no prosperan (Bravo, 1991).

Las cactáceas comestibles se pueden clasificar en tres tipos: las tunas, las pitahayas (trepadoras) y las pereskias (columnares). Las cactáceas trepadoras son denominadas así por su hábito de crecimiento, en el que utilizan los árboles como soporte físico. Sus frutos a diferencia de las tunas, no presentan espinas y tienen semillas pequeñas y palatables. *Hylocereus undatus* es la especie de cactus trepador más distribuido a nivel mundial (Nerd *et al.*, 2002).

Algunas especies han demostrado ser aptas para su comercialización, de las que destacan *Hylocereus undatus* (cáscara roja, pulpa blanca), *H. polyrhizus* (cáscara roja y pulpa roja) cultivada principalmente en Israel, e *H. costarricensis* (cáscara roja y pulpa roja), cultivada en Vietnam. Además de la pitahaya roja, se comercializa la pitahaya amarilla, (*Selenicereus megalanthus*), cuyo cultivo se realiza en Colombia e Israel, su cáscara es de color amarillo y la pulpa blanca con un sin número de semillas pequeñas y negras, con excelente sabor, que ganó prestigio en el mercado internacional antes que *Hylocereus* ingresará al mercado de las frutas exóticas y por la que se obtienen mejores precios de venta en el mercado mundial (Mizrahi *et al.*, 1997).

## 1. Revisión de literatura

### 1.1 Importancia alimenticia

La pitahaya ha ganado popularidad en Europa y Estados Unidos por su apariencia exótica, además, a sus frutos se les conoce por su riqueza en nutrientes y beneficios para la salud, por lo que se le ha considerado como alimento potencialmente nutracéutico (Dembitsky *et al.*, 2011)

Es factible la comercialización de la fruta mínimamente procesada, la obtención de jugos y la fabricación de polvos para utilizarlos como colorante natural, la utilización de la cáscara para la obtención de pectina y las semillas por su contenido de ácidos grasos insaturados, tienen potencial de uso alimentario, cosmético o farmacéutico (Esquivel *et al.*, 2012).

La pitahaya es rica en calcio, fósforo, potasio y vitamina C, comparada con la manzana, naranja y piña. Es una fuente de agua, calorías, ácido ascórbico, fósforo y carbohidratos. Cada 100 g de pitahaya contienen 89.4 de agua, 36 calorías, 25 mg de ácido ascórbico, 19 mg de fósforo y 9.2 g de carbohidratos, no obstante es deficiente en hierro y vitamina A, pero presenta un alto contenido de sodio y potasio (Flores *et al.*, 2003).

La pulpa de la pitahaya está compuesta por un 82 a un 88% de agua. Los sólidos solubles totales (SST) están compuestos por glucosa (30 a 55 g L<sup>-1</sup>), fructuosa (4 a 20 g L<sup>-1</sup>) y sacarosa (2.8 a 7.5 mg/g). El fruto tiene concentraciones de ácido málico (8.20 y 6.08 g L<sup>-1</sup>), ácido cítrico (0.95 a 2.11 g L<sup>-1</sup>), ácido láctico (0.48 a 0.91 g L<sup>-1</sup>), ácido oxálico (0.19 a 0.42 g.L-1) y vitamina C (0.26 a 0.58 g.L-1) (Esquivel *et al.*, 2007).

En los cactus, los compuestos más importantes son las betalainas, que dan el color rojo (betacianinas) y amarillo (betaxantinas) de las flores y frutos; estos pigmentos son solubles en agua. Hay dos tipos de betalainas, las betaxantinas responsables

del color amarillo y las betacianinas de color violeta. La presencia de betalainas en las flores es particularmente interesante por la importancia del color sobre la atracción de polinizadores (Gandía y García, 2013).

En la pitahaya roja (*Hylocereus polyrhizus*) se han encontrado recientemente betaninas, filocactinas, betacianinas e hilocerinas, consideradas como fuentes de antioxidante. El contenido fenólico en pulpa de 42.4 mg (de ácido gálico /100 g de peso fresco en pulpa) y de 39.7 mg en la cáscara, así como el contenido de flavonoides y betaninas, fueron estudiados para determinar la actividad antiproliferativa de células cancerígenas del melanoma B16F10, con resultados alentadores en la inhibición del crecimiento de dichas células, cultivadas en diversas concentraciones de extractos de pulpa y cáscara de pitahaya roja (Wu *et al.*, 2006).

En Malasia, el atractivo color rojo de los frutos y la cáscara de *Hylocereus polyrhizus*, relacionados con el contenido de betacianinas, despiertan el interés para su uso potencial en los alimentos, como colorante natural y como fuente de antioxidantes. El contenido de polifenoles encontrados en el fruto de esta especie fue de 86.1 mg (de ácido gálico / g de componentes totales de polifenoles) en 0.5 g de extracto seco de fruta. Estas cualidades permiten al fruto de la pitahaya tener más ventajas comerciales tanto para el consumo en fresco como en la industria alimenticia, ya que se considera promisorio en el cuidado de la salud y la prevención de algunas enfermedades humanas (Rebecca *et al.*, 2010).

La cáscara o pericarpelo de la pitahaya se distingue por el atractivo color rosa intenso, indicador de la presencia de antocianinas. Las antocianinas son uno de los grupos más importantes de pigmentos, que pertenecen a la clase de los compuestos fenólicos llamados flavonoides; son de origen natural, solubles en agua y no tóxicos, por lo que representan una alternativa como colorantes alimenticios, así como productos farmacéuticos y cosméticos. Igualmente, algunos colorantes naturales pueden ser importantes antioxidantes, como los flavonoides y las antocianinas que muestran una gran capacidad para captar los radicales libres causantes del estrés

oxidativo, atribuyéndoles efecto benéfico en la prevención de enfermedades cardiovasculares, cáncer y otros desordenes fisiológicos del ser humano (Katsube *et al.*, 2003).

En la cáscara de pitahaya (Figuroa *et al.*, 2011) cuantificaron y determinaron la capacidad antioxidante de las antocianinas y obtuvieron valores de antocianinas superiores a los reportados para frutos de zarzamora y dentro de los intervalos del arándano y mora azul reportados por Rein (2005). Por lo tanto, la cáscara de la pitahaya es una fuente natural de antocianinas con capacidad antioxidante.

El extracto de pulpa de *Hylocereus costaricensis* se ha sugerido como agente efectivo para potenciar la fertilidad masculina, después de observar un incremento en el conteo y en la viabilidad de los espermatozoides, tras la administración oral de extractos del fruto en ratones (Abdul-Aziz y Mat-Noor, 2010).

## **1.2. Importancia económica**

Los hábitos alimenticios y la diversificación en el consumo de frutas que aporten beneficios para la salud, son algunos de los motivos por los que la pitahaya tiene aceptación en el mercado mundial. La pitahaya es un fruto que se ha colocado con éxito en el mercado internacional de frutas exóticas; su carácter de fruta tropical contribuye a la demanda en el mercado de exportación a lugares donde no se produce. Colombia es el principal país que exporta pitahaya a Europa (Sauri *et al.*, 2010).

Desde 1980, se han hecho esfuerzos por establecer la pitahaya como cultivo, *Hylocereus undatus* (Haworth) Britton & Rose se reporta cultivada en Vietnam, México, Taiwan, Tailandia, Israel y Filipinas; *Hylocereus costaricensis* (Weber) Britton & Rose, en Nicaragua y Guatemala e *Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britton & Rose en Israel (Nobel, 2002).

En la actualidad los mejores mercados para la pitahaya, se encuentran en la Comunidad Económica Europea y los Países Asiáticos (Raveh *et al.*, 1993).

En México, el género *Hylocereus*, ha despertado el interés de productores en distintos estados. Se cultivó en traspatio desde tiempos históricos y se encuentra silvestre en los estados de Oaxaca, Puebla, Veracruz, Tabasco y Campeche (Mercado y Granados, 1999).

Actualmente se cultiva en Yucatán, Quintana Roo, Puebla, Guerrero, Oaxaca, Nayarit y Sinaloa. Durante el 2012 se reportaron 563.66 ha cultivadas en todo el país, siendo Yucatán y Quintana Roo los de mayor superficie cultivada y el estado de Puebla, que tiene mayor presencia en el mercado porque cubre un periodo de siete meses de producción. El rendimiento nacional promedio de la producción se estima en 4.3 t ha<sup>-1</sup>, aunque el principal productor reporta rendimientos de 6.78 t ha<sup>-1</sup>. Uno de los motivos por lo que este cultivo es atractivo, es su precio medio rural estimado durante el 2012 en \$11,000.00 ton. Yucatán es el estado con mayor superficie cultivada con 293.66 ha de pitahaya, que produjeron ese mismo año 1,896.41 toneladas con un rendimiento promedio de 6.78 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2012).

El estado de Puebla aunque oficialmente tienen sólo 15 ha, la mayor producción se obtiene de los traspatios de las comunidades rurales. Se clasifican tres zonas productoras con diferentes características ambientales a) La Cañada, b) el Valle de Tehuacán y c) la Mixteca, los cuales abastecen de fruta a los mercados regionales, estatales y a la central de abasto del D.F, a partir de mayo hasta noviembre (Flores, 2003).

### **1.3. Importancia social**

En Puebla, el cultivo de la pitahaya tiene su arraigo en los traspatios de las comunidades rurales y representa parte de la identidad de los pueblos. La diversidad de frutales en el traspatio, permiten conservar el germoplasma vegetal endémico.

Las asociación con especies forestales, principalmente con las leguminosas, favorecen la generación de microambientes propicios para el desarrollo de esta cactácea.

El gobierno ha implementado programas de reconversión de cultivos, para establecer especies rentables, que soporten las condiciones climáticas y es la pitahaya, una de las especies que en la región Mixteca Poblana que ha ido cobrando importancia en los últimos 10 años.

El restablecimiento de tierras abandonadas y el establecimiento de pequeñas plantaciones comerciales, ha motivado a las personas para adoptar el cultivo, estableciendo a la par, especies forestales como guaje (*Leucaena leucocephala*), mezquite (*Prosopis juliflora*), ciruela mexicana (*Spondias* sp.) y aprovechando la vegetación disponible para el tutoreo y soporte de la pitahaya (Jímenez, 2005).

#### **1.4 Características de la Mixteca Poblana**

Se localiza al sur del estado, limitando con los estados de Oaxaca y Guerrero, comprende las localidades de Tecamachalco, Tepyahualco, Huitziltepec, Tepexi de Rodríguez, San Juan Ixcaquixtla, Zacapala, Atexcal y Zapotitlan Salinas. Se ubica entre los 1300 y 2340 msnm, su temperatura promedio anual, está entre 17.1° y 22.1°C, tiene precipitaciones entre 619 y 791 mm anuales. En esta región se cultiva principalmente la pitahaya de pulpa blanca y algunos materiales de pulpa roja o solferina (Flores *et al.*, 2003).

#### **1.5. Distribución de las especies de *Hylocereus* en México**

En México, la especie que más se cultiva comercialmente es la pitahaya de pericarpelo rosa intenso y pulpa blanca, identificada como *Hylocereus undatus* y crece silvestre en los estados de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche,

Yucatán, Quintana Roo y Chiapas, y se cultiva ampliamente en la parte centro y sur del país (Bravo *et al.*, 1991).

Rodríguez (1993) indicó que el género *Hylocereus* se cultiva aproximadamente en veinte estados de la República Mexicana, ubicados en la zona centro y sur del país, principalmente en los estados de Yucatán, Campeche, Tabasco, Chiapas, Veracruz, Tamaulipas, Puebla y Oaxaca.

En un estudio de sobre posición de mapas temáticos, se logró obtener una aproximación de las características climáticas y de vegetación de los sitios donde se distribuyen las especies del género *Hylocereus* en México, mismas que la relacionan con cierto endemismo. Se identificaron tres especies en el territorio mexicano distribuidas de las siguiente manera (García, 2007).

*H. ocamponis* se distribuye a una altitud de 710 a 1195 msnm, con temperatura máxima promedio de 37 a 41 °C y una mínima de 5 a 17 °C, la precipitación anual de 600 a 1200 mm. En los estados de Colima, Estado de México, Michoacán y Morelos. Sus frutos comestibles tienen el pericarpelo rosa y la pulpa púrpura.

*H.purpusii* se distribuye de 15 a 2200 msnm, con temperaturas máximas entre 29 y 37°C y mínimas de 3 a 15 °C, con una precipitación promedio de 800 a 1500 mm, en los estados de Colima, Chiapas, Durango, Guerrero, Estado de México, Michoacán, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí y Veracruz. Sus frutos se describen de pericarpelo rojo y pulpa roja.

*H. undatus*, se distribuye de los 820 a los 2262 msnm, a temperaturas máximas entre 31 y 37 °C y mínimas de -3 a 11 °C, con una precipitación promedio de 600 a 1000 mm, se ha encontrado de manera silvestre y cultivada en casi todas las selvas tropicales y subtropicales de México, así como en los climas áridos y semiáridos, en suelos erosionados y pH alcalino en los estados de Puebla y Oaxaca. Sus frutos son de pericarpelo rosa y pulpa blanca.

Al evaluar 50 colectas de pitahayas provenientes de nueve estados más una colecta de Colombia, con marcadores de Polimorfismos en el ADN Amplificados al Azar (RAPD) Legaria *et al*, (2005), detectaron alta variabilidad genética. La muestra de Colombia se agrupó en la mayoría de las colectas mexicanas, excepto en los materiales procedentes de los estados de Hidalgo, México y San Luis Potosí, lo que sugiere que en México existe variabilidad genética endémica y que el país es uno de los principales centros de diversidad de *H. undatus*.

## **1.6. Características generales del cultivo**

### **1.6.1. Taxonomía**

Bravo, (1978) señala que la posición taxonómica subfamiliar del género *Hylocereus* es la siguiente:

Familia: Cactaceae Lindl.

Subfamilia: *Cactoideae*

Tribu: *Hylocereeae* Britton & Rose

Subtribu: *Hyloceree* Britton & Rose emend. Buxbaum.

Género: *Hylocereus* (Berg.) Britton & Rose.

Especie: *Hylocereus undatus* (Haworth) Britton & Rose

La separación de especies y variedades en el género *Hylocereus* es difícil, debido a la alta hibridación intra e inter específica (Tel- Zur *et al.*, 2004).

### **1.6.2 Diversidad de especies**

Algunos autores describen 18 especies: *H. guatemalensis*, *H. purpusii*, *H. ocamponis*, *H. bronxensis*, *H. polyrhizus*, *H. venezuelensis*, *H. costaricensis*, *H. undatus*, *H. cubensis*, *H. lemairei*, *H. monocanthus*, *H. stenoptherus*, *H. extensus*, *H. napoleonis*, *H. trigonus*, *H. triangularis*, *H. antiguensis* e *H. calcaratus* (Britton y Rose, 1963).

Nueve especies son descritas por Bravo y Sánchez, (2011): *H. minutiflorus*, *H. stenopterus*, *H. calcaratus*, *H. guatemalensis*, *H. polyrhizus*, *H. costaricensis*, *H. monocanthus*, *H. undatus* e *H. escuintlensis*.

Hunt (2006), basado en las descripciones de Britton & Rose (1963), consideró que son 14 especies de *Hylocereus*. Las más cultivadas en el mundo son *H. undatus*, *H. monocanthus* (Lem.) Britton & Rose (previamente conocida como *H. polhyrizus*), *H. costaricensis* y *H. megalanthus* (anteriormente conocida como *Selenicereus megalanthus*).

La pitahaya es una planta perenne, trepadora, por lo común epífita, que emite raíces adventicias en sus tallos “triangulares”, con costillas más o menos onduladas, carecen de hojas, las plántulas provenientes de semilla, presentan un par de cotiledones, y en los primeros meses, tienen abundantes tricomas y después se desarrollan espinas en las aréolas (Bravo *et al.*, 1978).

En las aréolas se realiza la diferenciación vegetativa o floral. Las flores se diferencian en las aréolas, son grandes, infundibuliformes, con simetría ligeramente bilateral, abren en la noche y cierran en las primeras horas del día siguiente. Tienen numerosos estambres espirolados con sensibilidad thignotropica, se mueven cuando se tocan y facilita la colección del polen durante la visita de los insectos y promueven la autopolinización. Tienen ovario ínfero, ubicado debajo del perianto, está formado por varios carpelos y fusionados entre sí, tiene un lóculo y un gran número de óvulos, con placentación parietal, el número de óvulos por flor son más o menos 7200 en *Hylocereus undatus*, el óvulo es campilótropo, bitégmico y crasinucelado. El estilo es largo y delgado presenta una sola cámara, el estigma tiene apéndices o lóbulos donde es depositado el polen, 24 lóbulos para *Hylocereus* (Nobel, 2002).

Son plantas alógamas, que requieren de la polinización cruzada y de agentes polinizadores. Los frutos son dehiscentes globosos a ovoides, rojos, rojo-purpúreos, escarlatas o rosados, las brácteas numerosas, persistentes, grandes, con aréolas

desnudas, la pulpa jugosa, blanca, roja o purpúrea, los remanentes florales persistentes o no persistentes; semillas ovoides a piriformes, la testa lisa o con puntuaciones pequeñas, negras y brillantes (Bravo y Sánchez, 2011).

### **1.6.3. Síntesis de carbohidratos en las plantas MAC**

A la pitahaya se le ha agrupado fisiológicamente y concretamente en cuanto a fotosíntesis, con plantas con Metabolismo Ácido de las Crasuláceas (MAC), como muchos cactus del desierto, que tienen una adaptación bioquímica que les permite sobrevivir en un hábitat muy caliente de día y seco. En general, se conocen como plantas MAC y utilizan la carboxilasa del PEP (enzima que se encarga de unir el CO<sub>2</sub> con el fosfoenolpiruvato) en la fijación del CO<sub>2</sub> atmosférico. Las especies MAC efectúan reacciones dependientes de la luz y fijación de CO<sub>2</sub> en momentos diferentes del día, en lugar de hacerlo en distintas células de la hoja. En tanto que las plantas C<sub>3</sub> y C<sub>4</sub> abren sus estomas durante el día, las plantas MAC mantienen sus estomas cerrados en las horas calientes y secas del día. Luego, por la noche, cuando la velocidad de pérdida de vapor de agua disminuye, abren sus estomas y fijan el CO<sub>2</sub> mediante la PEP carboxilasa. Conforme más dióxido de carbono se fija en las células paracitoplásmicas durante el día, el malato que se genera se traslada a través del tonoplasto hacia el interior de la vacuola. La presencia del malato, en forma de ácido málico dentro de la vacuola, es evidente por la mayor acidez matutina de las plantas. Durante el día, sus estomas se cierran y el ácido málico se mueve hacia el citoplasma. Ahí se libera el CO<sub>2</sub>, que la enzima Rubisco puede fijar en presencia de las concentraciones bajas de CO<sub>2</sub> que existen cuando los estomas están cerrados. Luego los carbohidratos se sintetizan con la energía del ATP y el NADPH generado por las reacciones dependientes de la luz (Karp, 2005).

#### 1.6.4 Biología floral

La pitahaya tiene un importante mecanismo de floración nocturna, lo que evolutivamente la ha relacionado a insectos, aves y murciélagos para su polinización. En Tehuacán, Puebla, se estudió la biología de la polinización en *Hylocereus undatus* y se obtuvo que las flores abren cerca de las 19:00 h y cierran cerca de las 11:00 h, con una duración de antesis de 17 h, en el mes de junio y los polinizadores nocturnos contribuyen mejor al amarre de fruto (76.9%) que los polinizadores diurnos (46.1%). Durante la noche las flores son polinizadas por los murciélagos *Leptonycteris curasoae* y *Choeronycteris mexicana*, mientras que en el día son polinizadas por las abejas *Apis mellífera* L (Valiente *et al.*, 2007).

*Hylocereus undatus* fue 100% autopolinizada sin manipulación, 53.8% en autopolinización manual y 40% en polinización cruzada manualmente. La capacidad de autopolinización en México, significa la reducción de costos asociados con el cultivo y por consiguiente una opción económicamente viable para las personas de las localidades donde se distribuye esta especie (Valiente *et al.*, 2007).

Por otro lado, Pimienta Barrios y Rafael F. del Castillo (citados por Nobel, 2002) describen la biología reproductiva de las principales cactáceas en México, y mencionan que las flores de *Hylocereus undatus* son sésiles y solitarias, que se desarrollan en las aréolas (consideradas como los homólogos a las yemas axilares), las flores son ligeramente bilaterales (zigomórficas), tal que los estambres y el estilo, se localizan en la parte central de la flor. Las flores de *Cereus peruvianus*, *Hylocereus* sp. y *Selenicereus megalanthus* son las más grandes de la familia de las cactáceas (Nerd y Mizrahi, 1997).

### **1.6.5 Polinizadores y polinización**

Los vectores de la polinización de los cactus, son animales que muestran especificidad pero no exclusividad, se hace mención de las abejas, las palomillas, los colibrís y los murciélagos. Las flores nocturnas son atractivas por el color blanco y las tonalidades amarillas, rojizas, naranjas, rosas o violetas del perianto. A pesar de la diversidad de los polinizadores, no todos son eficientes. En las abejas, intervienen varios factores para la polinización efectiva, tales como la actividad del vuelo, el tamaño de la flor, la constancia y la adherencia de los granos de polen en el cuerpo. La actividad de las abejas es más común en las mañanas, mientras que en las noches, la pitahaya tienen visitas de los murciélagos (Zappi, 1994).

Las flores abren en la noche y permanecen así hasta la próxima mañana. Otros polinizadores, están formados por grupos de escarabajos, que aunque no recogen mucho polen en su cuerpo, estimulan el movimiento de los estambres (thignotrópico) para la autopolinización, aunque en muchos casos pueden alimentarse del polen y del néctar y depositar sus huevecillos en las flores, ocasionando daño cuando las larvas emergen y perforan el ovario y el tallo (Zappi, 1994).

### **1.6.6. Mecanismos de polinización cruzada**

Los cactus presentan diversas adaptaciones que favorecen el cruzamiento, pueden ser autoincompatibles, tener dicogamia, hercogamia y unisexualidad.

La incompatibilidad es una barrera genética en la fase progámica que toma lugar entre el polen y el estigma o durante el desarrollo de los tubos polínicos en el estilo, esto ocurre en algunas variedades de *Hylocereus* spp, en los clones de *Hylocereus costaricensis* y *H. polyrhizus* (Weiss *et al.*, 1995).

La dicogamia, se refiere a que en una flor hermafrodita los órganos masculinos y femeninos maduran en diferentes tiempos y pueden reducir la autofertilización, la hercogamia es la separación espacial de las anteras y el estigma. En *Hylocereus undatus*, es grande la distancia entre el estigma y las anteras y esto puede disminuir la probabilidad de autogamia, aunque la distancia puede cambiar al momento de la floración (Nobel, 2002).

Valiente *et al.* (2007) al estudiar la biología de la polinización en pitahaya (*Hylocereus undatus*), encontraron que las flores son hermafroditas, no producen néctar, la antesis (producción del polen) dura unas 17 horas y los frutos son producto de la polinización libre.

### **1.6.7 Fenología**

Ortíz (1995), expresó que la pitahaya en la región de Tehuacán Puebla, tiene su etapa reproductiva entre los meses de mayo a septiembre, con cinco ciclos de floración y fructificación bien definidos. La floración está influenciada por los factores ambientales. La apertura floral comenzaba a las 18:41h, cuando la temperatura del aire fue de 20.8° C y la humedad relativa estaba en el 59.4%. El 100% de la expansión de los segmentos del perianto ocurrió a las 23:40 h con una temperatura en el aire de 20.5°C y 78.6% de HR, permaneciendo la flor abierta toda la noche hasta la mañana siguiente.

En las condiciones del desierto de Negev, Israel, la fenología de la floración de tres especies *H. polyrhizus*, *H. undatus* y *H. costaricensis*, presentaron dos o tres floraciones durante el verano y al inicio del otoño (mayo- octubre). Las fases de la antesis ocurrieron de las 16:00 a las 18:30 horas con la dehiscencia de las anteras; de las 20:00 a las 21:30 h la apertura floral, de las 6:00 a las 8:00 h hay visita de abejas y las flores se cierran hasta las 12:00 h. Las especies *H. polyrhizus* e *H. costaricensis* se describen como autoincompatibles, por la incapacidad de formar

frutos después de la autopolinización, mientras que *H. undatus* resultó 50% autocompatible en uno de los clones estudiados (Weiss *et al.*, 1994).

## 1.6.8 Condiciones ambientales del cultivo

### 1.6.8.1. Luz

En las plantas CAM, el CO<sub>2</sub> es asimilado durante la noche en la ausencia de luz y la conversión a fotosintatos es hasta la llegada del día. Para evaluar la relación entre la asimilación neta de CO<sub>2</sub> y los niveles de Radiación Fotosintética Activa (RFA), se debe considerar la RFA recibida durante todo el día y compararla con la absorción total de CO<sub>2</sub> o el cambio total en el nivel de malato durante la noche. A mayor RFA, se realizará una mayor síntesis de carbohidratos durante el día, y por consiguiente, se producirá una mayor cantidad de aceptor Fosfoenol-Piruvato- Carboxilasa (PEP) para la fijación de CO<sub>2</sub> durante la noche (Nobel, 1988).

En *Ferocactus acanthodes* y *Opuntia ficus-indica*, por debajo del nivel de 3 a 4 moles m<sup>2</sup> día (nivel de compensación de RFA), dichas plantas obtendrían un balance negativo de carbono, respirarían su azúcar y glucósidos almacenados, es decir, si las cactáceas se mantienen a bajas RFA durante todo el año, poco a poco degenerarían para después morir. Una RFA de 3 moles m<sup>2</sup> día<sup>-1</sup> equivale a un nivel instantáneo de 70 μmoles m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup> por un fotoperiodo de 12 horas; 3% del total de la luz solar, dicho nivel es considerado para la lectura pero no conduce a una absorción neta de CO<sub>2</sub>, y por tanto, a ningún crecimiento en cactáceas (Gibson y Nobel, 1986)

El 90% de saturación en la asimilación nocturna de CO<sub>2</sub> se presenta con una RFA total diurna de 20 a 25 moles m<sup>2</sup> día<sup>-1</sup>, sin embargo, cuando las cactáceas se exponen a condiciones no favorables, tales como temperaturas subóptimas, el 90% de saturación se presenta a una RFA total diurna menor. Los niveles de RFA por encima de los 25 moles m<sup>2</sup> día<sup>-1</sup> no aumentan en gran medida la asimilación neta de

CO<sub>2</sub> durante la noche. Una RFA de 20 moles m<sup>2</sup> día conlleva aproximadamente 90% de la absorción nocturna máxima de CO<sub>2</sub>, para cinco agaves y ocho cactáceas, y corresponde a una RFA instantánea promedio, en un fotoperiodo de 12 horas, de aproximadamente 500 μmoles m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>; cercano al valor de saturación para la fotosíntesis en plantas C<sub>3</sub> (Nobel, 1988).

La pitahaya es nativa de las regiones tropicales del Norte y Sur América. Es una especie que no tolera la exposición directa a la luz solar, ya que alta intensidad lumínica, como sucede en Israel (2,200 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> en el verano) provoca la decoloración (disminuye el contenido de clorofila) y reblandecimiento de los tejidos del tallo, produce baja calidad de fruta con pobre color y baja concentración de azúcares (Mizrahi *et al.*, 1997).

Algunas especies, tales como *H. costaricensis* e *H. polyrhizus*, tienen mayor tolerancia a altas intensidades lumínicas, probablemente debido a que tienen mayor concentración de ceras en la epidermis que reduce la transmitancia de luz al interior de los tejidos. En Israel, para estabilizar la alta intensidad, utilizan mallas sombras que permiten sólo del 20 al 60% el paso de luz (Mizrahi y Nerd, 1999).

Por el hábitat de origen de la pitahaya, que se encuentra en los bosques tropicales y con un periodo seco muy marcado, con diferencias en el follaje de los árboles tutores, el flujo de fotones para fotosíntesis (FFF: longitud de onda de 400 a 700 nanómetros) que recibe, cambia drásticamente durante el año. Los cambios en FFF afectan el crecimiento de la planta, porque la fijación de CO<sub>2</sub> disminuye bajo sequía y con valores altos de FFF, en las plantaciones comerciales se usa sombra artificial que atenúa del 30 al 60% la radiación (Nobel y de la Barrera, 2004).

En Yucatán, México las plantas de pitahayas, expuestas a un FFF de 50 mol m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>, sufrieron foto inhibición en la época más seca y de fuertes vientos, mientras que con tratamientos de sombras con mallas sintéticas, que permitieron el 60 y el 40% del

paso de la luz, se obtuvo un FFF de 18 a 24 mol m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>, considerados como los óptimos para la fotosíntesis y el crecimiento (Andrade *et al.*, 2006).

Se ha observado que *H. undatus* sufre foto inhibición bajo un FFF mayor a 20 mol m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>, tiene una asimilación neta de CO<sub>2</sub> apreciable a tan solo 2 mol m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> y la fijación máxima se alcanza a 20 mol m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> (Nobel y De la Barrera, 2002).

La intensidad lumínica a la que se expone el cultivo, tiene efectos en la fisiología de la planta. La pitahaya tiene un comportamiento CAM, fijan el CO<sub>2</sub> en la noche, seguido de una acumulación de ácido. En Israel, se estudió el efecto de sombreado en *Selenicereus megalanthus* y *Hylocereus polyrhizus* para determinar la mejor respuesta en cuanto a fijación de CO<sub>2</sub> y acumulación de ácido. La anatomía de las epidermis en ambas especies muestran que *H. polyrhizus* contiene un estrato de cera, mientras que esta no se detectó en *S. megalanthus*. La transmitancia de la luz es menor en *H. polyrhizus* que en *S. megalanthus*, por lo que esta última especie es más susceptible a la alta intensidad lumínica (Raveh *et al.*, 1998).

La mayor acumulación de ácido en *H. polyrhizus*, se presentó cuando el cultivo tuvo un 30% de sombra, mientras que en *S. megalanthus*, se requirió de un 60% de sombreado para que se presentaran las máximas acumulaciones de ácido y fijaciones de CO<sub>2</sub>. La fijación de CO<sub>2</sub> en ambas especies se presentó desde las 18:00 hasta las 6:00 h, en el periodo oscuro y no se detectaron durante el día. La acumulación de ácido (180- 290 μmol H<sup>+</sup> m<sup>-2</sup>) en ambas especies, ocurrió desde las 21:00 a las 6:00 h, posteriormente sus concentraciones bajaron (Raveh *et al.*, 1998).

En julio, por efecto del sombreado, en *H. polyrhizus* la acumulación máxima de ácido fue de 410 μmol H<sup>+</sup> m<sup>-2</sup> al 30% de sombra y de 280 μmol H<sup>+</sup> m<sup>-2</sup> en *S. megalanthus* al 60% de sombra. La longitud de los tallos también se refleja de acuerdo al porcentaje de sombra, obteniéndose tallos más largos en *S. megalanthus* al 30% de sombra y 60% en *H. polyrhizus*. La elongación de los tallos en ambas especies ocurrió en los meses más cálidos (mayo- octubre), cuando las temperaturas medias

mensuales del ambiente fluctuaron entre los 22 y los 25°C. La máxima intensidad lumínica ocurrió en los meses de abril- septiembre con 32 a 38 mol m<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup> al 30% de sombra, de 15 a 18 mol m<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup> al 60% y solo de 5 a 7 mol m<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup> al 90% de sombra (Raveh *et al.*, 1998).

### **1.6.8.2. Fotoperiodo**

En la pitahaya, la etapa reproductiva, que comprende desde la aparición de yemas florales hasta la madurez fisiológica de los frutos se le ha relacionado como un estímulo del fotoperiodo. El INRA- CEE (1994), citado por Ortíz (1995), señaló que para que *Hylocereus* florezca requiere que los tallos reciban de 10 a 12 horas diarias de luz, a temperaturas de 21 a 35°C. En Tehuacán, región donde se cultiva la pitahaya, el período de crecimiento vegetativo se efectuó con un fotoperiodo mayor de 11 horas y la emisión de botones florales ocurrió durante los meses de mayo a agosto, cuando el fotoperiodo fue de 13 a 13.5 h luz (Ortíz, 1995).

### **1.6.8.3. Temperaturas**

En las cactáceas, los estomas permanecen cerrados durante el día, debido al incremento de la temperatura, que reduce la actividad de vapor de agua, de esta manera, la transpiración se mantienen constante. Nobel (1988), reportó que a medida que la temperatura aumenta, la presión de vapor disminuye de acuerdo con el siguiente patrón aproximado; 20 % de 5 a 15 °C, 50 % de 15 a 25 °C y 70 % de 25 a 35 °C. La temperatura óptima para la absorción nocturna de CO<sub>2</sub> en la mayoría de las plantas CAM es de 10 °C a 15 °C. A temperaturas nocturnas por arriba de los 25 °C, la acumulación de ácido llega justo arriba de los 300 μmoles de H<sup>+</sup> m<sup>2</sup> en *opuntia ventiana* y cerca de 200 μmoles de H<sup>+</sup> m<sup>2</sup> en *Stenocereus griseus* (Díaz y Medina, 1984).

La pitahaya, es una especie sensible a las bajas temperaturas y los tallos se decoloran cuando las temperaturas nocturnas están por debajo de los 5 °C, sufre

daños cuando la temperatura del aire se aproxima a 0 °C, entonces surgen lesiones amarillas que se desarrollan en el tallo y ese segmento se muere. Las plantas se recuperan cuando las temperaturas se incrementan, pero los rendimientos se reducen (Mizrahi y Nerd. 1999, citado por Nobel 2002).

En México, la principal limitante para el establecimiento de la pitahaya ha sido la presencia de heladas, según lo estudiado por Bárcenas (2002), que determinó las temperaturas cardinales en una cámara de crecimiento y obtuvo que la temperatura óptima para el crecimiento de *Hylocereus* se registra alrededor de los 15 °C, aunque el intervalo va de 7 a 40 °C. Temperaturas menores de los 7 °C detienen el crecimiento y a los 45 °C existe daño en los tejidos. Las temperaturas letales se identificaron a 4 °C y a 45 °C.

#### **1.6.8.4. Suelo**

La pitahaya tienen una alta capacidad para adaptarse a diversos tipos de suelos, tales como los calizos o Rendzinas, los Litosoles poco profundos y pedregosos, Gleysoles alcalinos y con alto contenido en materia orgánica, Luvisoles con arcillas y moderadamente ácidos, Feozem ricos en materia orgánica y en nutrientes, Regosoles suelos poco desarrollados, Vertisoles ricos en materia orgánica, oscuros pero que se agrietan en las épocas de sequía, Yermosoles y Xerosoles, que son suelos muy erosionables, con un estrato superficial de color claro, muy pobres en materia orgánica y nitrógeno, con acumulación de yeso y carbonatos de calcio en la superficie a diversas profundidades (Castillo *et al.*, 1996).

La pitahaya es un cultivo que manifestó tolerancia a la salinidad sulfático clorhídrica en condiciones de hasta 10 dSm<sup>-1</sup> de CE, esto implicó que la planta continuó desarrollando raíces y tallos, sin presentar diferencias significativas con relación al testigo (2.5 dSm<sup>-1</sup>), como es el caso de las especies cultivadas en Tehuacán Puebla (Bárcenas, 2002).

#### **1.6.8.5 Agua**

Las plantas CAM presentan una eficiencia en el uso del agua (EUA) muy por encima de las otras plantas cultivadas. En *Opuntia ficus indica* la EUA fue de 34 g de CO<sub>2</sub> por Kg de H<sub>2</sub>O y en *Ferocactus acanthodes* de 13 g de CO<sub>2</sub> por Kg de H<sub>2</sub>O, mientras que para otras plantas cultivadas bajo condiciones ambientales similares es generalmente de 2 a 6 g de CO<sub>2</sub> por Kg de H<sub>2</sub>O (Gibson y Nobel, 1986). La EUA, tiende a ser 2 a 6 veces mayor en agaves y cactáceas con respecto a las plantas C<sub>3</sub> y C<sub>4</sub>. Esto está relacionado con la densidad estomática en plantas CAM de 50 estomas mm<sup>2</sup> comparada con la mayoría de las plantas C<sub>3</sub> que tienen 200 estomas mm<sup>2</sup> (Nobel, 1988).

La pitahaya, por su adaptación a los climas secos, suelos pobres y bajas precipitaciones en algunas regiones de México, fue introducida como cultivo en el desierto de Neveg, Israel, y gracias a su metabolismo CAM, demuestra alta eficiencia del uso del agua. La tasa fotosintética, la evapotranspiración y las fluctuaciones máximas de fotosíntesis por disponibilidad de agua en el suelo, determinaron, que es una especie de uso eficiente de agua varias veces mayor que otros frutales cultivados en el desierto (Ben-Asher *et al.*, 2009).

En México, las áreas aptas para la producción de pitahaya tienen precipitaciones que van desde 479 mm en la región de Tehuacán, Puebla hasta los 3502 mm en Escuintla, Chiapas (Castillo *et al.*, 1996).

#### **1.6.8.6. Fertilización**

En Tailandia, se realizaron algunos tratamientos de fertilización al suelo en una plantación de pitahaya con 3 años de establecida, para determinar las dosis que favoreciera el rendimiento de frutos, considerando el análisis de fertilidad del suelo,

se requirió aporte de N, P y K en estos suelos. Las dosis con las que se obtuvieron mejores rendimientos, fueron la 46-00-00, la 24-24-0 y la 16-16-16 aplicadas al suelo y divididas en 4 partes en un año, con rendimientos de 22.17, 21.44 y 20.68 ton ha<sup>-1</sup> en 8 a 11 ciclos de cosecha (S. Muchjajib y V. Muchjajib, 2012).

En Malasia, se estudió el efecto de la aplicación de fertilizante y composta en plantas de pitahaya roja (*Hylocereus polyrhizus*). Utilizaron la fórmula N: P: K: Mg (9.6:4.8:17.6:2.4) y se aplicaron en 3 niveles 0, 1.2 y 1.8 kg planta<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, mientras que los niveles de composta fueron de 6 y 12 kg planta<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Se realizaron 6 aplicaciones alternadas en un año. Se obtuvo efecto de los tratamientos en el número de flores, número de frutos, peso promedio de los frutos y rendimiento acumulado. Los resultados aportaron que el número de flores y frutos se incrementaron cuando utilizaron las dosis altas de composta (12 kg planta<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>), con las dosis altas de fertilizante (1.2 y 1.8 kg planta<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>), con 111.5 y 109.8 flores planta<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y 78.7 a 78.3 frutos planta<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, respectivamente comparadas con las plantas a las que solo se les aplicaron 6 kg de composta con 76.3 flores y 56.7 frutos (K.H. Then, 2014).

El peso promedio y rendimiento acumulado de los frutos, también aumentó de 311 g fruto<sup>-1</sup> y 24.5 kg planta<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en la dosis de 12 kg de composta con 1.2 kg de fertilizante año<sup>-1</sup>, comparado con 278.0 g fruto<sup>-1</sup> y un rendimiento de 16.1 kg planta<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, obtenido del tratamiento que sólo incluyó la aportación de 6 kg de composta. Por lo que el autor concluye, que bajo estas condiciones, la pitahaya roja responde bien a la fertilización y aplicación de composta en cuanto a rendimiento, sin embargo, la aplicación de composta sola en bajas cantidades, no es suficiente para cubrir la demanda del cultivo (K.H. Then, 2014).

En México (Castillo *et al.*, 1996), han hecho sugerencias de fertilización en el cultivo, indicando mayor requerimiento cuando comienza la formación de flores y frutos. Se ha determinado que las plantas tienen mejor respuesta al nitrógeno y al potasio que al fósforo, y que el potasio es requerido durante la fructificación. La fórmula

recomendada en Yucatán es 18-9-19-3 (S) aplicada entre junio y agosto. En octubre cuando ha finalizado el periodo reproductivo, es conveniente aplicar alguna fuente de nitrógeno, con el fin de favorecer el crecimiento vegetativo. Sugieren hacer una aplicación de calcio, magnesio y micronutrientes en junio, cuando el suelo tiene deficiencias en estos elementos.

Sin embargo, las necesidades nutrimentales del cultivo no están bien establecidas y corresponde realizar un adecuado análisis del suelo y de la planta para determinar la demanda de nutrimentos que expresen su potencial productivo.

El carácter epífita y semi epífita de esta cactácea perenne, requiere un sistema de soporte, pudiendo establecerse con estructura fija de tutores vivos (árboles) o tutores no vivos, columnas de palos, concreto o metal. A la fecha en México, existen recomendaciones que se adaptan según la disponibilidad de recursos naturales y de recursos económicos del productor, pero no de las necesidades de carga o peso acumulado de la planta en sus años productivo, ni del manejo de sombreado que requiere el cultivo, o bien, de la adecuación de sistemas tecnificados para obtener su máximo potencial productivo de este cultivo (Castillo *et al.*, 1996).

Esta investigación se presenta en tres capítulos: 1). Caracterización y descripción de dos genotipos de pulpa solferina y uno de pulpa blanca, presentes en forma cultivada o semi cultivada en la región Mixteca Poblana, 2) Estudio de la reproducción en los temas de sincronía de la floración y compatibilidad sexual entre los genotipos y 3) El efecto de la aplicación de thidiazuron y ácido giberelico sobre la promoción de la brotación floral y vegetativa en plantas de pitahaya cultivadas bajo invernadero, más un ensayo en campo de la aplicación del AG<sub>3</sub> sobre flores del mismo genotipo polinizadas con flores de plantas diferentes para conocer su efecto en el amarre de fruto

## 2. Objetivos generales

- Identificar, describir y caracterizar morfológicamente los componentes caulinares, foliares y reproductivos de tres genotipos de pitahaya (*Hylocereus* spp.) de la Mixteca Poblana.
- Evaluar el amarre de frutos mediante el estudio de la compatibilidad sexual de tres genotipos de pitahaya (*Hylocereus* spp.) y autopolinizaciones y polinizaciones manuales cruzadas “in situ”.
- Conocer y diferenciar las especies autoincompatibles, con problemas de amarre de fruto para determinar un mejor sistema de producción con especies que sean compatibles entre sí.
- Conocer el efecto de las aplicaciones del thidiazurón y ácido giberélico en dosis exploratorias sobre la brotación vegetativa y floral de la pitahaya solferina.
- Realizar un ensayo exploratorio en campo, sobre el efecto del AG<sub>3</sub> en el amarre de frutos de pitahaya solferina.

### 3. Literatura citada

- ANDRADE J.L.; RENGIFO E.; RICALDE M. FERNANDA.; SIMÁ J.L.; CERVERA J.C.; Y VARGAS S.G. 2006. Microambientes de luz, crecimiento y fotosíntesis de la pitahaya (*Hylocereus undatus*) en un agrosistema de Yucatán, México. Unidad de Recursos Naturales, Centro de Investigación Científica de Yucatán. Agrociencias 40: 687-697.
- ABDUL A, AZIZ, FARID AND MAT-NOOR, MAHANEM. 2010. Ethanol extract of dragon fruit and its effects on sperm quality and histology of the testes in mice. Biomedical Research. 21(2):126-130
- BARCENAS, A. P. 2002. Determinación de zonas potenciales para el establecimiento de plantaciones de Pitahaya (*Hylocereus sp.*). Tesis de Doctorado. Programa de Hidrociencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Mexico.
- BEN-ASHER, J. MIZRAHI, Y., NOBEL, P.S. 2009. Transpiration, stem conductance and CO<sub>2</sub> exchange of *Hylocereus undatus* (A. Pitahaya) Acta Horticulturae, 811, pp. 375-382.
- BRAVO H,H. 1978. Las cactáceas de México. UNAM. México. 2ª ed. Vol. I. 743 p.
- BRAVO H,H Y SÁNCHEZ M. H. 1991. Las cactáceas de México. UNAM. México. 3ª ed. Vol III. 643 p.
- BRAVO H,H Y SÁNCHEZ M.H. 2011. Flora Mesoamericana, Volumen 2(1). Cactaceae, p 42-78.
- BRITTON N.L AND ROSE J.N.1963. The cactaceae. Descriptions and Illustrations of Plant of the Cactus Family. Vol II. Dover Publications, Inc., New York, p:183-195.
- CASTILLO M, R.; CÁLIX DE DIOS H Y RODRÍGUEZ C.A. 1996. Guía técnica para el cultivo de la pitahaya. Universidad de Quintana Roo. INIFAP Produce- Campo Experimental San Felipe Bacalar y Centro Regional Península de Yucatán. Universidad Autónoma Chapingo. Chetumal, Quintana Roo, México. p.158.
- DEMBITSKY, VALERY M.; POOVARODOM, SUMITRA; LEONTOWICZ, HANNA; LEONTOWICZ, MARIA; VEARASILP, SUCHADA; TRAKHTENBERG, SIMON AND GORINSTEIN, SHELA. 2011. The multiple nutrition properties of some exotic fruits: biological activity and active metabolites. Food Research International. 44:1671-1701.
- DIAZ, M. Y MEDINA, E. 1984. Actividad CAM de cactáceas en condiciones naturales. In: E.Medina (ed). Ecofisiología de plantas CAM. Centro Internacional de Ecología Tropical, Caracas, Venezuela.98-113 p.

- ESQUIVEL P. STINTZING F.C AND CARLE R. 2007. 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(1):7-14.
- ESQUIVEL, P Y ARAYA Q. Y. 2012. Características del fruto de la pitahaya (*Hylocereus sp.*) y su potencial de uso en la industria alimentaria. Escuela de alimentos, Universidad de Costa Rica, San Pedro de Montes de Oca. *Revista Venezolana de Ciencias y Tecnologías de Alimentos*. 3 (1):113-129. <http://www.rvcta.org> ISSN: 2218-4384.
- FIGUEROA R, TAMAYO J, GONZÁLEZ S, MORENO G Y VARGAS L. 2011. Actividad antioxidante de antocianinas presentes en cáscara de pitahaya (*Hylocereus undatus*). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, vol. 12, núm. 1, junio, 2011, pp. 44-50, Asociación Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, S.C. México
- FLORES V.C.; GÓMEZ C., M.; MERÁZ A., MA. R.; CANTO R.A.; Y RINDERMANN SCH.,R. 2003. Pitayas y pitahayas. Producción, poscosecha, industrialización y comercialización. Programa Nopal/CIESTAAM, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México, 173 p. ISBN: 968- 884-996-0
- GANDÍA H.F AND GARCÍA C.F.2013. Biosynthesis of betalains: Yellow and violet plant pigments. *Plant Science*, Junio, Vol.18. No.6.
- GARCÍA A, M.A.2007. Anatomía y Morfología de Especies Silvestres del género *Hylocereus* (Berger) Britton y Rose (cactaceae) en México, Tesis de Maestría. Programa Botánica. Colegio de Postgraduados, Montecillos, México.
- GIBSON,A.C AND P.S. NOBEL. 1986. *The cactus primer*. Cambrigde, Mass: Harvard University. 286 p.
- HUNT, D. R. 2006. *The New Cactus Lexicon*. Vols I and II. DH Books. Milborne Port. UK, 925 p.
- JIMENEZ M, F. A. 2005. *El campo en Puebla. Entre el desarrollo ideal y lo posible*. Gobierno del Estado de Puebla. México. p 252.
- KARP G. 2005. *Biología celular y molecular. Conceptos y experimentos*. Cuarta Edición. Ed. Mc Graw Hill. México. DF. p 899.
- KATSUBE, N.; KEIKO, I.; TSUSHIDA, T.; YAMAKI, K.; KOBORI, M. 2003. Induction of apoptosis in cancer cells by bilberry (*Vaccinium myrtillus*) and the anthocyanins. *J. Agric. Food Chem.*, 51, 68-75
- K. H. THEN. 2014. *The Effect of Compost Application to Improve the Red Pitaya Yield under Various Mixture Fertilizer Rates*. Felda Agricultural Services Sdn. Bhd. Stesen Penyelidikan FASSB Sg. Selangor. Malaysia. *Proc. IS on Tropical and Subtropical Fruits Eds.: N. Chomchalow et al. Acta Hort.*1024.

- LEGARIA S.J P., ALVARADO C, M.L Y GASPAS H.R. 2005. DIVERSIDAD GENÉTICA EN PITAHAYA (*Hylocereus undatus* Haworth. Britton y Rose). Rev. Fitotecnia Mexicana. Vol. 28 (3): 179- 185.
- MERCADO B.A Y GRANADOS S.D. 1999. La pitaya, Biología, Ecología, Fisiología sistemática, Etnobotánica. Universidad Autónoma Chapingo, México. p 194.
- MIZRAHI, YOSEF; NERD, AVINOAM AND NOBEL, PARK S. 1997. Cacti as crops. In Horticultural Reviews. Volume 18. (pp. 291-320). Oxford, UK: John Wiley & Sons, Inc.
- MIZRAHI, Y.; NERD, A. 1999. Climbing and columnar cacti: new arid land fruit crops: In: J. Janick (ed). Perspectives on New Crops and New Uses. American Society of Horticultural Science. Alexandria, Virginia, USA. p. 358-366.
- NERD, A.; TEL- ZUR, N.; MIZRAHI. Y. 2002. Fruits of vine and columnar cacti. In: Park S. Nobel (ed.). Cacti: Biology and Uses. University of California Press. California, USA. p 280.
- NERD, A., AND Y.MIZRAHI. 1997. Reproductive biology of cactus fruit crops. Horticultural Reviews 16: 321-346.
- NOBEL,P.S. 1988. Environmental biology of agaves and cacti. Cambridge University, Cambridge. 270 p
- NOBEL, P.S. 2002. Cacti Biology and Uses. University of California. Press, Berkeley. Los Angeles London, Chapter 5. p: 75-90.
- NOBEL, P. S., AND E. DE LA BARRERA, 2002. High temperatures and net CO<sub>2</sub> uptake, growth, and stem damage for the hemiepiphytic cactus *Hylocereus undatus*. Biotropica 34: 225- 231.
- ORTIZ H,Y.D. 1995. Avances en el conocimiento ecofisiológico de la pitahaya (*H. undatus*). Tesis de Doctorado en Ciencias. Programa Fisiología Vegetal. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- RAVEH, E.,J. WEISS, A. NERD, AND Y. MIZRAHI. 1993. Pitayas (Genus *Hylocereus*): A new fruit crop for the Negev Desert of Israel. In: Janick, J. and J. E. Simon (eds). New Crops. Wiley, New York. pp: 491-495.
- RAVEH, E., A. NERD AND Y. MIZRAHI.1998. Response of two hemiepiphytic fruit crop cacti to different degrees of shade. Israel. Scientia Horticulturae 73: 1998. 151–164.
- REBECCA, O.P.S., HARIVAINDRAN, K.V., BOYCE, A.N AND CHANDRAN. 2010. Potential Natural Dye with Antioxidant Properties from Red Dragon Fruit (*Hylocereus polyrhizus*) Proc. Southeast Asia Symp. on Quality and Safety of Fresh and Fresh Cut Produce. Eds.: S. Kanlayanarat et al. Acta Hort. 875, ISHS 2010

- REIN M. 2005. Copigmentation Reactions and color stability of Berry anthocyanins. University of Helsinki Department of Applied Chemistry and Microbiology Food Chemistry Division. Tesis.
- RODRÍGUEZ C.,A.; GARCÍA A.,J.C.; GONZÁLEZ S.,M.G.; JIMÉNEZ R.,C.; MORENO G.,M.C.; PALLARES H.,L.J.; RAMÍREZ V.L.; ROSAS M., R.; TREJO T.,E.; VELAZCO S.,G.; Y ZARATE E.,E. 1993. El cultivo de la pitahaya en Yucatán. Universidad Autónoma de Chapingo- Gobierno del estado de Yucatán. D. Talleres Gráficos del sudeste, S.A. de C.V. Mérida, Yucatán, México.53 p.
- SAURI D E; A. R. CENTURIÓN-YAH AND L. VARGAS-VARGAS. 2010. Alternative Tropical Fruits in Order to Increment the Offer to European Market. Proc. IIIrd IS on Trop. and Subtrop. Fruits Eds.: M. Souza and R. Drew. Acta Hort. 864, ISHS 2010
- S. MUCHJAJIB AND V. MUCHJAJIB. 2012. Application of fertilizer for Pitaya (*Hylocereus undatus*) under Clay Soil Condition. Proc. XXVIIIth IHC-IS on Citrus Bananas and Other Trop Fruits under Subtrop. Conditions. Eds.: J.-N. Wiinshe and L.G. Albrigo. Acta Hort. 928 ISHS.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2012. Cultivos perennes. <http://www.siap.gob.mx>
- TEL- ZUR. N, ABBO, S. BAR- ZVI, D AND MIZRAHI J. 2004. Genetic Relationships among *Hylocereus* and *Selenicereus* Vine Cacti (Cactaceae): Evidence from Hybridization and Cytological Studies. Annals of Botany 94: 527–534, doi:10.1093/aob/mch183, available online at [www.aob.oupjournals.org](http://www.aob.oupjournals.org).
- VALIENTE-BANUETA A. SANTOS GALLYA R, ARIZMENDIB M.C AND CASAS A. 2007.Pollination biology of the hemiepiphytic cactus *Hylocereus undatus* in the Tehuacán Valley, Mexico. Journal of Arid Environments 68 (2007) 1-8 doi:10.1016/j.jaridenv.2006.04.00
- WEISS J., A. NERD & Y. MIZRAHI. 1994. Flowering behavior and pollination requirements in climbing cacti with fruit crop potential. HortSci. 29: 1487-1492.
- WEISS. J., L. SCHEINVAR, AND Y. MIZRAHI. 1995. *Selenicereus megalanthus* (the yellow pitaya), a climbing cactus from Colombia and Peru. Cactus and Succulent Journal (U.S.) 67: 280-283.
- WU.L-C; H.-W. HSU.; Y.-CH. CHEN.; CH.-CH. CHIU.; Y.-I. LIN.: J.-A HO. 2006. Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya. Food Chemistry 95 (2006) 319–327.
- ZAPPI, D.C.1994. *Piloseocereus* (Cactaceae) The Genus in Brazil. Royal Botanical Gardens, Kew, England.

# CAPITULO I

## CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA CAULINAR Y REPRODUCTIVA DE TRES GENOTIPOS DE PITAHAYAS (*Hylocereus* spp.) DE LA MIXTECA POBLANA

### 1.1. Resumen

En México, se han identificado tres especies del género *Hylocereus* cultivadas y silvestres, de pulpa blanca y solferina, con importancia económica. El objetivo fue identificar las características morfológicas caulinares y reproductivas de dos genotipos de pulpa solferina y uno de pulpa blanca. En los tallos se midió la longitud (TI), ancho (Ta), altura de cresta (Ca), distancia entre aréola (Ad), número de espinas (En) y longitud (EI). En la flores se compararon 19 caracteres externos y 9 internos, los más importantes fueron longitud de la flor (FI), largo y ancho del ovario (OI y Oa), brácteas en la región del ovario (Ob), largo del tubo receptacular (Trl), longitud y grosor del estilo (Esl y Eg), distancia hercogamia (Hd), largo (Lol), ancho de lóculo (Loa) y (Tcm) coloración de los tépalos medios. En frutos se asignaron 16 caracteres, los más importantes fueron: longitud (Frl), diámetro ecuatorial (Frd), peso (Frp), número de brácteas(Frb), coloración de la pulpa(Frcp) y dulzura(SST). Con base en el análisis estadístico (InfoStat) se concluyó que: los tallos de B1 tuvieron mayor TI (107.10 cm), Ta (6.0 cm) y Ca (3.27cm), diferente de S1 con menor TI (34.55cm). B1 y S2 sin diferencia en Ad (5.53 y 5.47 cm) respectivamente, y diferentes de S1 (3.88 cm), el En (5, 1 y 2) y EI (0.54, 0.45 y 0.29 cm) de B1, S2 y S2, respectivamente, son predominantes bajo estos ambientes. Las flores más grandes fueron de B1 (38 cm), seguidas por S2 (33.8 cm) y S1 (29.8cm). S2 tuvo mayor Trl (12.10 cm), Ob (36), OI (6.50 cm), se distinguen por (Tcm) amarillentos, comparados con los verdes de B1 y S1. S1 sólo tuvo mayor Oa (3.84cm) y Eg(0.71cm). No hubo diferencia entre los genotipos en la Hd. La Frl, fue mayor en S2 (14.75 cm), diferente de B1 (13.18 cm) y menor en los frutos de S1 (7.97). El Frd fue mayor en frutos de B1 (9.83 cm), seguido por S2 (8.14 cm) y menor en S1 (6.55 cm), El Frb, fue mayor en S2 (38), comparadas con B1 (18) y S1 (19). La Frcp fue blanca en B1, solferina en S1 y solferina intensa o púrpura en S2. Los SST sin diferencia para B1 y S2 (17.7 y 18.13°Brix) y menor en S1 (14.35°Brix). Existen diferencias significativas en los caracteres morfológicos de tallos, flores y frutos entre genotipos.

**Palabras clave adicionales:** caracteres, genotipos, tallos, flores, frutos.

# CHAPTER I

## MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF STEM AND REPRODUCTIVE OF THREE PITAHAYA(*Hylocereus spp.*) GENOTIPES FROM MIXTECA POBLANA

### 1.2. Abstract

In Mexico, we have identified three species of the genus *Hylocereus* cultivated and wild, it has the white and solferina flesh with economic importance. The aim was to identify the morphological characteristics of stem and reproductive two solferina pulp and one white pulp genotypes. In the stems the length (TI), width (Ta), peak height (Ca), distance between areola (Ad), number of spines (In) and length (El) was measured. The flowers 19 internal and 9 external characters were compared, the most important were flower length (Fl), throughout the ovary (Ol and Oa), bracts in the region of the ovary (Ob) receptacular along the tube (Trl), length and thickness, style (Esl and Eg) herkogamy distance (Hd), long (lol), width locule (Loa) and (Tcm) tepalos coloring media. In fruits were allocated 16 characters, the most important were: length (Frl), equatorial diameter (Frd), weight (Frp), number of bracts (BFR), flesh coloration (FRCP) and sweetness (SST). Based on statistical analysis (InfoStat) concluded that: B1 stems had higher TI (107.10 cm), Ta (6.0 cm) and Ca (3.27cm) different from S1 with lower TI (34.55cm). B1 and S2 no difference in Ad (5.53 and 5.47 cm) respectively, and different from S1 (3.88 cm), the In (5, 1 and 2) and the (0.54, 0.45 and 0.29 cm) of B1, S2 and S2, respectively, are prevailing under these environments. The larger flowers were B1 (38 cm), followed by S2 (33.8 cm) and S1 (29.8cm). S2 had greater Trl (12.10 cm), Ob (36), Ol (6.50 cm), are distinguished by (Tcm) yellowish green compared to B1 and S1. S1 had only increased Oa (3.84cm) and Eg (0.71cm). There was no difference between genotypes in Hd. The Frl was higher in S2 (14.75 cm), different from B1 (13.18 cm) and lower in the fruits of S1 (7.97). FRD was higher in fruits of B1 (9.83 cm), followed by S2 (8.14 cm) and less in S1 (6.55 cm), The BFR was higher in S2 (38), compared to B1 (18) and S1 (19). The FRCP was white in B1, S1 and intense solferina or purple solferina in S2. The SST no have difference to B1 and S2 (17.7 and 18.13 ° Brix) and lowest in S1 (14.35 ° Brix). There are significant differences in morphological characters of stems, flowers and fruits between genotypes.

**Keywords:** characters, genotypes, stems, flowers, fruits.

### 1.3. Introducción

#### Antecedentes

Las claves para describir las especies del género *Hylocereus*, datan de 1909, descritas por Britton y Rose (1963), publicadas por Bravo en 1978.

En el herbario virtual de CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad) en México, se presentan muestras de *Hylocereus sp*, con fechas de 1844, 1905, 1906 y 1924, realizadas en San Luis Potosí y Tehuacán, México, no se distinguen datos en las fichas técnicas por su precario deterioro y todas fueron identificadas como *Hylocereus undatus* (CONABIO, 2014).

En los ejemplares del herbario virtual de Missouri Botanical Garden, se pueden encontrar alguna especies del genero *Hylocereus*, con muestras muy pobres, Los datos de la identificación son de 1918 para *Hylocereus undatus* (Haw.) Britton y Rose y de 1920 para *Hylocereus purpussi* (Weing.) Britton y Rose. Algunas fichas carecen de imágenes de referencia (Missouri Botanical Garden, 2014). No se encontraron descripciones e imágenes recientes de las especies del género *Hylocereus*.

#### Descripción de género *Hylocereus* (A. Berger) Britton et Rose.

Contr. U.S. Nat. Herb 12:428. 1909. Por H. Bravo H. y S. Arias M, 1978.

Bejucos, trepadores o epífitos; raíces adventicias; ramas principales y secundarias (laterales) con tres costillas, la base cilindroide, las ramas jóvenes con costillas numerosas, el margen recto o con podarios, cornificado o no cornificado. Areólas distantes entre sí; espinas no diferenciadas en radiales y centrales, cortas, rígidas, delgadas o cónicas, a veces sin espinas, las ramas jóvenes con espinas setosas. Flores grandes, solitarias, infundibuliformes, o algo irregulares por inclinación del tubo receptacular, nocturnas, pericarpelo y tubo receptacular con podarios bajos, incospicuos, las brácteas medianas a grandes, ocultan las paredes del pericarpelo y

el tubo receptacular, foliáceas, carnosas, generalmente adpresas, verdes o con color de los tépalos, se integra con los tépalos, las aréolas generalmente desnudas, a veces con pelos; tubo receptacular del mismo tamaño o más largo que los tépalos, cubierto por las brácteas del perianto con tépalos numerosos, extendidos o reflexos, blancos, rara vez rojos; estambres numerosos, dispuestos en una sola serie, desde el tercio inferior del tubo receptacular hasta la garganta. Frutos globosos a ovoides, rojos, rojo-purpúreos, escarlata o rosados, no tuberculados, las brácteas numerosas, persistentes, grandes, las aréolas desnudas (una especie con espinas cortas), dehiscente, la pulpa jugosa, blanca, roja o purpúrea, los remanentes florales persistentes o no persistentes; semillas ovoides a piriformes, la testa lisa o con puntuaciones pequeñas, negra brillante. Aproximadamente 18 spp. Distribuidas en México, Centroamérica, Colombia, Venezuela, Trinidad y Tobago, Guayana Francesa, Surinam, Ecuador, Perú y Antillas.

Las claves de tres especies de interés económico que se reportan en México son las siguientes, según Bravo y Sánchez, 1978.

A. Tallos azulosos, glaucos, a lo menos los adultos.

B. Espinas 3 a 6, cortas; segmentos exteriores del perianto agudos, más cortos que los interiores.....1. ***H. purpusii***

BB. Espinas 5 a 8, aciculares, delgadas, de 5 a 12 mm de longitud; segmentos exteriores del perianto angostos, largamente acuminados.....2. ***H. ocamponis***

AA. Tallos verdes o verde glauco; espinas 1 a 4 o más; subcónicas; segmentos exteriores del perianto acuminados.....3. ***H. undatus***

### 1. ***Hylocereus purpusii*** (Weingart) Britton et Rose, Cactaceae 2:184. 1920

Plantas epífitas. Costillas 3 o 4 con márgenes cornificados y ligeramente ondulados. Aréolas pequeñas. Espinas 3 a 6, cortas y cónicas. Flores de 25 cm de largo y ancho cuando están bien abiertas; segmentos exteriores del perianto angostos, color rosa,

acuminados, los intermedios amarillento y los interiores blancos con la punta amarillenta; estilo grueso, amarillo; lóbulos del estigma 20.

Distribución: Estados de la costa del Pacífico: Nayarit, Jalisco, Colima y Michoacán.

**2. *Hylocereus ocamponis*** (Salm-Dick) Britton et Rose, Contr. U.S. Nat. Herb. 12: 429.1909

Tallos triangulares con raíces aéreas, articulados, más o menos ramificados. Costillas onduladas con márgenes cornificados. Aréolas distantes entre sí 2 a 4 cm, situadas al principio de cada ondulación. Espinas de 5 a 8, de 5 a 12 mm de longitud, aciculares, delgadas y amarillentas. Flores de 25- 30 cm de largo; segmentos exteriores del perianto lanceolados, largamente acuminados, verdosos, extendidos o reflexos; segmentos interiores del perianto oblongos, acuminados, blancos; ovario con escamas imbricadas, ovadas con margen purpúreo; estilo grueso, lóbulos del estigma 22, lineares, enteros, verdes. Fruto rojo púrpura, ovoide, de 10 cm de longitud y 7 cm de diámetro, indehiscente, con escamas pequeñas, lanceoladas, acrescentes hacia el ápice, de 1 a 2 cm de largo y 2.5 cm de ancho; pulpa abundante. Semillas negras.

Distribución: Estados de la costa del Pacífico: Sinaloa, Jalisco, Colima y Michoacán. Britton y Rose indican que también existe en Colombia.

**3. *Hylocereus undatus*** (Haworth) Britton et Rose in Britton, Flora Bermuda 256. 1918.

Plantas terrestres o epifitas. Tallos triangulares que trepan por los árboles, son muy largos y ramificados, de 5 a 6 cm de diámetro. Costillas casi siempre 3, anchas, delgadas, margen sinuado, con la edad algo córneo. Aréolas distantes entre sí de 3 a 4 cm. Espinas de 1 a 3, pequeñas. Flores de 30 cm de largo o más; segmentos exteriores del perianto amarillentos; segmentos interiores del perianto blancos,

oblanceolados, anchos y enteros; filamentos delgados, color crema; estilo grueso de 7 a 8 mm de diámetro; lóbulos del estigma como 24, delgados y enteros. Fruto oblongo, de 10 a 12 cm de diámetro, rojo purpúreo con grandes escamas foliáceas, es comestible y tienen la pulpa blanca. Semillas pequeñas y negras.

Distribución: Se desconoce el lugar de origen. Actualmente se cultiva en toda América tropical y en algunos lugares de China. En México, se encuentra silvestre en casi todas las selvas tropicales deciduas y sub deciduas.

Mientras que Bravo y Sánchez (2011), hicieron una adecuación de nueve especies del género *Hylocereus*, descartaron a *H. purpusii* y *H. ocamponis* y reconocieron las siguientes:

1. ***H. minutiflorus***: Flores pequeñas de 3 a 5 cm, con tépalos externos amarillentos con tonos rosados al margen.
2. ***H. stenopterus***: Flores pequeñas de 8 a 12 cm, con tépalos externos pardopurpúreos o rojizos- purpúreos.
3. ***H. calcaratus***: Flores grandes de 25 a 37(-40) cm, costillas de las ramas con el margen lobado, los lobos sobresalen 1 a 2.5 cm. Frutos y semillas no conocidas.
4. ***H. guatemalensis***: Flores grandes de 25 a 37(-40) cm. Costillas de las ramas con el margen cornificado. Frutos 6 a 10 x 6 a 7 cm, globosos a ovoides, rojo-purpúreos, las brácteas 1 a 2 x 2.2 a 3 cm, anchamente deltoides, verde-rojizas, la pulpa roja; semillas 3 x 2 mm. Se relaciona con *H. costaricensis* y *H. polyrhizus* por la espinas y la flor, se diferencia por la presencia de un margen cornificado sobre las costillas. Endémica (Guatemala y Chiapas), se encuentra de los 0- 1500 msnm.

5. ***H. polyrhizus***: Flores grandes de 25 a 37(-40) cm. Ramas delgadas, hasta 4 cm de ancho. Frutos 7 a 10 cm, elipsoide, rojo brillante, las brácteas grandes, escarlatas, la pulpa roja- purpúrea; semillas 2.6 a 3 x 1.5 a 1.7 mm, ovoides. Se han colectado en Nicaragua, Costa Rica, Panamá, Colombia y Ecuador, desde los 0- 2000 msnm. *H. polyrhizus* está relacionada con *H. costaricensis*, de las que difiere únicamente por el grosor de los tallos.
  
6. ***H. costaricensis***: Flores grandes de 25 a 37(-40) cm. Ramas más gruesas, 5 a 10 cm de ancho. Frutos de 10 cm de longitud, elipsoides, escarlata al madurar, semillas no conocidas. Endémica, encontrada desde los 300 hasta los 1500 msnm.
  
7. ***H. monacanthus***: Flores grandes de 25 a 37(-40) cm. Costillas con margen no cornificado. Frutos 6 a 8 x 5 a 7 cm, globosos a ovoides, rojo- rosados, las brácteas 0.4 a 2.2 x 1 a 1.5 cm, las inferiores anchamente deltoides, las superiores angostamente deltoides, el ápice agudo o acuminado. Se encuentra en las selvas bajas. Colombia de 0 – 300 msnm.
  
8. ***H. undatus***: Flores grandes de 25 a 37(-40) cm. Margen de las costillas crenado; lóbulos del estigma bífidos. Frutos 8 a 14 x 7 a 9 cm, ovoides a subglobosos, rojo- purpúreo a rosados, las brácteas 0.6 a 4.5 x 1.6 a 3 cm, las inferiores anchamente deltoides, las superiores ovado lanceoladas, del mismo color que el pericarpelo, con tonos verdosos, la pulpa blanca, a veces con tono rosado a purpúreo, algo aromática; semillas 2 a 3 x 1 a 1.5 mm, piriformes. Localizada de México a Brasil, en las Antillas y cultivada en varias partes del mundo, a 300- 2000 msnm.
  
9. ***H. escuintlenses***: Flores grandes de 25 a 37(-40) cm. Margen de las costillas casi entero; algunos lóbulos del estigma bífidos. Frutos de 9 x 6.5 cm, elipsoides, rojo purpúreos, las brácteas 0.4 a 3 x 0.3- 1 cm, las inferiores ovadas, las superiores lanceoladas, recurvadas, la base roja purpúrea, el

ápice verde amarillento, la pulpa blanca con tono rosado, dulce; semillas 2 a 2.2 x 1.3 a 1.5 mm, ovoides. Se hábitat natural son los bosques semi húmedos, margen de las barrancas y arroyos, selvas medianas. Localizada desde los 1000 a 1300 msnm.

### **Especies excluidas**

***H. ocamponis*** (Salm- Dyck) Britton & Rose, esta especie es nativa del occidente de México, el nombre está dado en honor al científico y político mexicano Don Melchor Ocampo, quien vivió en el siglo pasado y propuso un sistema de clasificación de las cactáceas en 1866.

*H. polyrhizus* fue identificado en Costa Rica como *H. triangularis*, especie nativa de Cuba, Jamaica y República Dominicana.

La descripción de las especies no está bien definida aún y muchos de los trabajos describen y caracterizan los genotipos con nombres locales o regionales, buscando cierta afinidad con los descriptores originales.

García *et al.*, (2009), realizaron la descripción anatómica caulinar de tres especies (*H. ocamponis*, *H. purpusii* y *H. undatus*) colectadas en Nayarit, Guerrero, Michoacán y Chiapas. Evaluaron los tejidos primarios mediante microtecnica convencional de inclusión en parafina y los tejidos secundarios mediante cortes con micrótopo de deslizamiento sin inclusión. Las tres especies tienen cutícula lisa, con un espesor que varía de  $8.01 \pm 1.44 \mu\text{m}$  en *H. purpusii* hasta  $10.94 \pm 1.26 \mu\text{m}$  en *H. ocamponis*. La epidermis es simple, cuyas células presentan forma rectangular en corte transversal, con cristales de oxalato de calcio de forma prismática. La hipodermis es colenquimatosa, con estratos que varían de dos a cuatro, y un grosor de  $130.91 \pm 30.27 \mu\text{m}$  en *H. undatus* hasta  $196.85 \pm 14.90 \mu\text{m}$  en *H. ocamponis*. En la corteza primaria se observaron dos regiones, una de clorénquima y otra de parénquima reservante que está conformada de células de parénquima e idioblastos

redondos con mucílago, en todas las especies. Anatómicamente, existen atributos como el grosor de la cutícula, longitud y diámetro del elemento de vasos, longitud de fibra, así como ancho y altos de radio, que permiten explicar la variación de las tres especie, y algunas características se relacionan con algunas variables geográficas.

Otras descripciones de las especies de *Hylocereus*, se han enfocado a los caracteres morfológicos, y el estudio se realiza con genotipos regionales, como lo hicieron en la Península de Yucatán, México (Castillo- Martínez *et al.*, 2005), que realizaron la caracterización morfológica de 5 genotipos, comparando variable cuantitativas de la flor, el fruto, el tallo, las semillas y el polen. Los genotipos se diferenciaron principalmente por las características de sus estructuras reproductivas. En las flores se midió su longitud, el diámetro del ovario, la longitud y el grosor del estilo, el número de lóbulos del estigma, la longitud de los estambres, el diámetro y longitud del lóculo del ovario, la distancia de hercogamia, el color del estigma, y la coloración de las flores. Dos genotipos resultaron con las flores de menor longitud y el ovario más delgado, con mayor pigmentación rojiza en las brácteas verdes y petaloides, mayor número de lóbulos por estigma y estos fueron bifurcados o trifurcados. Un genotipo tuvo un ovario y un estilo más gruesos que los demás. Las características consideradas que permitieron distinguir las flores de los genotipos, fueron: la longitud, la separación entre estambres y estigmas, el grosor del estilo, y el número de lóbulos del estigma.

En los frutos se determinó su color, el diámetro ecuatorial, la longitud, el número de brácteas, la longitud y la anchura de brácteas, el grosor y peso del pericarpio, el peso de la pulpa, y el contenido de sólidos solubles. Las características relevantes del fruto fueron peso total, peso de la pulpa, longitud, diámetro, grosor del pericarpelo, grados Brix, número de brácteas, longitud y anchura de estas últimas estructuras, porque hubo diferencias significativas entre genotipos. La distancia entre aréolas, la altura de ondulación entre aréolas, el número de espinas por aréolas y su longitud promedio fueron variables descriptivas del tallo (Castillo- Martínez *et al.*, 2005).

En Colombia, se realizó la caracterización morfológica “in situ” de especies de pitahaya roja (*Hylocereus spp.*) y concluyeron que los descriptores más significativos en tallos fueron, la dirección de la curvatura, la dureza del margen, la distancia entre aréolas y el número de espinas. Mientras que en los frutos, encontraron diferencia en la longitud, diámetro ecuatorial y peso del fruto, los frutos que se caracterizaron tuvieron un peso de los 37 a los 290 g, y a esta variable se le atribuyó la influencia de las condiciones silvestres de los materiales. Los frutos se diferenciaron por el color de la pulpa, identificando dos grupos de rojo- rojo intenso y un genotipo de pulpa blanca, la forma de los frutos son ovoides a redondos. Los frutos de pulpa roja tuvieron 10 a 18°Brix, mientras que en los genotipos de pulpa blanca fue de 10.5 a 14°Brix, que se considera un parámetro de calidad aceptable para su comercialización. No se compararon estructuras reproductivas (Mejía *et al.*, 2013).

La caracterización ha despertado el interés para seleccionar genotipos con mayores cualidades agronómicas y organolépticas para la alimentación y el mercado. Es la pitahaya *Hylocereus undatus* de pulpa blanca, la más descrita, pero en México, Colombia, Israel y otros países, están interesados en genotipos de pulpas roja o solferinas, que aún no están establecidas pero son materiales prometedores en su productividad, al menos lo demostrado en varios trabajos, porque emiten un mayor número de flores pero con problemas de amarre.

En Morelos, México, se estudió la fenología reproductiva, el rendimiento y calidad de frutos de seis genotipos llamados CP-152, CP-154, CP-171, CP-175, CP-178 y CP-182 con diferencias en color del pericarpelo y pulpa del fruto. Los materiales presentaron aborto de flores en diferentes magnitudes del 30 al 73 %. El rendimiento de fruto varió de 1.5 a 3.1 kg planta<sup>-1</sup>. Las concentración de SST (° Brix) en pulpa variaron entre 14.5 y 17.6; los de pulpa de color rojo y magenta tuvieron mayor contenido de SST que la blanca. Los genotipos evaluados presentaron diferente fenología y capacidad productiva, por el número de yemas reproductivas y flores producidas. Es posible ofertar frutos desde de mayo hasta noviembre, bajo las condiciones climáticas de Tepoztlán, Morelos (Martínez, 2012).

En Israel, se reportan diversas especies y clones de pitahaya, y trabajos de mejoramiento genético. Con la finalidad de mejorar la características morfológicas se identificaron especies con diferentes caracteres en el fruto: *H. undatus* tiene un fruto ovoide de 568 g en promedio, pericarpelo rosa, de pulpa blanca y brácteas grandes, *H. monacanthus* con un peso de 536 g, pericarpelo rosa, pulpa roja- purpúrea, y grandes brácteas, *H. costaricensis* de 294 g de peso en el fruto, pericarpelo rosa y pulpa roja- purpúrea pero con las brácteas más delgadas y plegadas al fruto, *H. megalanthus* tiene frutos pequeños de 218 g, con pericarpelo amarillento con espinas y pulpa blanca. Las especies tienen un número cromosómico de 22 n, excepto *H. megalanthus* que es 44 n. En Israel, son 29 +-3 días de flor a madurez del fruto en las especies mencionadas, pero *H. megalanthus* se reportó de 100 a 160 días de flor a fruto maduro, al menos en esas condiciones (Tel- Zur *et al.*, 2004).

Observaciones citológicas mostraron que *H. cubensis* (syn. *H. triangularis*), *H. guatemalensis*, *H. monacanthus* (incluida *H. polyrhizus*), *H. ocamponis* (syn. *H. purpusii*), *H. triangularis* (incluida *H. cubensis*), *H. trigonus*, *H. undatus*, *S. grandiflorus*, *S. grandiflorus*, subsp. *Hondurensis* (syn. *S. hondurensis*), *S. pteranthus* y *S. spinulosus* son diploides, mientras que *H. megalanthus* es tetraploide (Lichtenzveig *et al.*, 2000).

En las especies que tienen pulpa de color, se presenta un mecanismo de autoincompatibilidad sexual, de tal modo, que al momento de describir los frutos, estos pueden cambiar. Las características de los frutos, en ocasiones son diferentes de acuerdo a la fuente de polen, tal como lo demostraron en Israel por Mizrahi *et al.*, (2004), que manipularon las flores de *Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britton & Rose clon 89-028, *Selenicereus grandiflorus* (L.) Britton & Rose clon 92-080, y *Selenicereus megalanthus* (Schum.) Britton & Rose y las polinizaciones cruzadas entre las especies dieron como resultado, frutos con diferente peso en la misma especie, dependiendo de la fuente de polen. En la cruce de *H. polyrhizus* con clones de *H. undatus*, se obtuvieron frutos con un peso de 391.8 g en promedio, pero

cuando *H. polyrhizus* fue polinizada con *S. grandiflorus*, los frutos pesaron en promedio 461.2 g y cuando se cruzó con *S. megalanthus*, solo pesaron 224.3 g, además en esta última cruce los frutos maduraron hasta los 51 días, comparados con los 31 y 36 días de las otras dos cruces.

## **Objetivo General**

- Identificar, describir y caracterizar morfológicamente los componentes caulinares, foliares y reproductivos de tres genotipos de pitahaya (*Hylocereus spp.*) de la Mixteca Poblana.

## **1.4 Materiales y Métodos**

### **Localización**

En la primavera del 2014, se identificaron tres genotipos de pitahaya (*Hylocereus spp.*) dos cultivados y uno semicultivado en dos localidades de la Región Mixteca Poblana, ubicadas al sur del estado de Puebla, con las siguientes coordenadas geográficas: Dolores, Huitziltepec a 18°45.179' LN, 97° 51.136' LW a 1964 m y Zacapala a 18° 35.728' LN, 98° 04.032' LW a 1333 m. Los datos fueron registrados con un GPS modelo GARMIN serie 3853442541 y con formato de posición hddd°mm.mmm'.

Huitziltepec, presenta un sólo clima C (W<sub>0</sub>) (W): clima templado sub húmedo con lluvias en verano; temperatura media anual entre 12 y 18°C, la temperatura del mes más frío entre -3 y 18°C; precipitación pluvial del mes más seco menor de 40 mm y precipitación anual de 600 a 700 mm. Se pueden identificar 4 tipos de suelo Litosol, delgado y con tepetate, Chernosem, suelos negros y acumulación calcárea que ocupa la mayor parte de las zonas planas, Vertisol de textura arcillosa y pesada y Cambisol, arcillosos y pesados en áreas reducidas (INEGI, 2009).

Zacapala, presenta dos climas: el predominante es cálido subhúmedo, con lluvias en verano; temperatura media anual mayor a 22°C; temperatura del mes más frío mayor de 18°C, precipitación del mes más seco de 60 milímetros y precipitación anual de 600 a 700 mm, se identifica en la porción oriental. Y el clima semicálido subhúmedo, con lluvias en verano, temperatura media anual entre 18 y 22°C, temperatura del mes más frío mayor de 18°C y precipitación del mes más seco menor de 60 milímetros, se presenta al noroeste y sureste. Se identifican 6 tipos de suelo, los regosoles, feozem, rendzinas, castañozem y vertisoles, adecuados para las actividades agrícolas y ganaderas con el adecuado manejo de su fertilidad (INEGI, 2009).

### **Material vegetal**

Los genotipos de Pitahaya fueron nombrados de acuerdo a la coloración de su pulpa. Pitahaya de pulpa blanca (B1), pitahaya de pulpa solferina (S1) de Huitziltepec y pitahaya de pulpa solferina o púrpura (S2), de Zacapala.

Las plantas de los genotipos B1 y S1, se encuentran establecidos en una plantación de pitaya-pitahaya en Huitziltepec y tienen más de 30 años, mientras que el genotipo S2, se encuentra en los traspatios de Zacapala, y son plantas con más de 30 años soportadas por los mezquites (*Prosopis juliflora*), sin manejo agronómico.

### **Metodología**

Durante la primavera y el verano del 2014, se colectaron en distintas fechas, flores y frutos de los tres genotipos. Se utilizó un método destructivo, que consistió en dibujar, cuantificar, cortar y medir cada uno de los componentes de la flor y el fruto, los datos se registraron en la libreta de campo y en una base de datos en Excel. Los dibujos o esquemas se realizaron en papel albanene y tinta china, para representar los detalles y las diferencias entre los genotipos estudiados. Para la comparación o estudio morfológico caulinar, las variables se evaluaron directamente en campo y

sólo se colectaron algunas muestras para los esquemas. Se tomaron algunas observaciones en el comportamiento de las raíces adventicias.

## **Variables**

### **Descriptores de raíces adventicias**

Por el hábito de crecimiento epífita y semi epífita de la planta, se desarrollan raíces adventicias, producidas a partir del tejido vascular del tallo. Se describieron las características en número y longitud de raíces emitidas de cada genotipo.

### **Descriptores caulinares**

Los tallos de pitahaya son de color verde, succulentos, formados de tres costillas con ondulaciones en los márgenes, donde se insertan las aréolas, protegidas a su vez por espinas.

Se colectaron 20 tallos de cada genotipo, procurando que no fuesen tallos avejentados, ni jóvenes, con crecimiento vegetativo del año anterior y se consideraron los siguientes descriptores.

1. **(Tl) Crecimiento modular del año (cm)**. Se refiere a la longitud que alcanza durante un período de crecimiento, diferenciado del siguiente por una estrangulación natural del tallo, se midió con cinta milimétrica.
2. **(Ta) Ancho del tallo (cm)**. De las tres costillas que tiene el tallo, presenta un lado plano, que le sirve a la planta de soporte y la emisión de raíces adventicias al tutor, se consideró la parte media del mismo.
3. **(Ca) Altura de la cresta (cm)**. En las costillas del tallo se producen ondulaciones o crestas, se tomó la altura de la cresta en la costilla media a la mitad del tallo.
4. **(Ad) Distancia entre aréola (cm)**. La separación entre una aréola y otra, en la parte inferior de cada ondulación, se sacó la distancia media de 5 aréolas por costilla (15 datos por tallo) de la parte media del tallo.

5. **(En) Número de espinas (unidad).** Se tomaron 30 datos por tallo para determinar el número de espinas que predominaba.
6. **(Le) Longitud de la espina (cm).** Se midieron con un vernier digital, 40 espinas colectadas de cada genotipo, y se tomó de cada lectura la unidad máxima, ya que las aréolas pueden tener más de una espina, pero siempre una más grande que las otras.

Para su mayor comprensión, en el esquema se ilustran las partes del tallo y las siglas designadas para su posterior interpretación (FIGURA. 1.1).

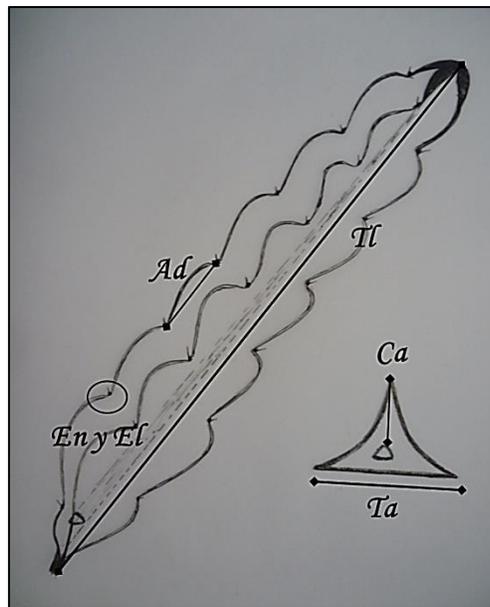


FIGURA. 1.1 Descriptores del tallo en pitahaya: (TI) crecimiento modular, longitud, (Ta) ancho en la parte plana y media del tallo, (Ca) altura de cresta en la parte media del tallo, (Ad) distancia entre aréolas en la parte media del tallo, (En) número de espinas predominantes en las aréolas, (EI) longitud de la espina más grande.

### Descriptores de las flores

Para caracterizar morfológicamente las flores, se colectaron 10 flores de distintas plantas de cada genotipo y se cortaron para tomar los datos de las características externas e internas. La colecta se realizó en tiempos distintos, de acuerdo a la disponibilidad del material, pero siempre con el mismo patrón de descripción.

1. **(Fl) Longitud de la flor (cm).** Se midió con una regla la longitud desde el punto de inserción hasta el ápice de la flor.
2. **(Ol y Oa) Tamaño del ovario, largo y ancho (cm).** Se midió con un vernier manual el largo y ancho de la región del ovario de la flor, posteriormente, en un corte longitudinal, se midió con una regla las dimensiones internas del mismo.
3. **(Ob) Número de hipsófilos o brácteas (unidad).** Se contaron por separado las brácteas que cubren la región del ovario (porque son las que posteriormente se relacionan con el número de brácteas por fruto) y las del hipanto o tubo receptacular.
4. **(Bl y Ba) Tamaño de brácteas (cm).** Se midió con una regla el largo y ancho de las brácteas, considerando por separado las de la región del ovario de las del hipanto, por el mismo motivo que ocurre en la variable anterior
5. **(Btr) Número de brácteas que cubren el tubo receptacular.** Se contaron las brácteas de la parte más angosta de la flor, que cubren el tubo receptacular.
6. **(Trl y Tra) Dimensiones del tubo receptacular o hipanto (cm).** Se midió con una regla a la longitud y con un vernier el diámetro de lo que forma el tubo receptacular de la flor, donde termina la región del ovario y empieza la copa de la flor.
7. **(Et, Mt y It) Número de tépalos externos, medios e internos (unidad).** Los tépalos que cubren los órganos sexuales de la flor se diferencian en tamaño, consistencia y color, y de acuerdo a sus características se agruparon y se contaron.
8. **(Etl y Eta) Tamaño de tépalos externos, medios e internos (cm).** Se midió la longitud y la anchura en la parte media de los tépalos, para obtener un dato promedio de cada componente.
9. **(Tc) Coloración de los tépalos (apreciativo).** Esta variable, indica las tonalidades verdes, amarillentas, márgenes púrpuras o ausencia de coloraciones en las flores de los tres genotipos.

10. **(Esl y Eg) Tamaño del estilo (cm)**. Mediante un corte longitudinal de la flor, se midió la longitud de estilo, desde la base del mismo hasta donde empiezan a formarse los lóbulos del estigma, es decir, longitud del estilo sin lóbulos. El ancho se midió con el vernier, en la parte media del estilo.
11. **(El y LI) Número y longitud de lóbulos del estigma (unidad y cm)**. Se contabilizaron los lóbulos que conforman el estigma, y la longitud promedio de los mismos.
12. **Forma del estigma (apreciativa)**. Se utilizan los términos lóbulos enteros o bífidos, de acuerdo a lo que predomina en cada genotipo.
13. **(Hd) Distancia de hercogamia (cm)**. Ésta variable se consideró como importante, ya que indica la separación que existe entre las anteras y los lóbulos al momento de la antesis. Ésta medida se tomó de las flores con apertura floral inicial, antes de que los lóbulos se expongan horizontalmente para alcanzar a las anteras. Se midió con una regla la distancia que existe de las anteras más cercanas a la base de los lóbulos.
14. **(En) Número de estambre (unidad)**. Es la estimación del número de estambres presentes en cada flor, con un conteo de la mitad de la flor y extrapolando el dato, este fue una de las variables cuantitativas que se realizaba al final, por ser completamente destructiva.
15. **(Lol y Loa) Tamaño de lóculo (cm)**. En un corte longitudinal de la región del ovario se midió el largo y ancho de lóculo, característica que se consideró porque al momento de los cortes los tres genotipos presentaron formas diferentes del lóculo.

En el siguiente esquema se representan algunos de los componentes de las flores y las siglas designadas para su posterior interpretación (FIGURA 1. 2)

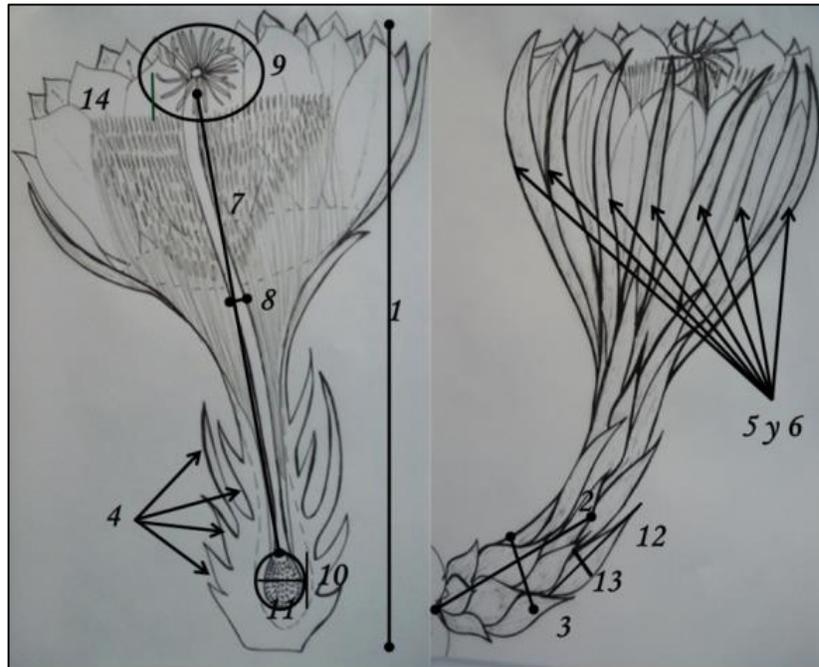


FIGURA 1.2. Descriptores de las flores en pitahaya 1. (Fl) longitud de la flor, 2. (Ol) longitud en la región del ovario, 3. (Oa) ancho en la región del ovario, 4. (Ob) número de brácteas en la región del ovario, 5. (Et) número de tépalos externos, 6. (Tc) coloración de los tépalos externos, 7. (Esl) longitud del estilo sin lóbulos, 8. (Eg) grosor del estilo, 9. (El) número de lóbulos del estigma, 10. (Lol) largo de lóculo, 11. (Loa) ancho de lóculo, 12. (Bl) longitud de brácteas, 13. (Ba) ancho de brácteas, 14. (Hd) distancia de hercogamia.

### Descriptores de frutos

Los frutos forman parte importante de la caracterización de las especies o genotipos, ya que algunos trabajos de descripción varietal no los incluyen. La oportunidad es mínima cuando se trabaja con especies incompatibles, pero en este trabajo, se tuvo la oportunidad de comparar los frutos de tres genotipos, algunos fueron producto de las polinizaciones manuales.

Se obtuvieron 10 frutos de cada genotipo, y las variables cualitativas y cuantitativas se obtuvieron a partir de métodos destructivos, además se realizó una prueba de

contenido de sólidos solubles totales o grados °Brix, con el fin de determinar si puede ser éste un parámetro de calidad que diferencie a los genotipos identificados.

### **Caracteres del fruto**

1. **(Frl) longitud del fruto (cm)**. Se tomaron las medidas con una regla en frutos maduros, longitudinalmente desde el punto de inserción con el tallo, hasta la región apical del fruto.
2. **(Frd) diámetro ecuatorial (cm)**. Con un vernier digital, marca Mituyoyo, se midió el diámetro ecuatorial, de la parte media y más ancha del fruto.
3. **(Frb) Número de brácteas (unidad)**. Se contaron las brácteas desde las pequeñas pero bien diferenciadas de la base del fruto, hasta las apicales o terminales, siempre en frutos recién cosechados, ya que las brácteas pierden turgencia, incluso las apicales se pierden en madurez avanzada.
4. **(Frbl) largo de las brácteas (cm)**. Se midió la longitud de las brácteas apicales con una regla milimétrica.
5. **(Frba) ancho de las brácteas (cm)**. Se midieron con una regla en ancho de las brácteas presentes en la región ecuatorial del fruto
6. **(Frp)Peso total del fruto (g)**. En una báscula digital se pesaron los frutos después de la cosecha, teniendo especial cuidado de eliminar los restos del tallo que quedan al hacer el corte.
7. **(Frpp) Peso del pericarpelo (g)**. Se separó el pericarpelo de manera convencional, como si fuese para consumo, algunos restos de pulpa quedaron adheridos, pero se utilizó el mismo criterio para todos los frutos y se pesaron en una báscula digital.
8. **(Frqp) Grosor del pericarpelo (cm)**. El grosor se midió con una regla milimétrica en un corte transversal del fruto, considerando la parte ecuatorial donde estuviese libre de brácteas.
9. **(Frc) Color del pericarpelo (apreciativo)**. Se denominó el color rosa intenso, rosa tenue y rojizo según la intensidad de color.

10. **(Frcp) Color de la pulpa (apreciativo).** Se denominó pulpa blanca, solferina y solferina-purpura, según la intensidad de color, de menor a mayor intensidad.
11. **(Frppu) Peso de pulpa (g).** Se pesó la pulpa de cada fruto en una báscula digital.
12. **(Spt) Peso total de semillas (g).** Las semillas se extrajeron de la pulpa mediante lavados continuos de agua, remojando y lavando y con ayuda de una coladera fina se eliminó el mucilago que las cubría, después de tres días de secado al sol, se colocaron en bolsitas de celofán y se pesaron en una báscula de precisión, descartando el peso de la bolsa.
13. **(Spm) Peso en muestra de 300 semillas (g).** Se contaron y pesaron las semillas, para estimar el número de semillas por fruto.
14. **(Sfr) Cantidad de semillas por fruto (unidad).** Se extrapolo el peso de 300 semillas al peso total de semillas por cada fruto para determinar el número aproximado de semillas por fruto. Al momento de lavar y quitar el mucilago siempre se pierden semillas, así que posiblemente los valores son inferiores a los reales.
15. **(SST) Contenido de Sólidos Solubles Totales (°Brix).** En un refractómetro digital marca HANNA, modelo HI 96801, agregando una gota del jugo de la parte media del fruto, se determinaron los °Brix de 4 frutos de cada genotipo, 3 días después de la cosecha.
16. **(Fruf) Forma del fruto (apreciativa).** Se denominaron como frutos ovoides, redondos o alargados, dependiendo de las formas predominantes en el mismo.

En el siguiente esquema se presentan algunos componentes externos, considerados para la caracterización de los frutos (FIGURA 1.3).

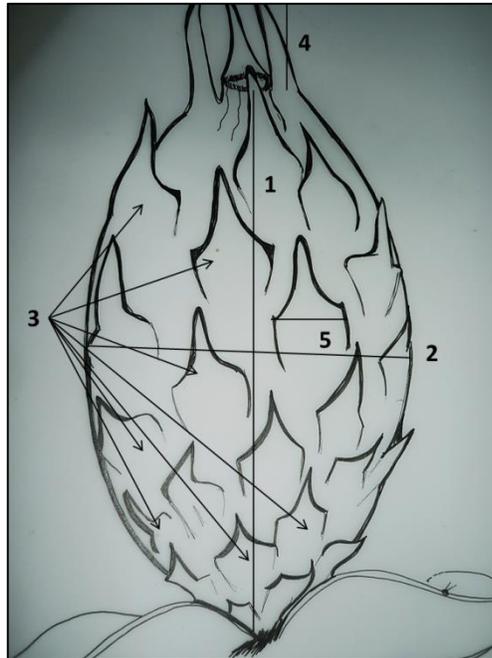


FIGURA. 1.3. Descriptores externos de los frutos de pitahaya: 1) longitud, 2) diámetro ecuatorial, 3) Número de brácteas, 4) Longitud de las brácteas apicales y 5) ancho de las brácteas en la región ecuatorial.

### **Análisis Estadístico**

Fue un Diseño Experimental Completamente al Azar, las muestras correspondieron a 3 genotipos distintos, colectadas según la disponibilidad del material y en tiempos distintos. Las repeticiones 20 para tallos, 10 para flores y 10 para frutos en cada genotipo y respetando las mismas variables o descriptores en cada uno de los genotipos, que corresponden a los tratamientos.

El análisis de datos se realizó en el programa estadístico InfoStat versión 2013 (Di Rienzo *et al.*, 2013), mediante el análisis de la varianza y la comparación de medias LSD Fisher, con nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ .

## Tratamientos

- T1. Genotipo B1 (pitahaya de pulpa blanca de Huitziltepec).
- T2. Genotipo S1 (pitahaya de pulpa solferina de Huitziltepec).
- T3. Genotipo S2 (pitahaya de pulpa solferina de Zacapala).

## VARIABLES RESPUESTAS

- Descriptores morfológicos de tallo, flor y fruto.

Modelo estadístico lineal en un diseño completamente al azar

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

Dónde:

$Y_{ij}$  representa la variable respuesta.

$\mu$  es la media general sino se hubiese aplicado ningún tratamiento.

$T_i$  es el efecto del tratamiento  $i$ .

$e_{ij}$  es el error experimental.

Hipótesis

Hipótesis nula  $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

Hipótesis alternativa  $H_a$ : Al menos una media de los tratamientos es diferente

Comparación de medias DMSH, con un  $\alpha .05$

## 1.5 Resultados

### Descriptores morfológicos de raíces.

Las raíces adventicias fueron emitidas de la parte plana del tallo, en tallos con crecimiento vegetativo reciente. La emisión de raíces coincide con el período de lluvia en la mixteca Poblana, de junio a septiembre, observándose emisión de nuevos brotes y raíces adventicias, que tienen la capacidad de fijarse en los árboles o tutores no vivos cercanos. Los genotipos presentan diferentes estados de desarrollo en sus raíces adventicias, con longitudes de 1 a 15 cm, las jóvenes suaves, quebradizas y de color blanco y las otras raíces fueron de color café y más duras.

En los tres genotipos las raíces aparecen en la parte más plana del tallo, en grupos de 10 a 20 en un espacio de 30 cm, pero siempre en los tallos jóvenes (FIGURA 1.4).

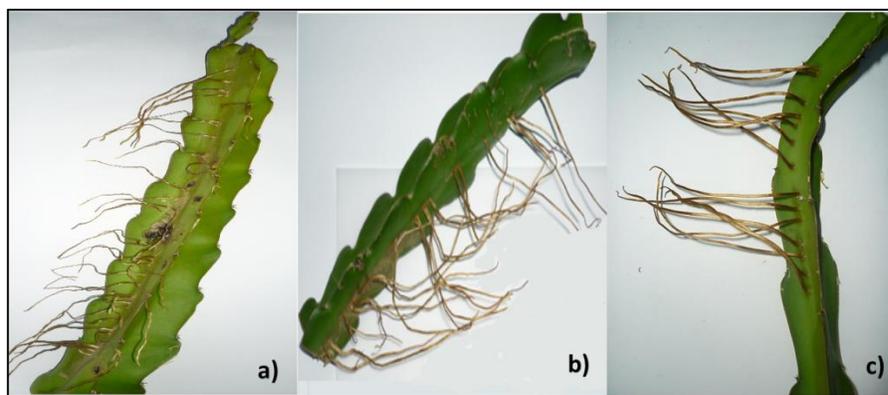


FIGURA 1.4. Raíces adventicias en segmentos de tallo a) genotipo de pulpa blanca (B1), b) genotipo de pulpa solferina (S1) y c) genotipo de pulpa solferina (S2).

### Descriptores morfológicos caulinares.

En campo, el crecimiento modular, el ancho del tallo y la altura de la cresta fueron características que se distinguieron a simple vista en las plantas de cada genotipo, existieron diferencias y similitudes entre ellos (CUADRO 1.1)

**CUADRO 1.1. Comparación de medias en tres caracteres caulinares de tres genotipos de pitahaya.**

Genotipo	n	Crecimiento modular (cm)	Ancho de la parte plana (cm)	Altura de la cresta (cm)
Blanca B1	20	107.10 a	6.00 a	3.27 a
Solferina S1	20	34.55 c	5.99 a	3.20 a
Solferina S2	20	84.35 b	5.06 b	2.35 b
DMS		14.592	0.435	0.251
E.E		5.15	0.15	0.09

Medias con una letra común no son significativamente diferente ( $p > 0.05$ )  
Prueba: LSD Fisher  $\alpha = 0.05$

### **Crecimiento modular (cm).**

La longitud o crecimiento modular del tallo, es una de las características más apreciativas en campo (CUADRO 1.1). Los tres genotipos presentan diferencias estadísticas y se destaca la longitud más corta del genotipo S1 (34.5 cm), menor en 59 % que S2 (84.35 cm) y 68 % menor que B1 (107.1 cm).

### **Ancho de la parte plana (cm)**

No hubo diferencia significativa en el ancho de la parte plana de las plantas (CUADRO 1.1) entre los genotipos B1 (6 cm) y S1 (5.9 cm), ambos superaron al genotipo S2 (5.02 cm).

### **Altura de la cresta (cm)**

Sin diferencia estadística entre los genotipos cultivados B1 (3.27 cm) y S1 (3.2 cm) que presentaron mayor altura de cresta (CUADRO 1.1), los cuales fueron diferentes al genotipo S2 (2.35 cm), que tiene ondulaciones menos pronunciadas en las costillas del tallo (FIGURA. 1.5)

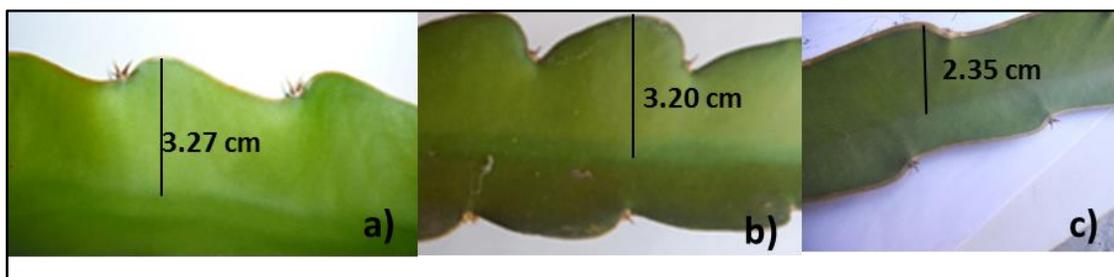


FIGURA. 1.5. Altura de cresta en tres genotipos de pitahaya de la mixteca poblana: a) genotipo de pulpa blanca (B1), b) genotipo de pulpa solferina (S1) y c) genotipo de pulpa solferina (S2).

Otros caracteres en el tallo que resultaron diferentes estadísticamente entre los genotipos fueron, la distancia entre las aréolas, el número de espinas y la longitud de la espinas más grande (CUADRO 1.2).

**CUADRO 1.2. Comparación de medias en caracteres caulinares de tres genotipos de pitahaya (continuación).**

Genotipo		n	Distancia entre aréolas (cm)	Número de espinas/ aréola	Longitud de la espina más grande (cm)
Blanca	B1	20	5.53 a	5.0 a	0.54 a
Solferina	S1	20	3.88 b	1.0 c	0.45 b
Solferina	S2	20	5.47 a	2.0 b	0.29 c
DMS			0.462	0.318	0.0428
E.E			0.16	0.11	0.02

Medias con una letra común no son significativamente diferente ( $p>0.05$ )  
 Prueba: LSD Fisher  $\alpha=0.05$

### **Distancia entre aréolas (cm)**

La separación entre aréolas en los bordes del tallo (CUADRO 1.2) es estadísticamente mayor en los genotipos B1 (5.53 cm) y S2 (5.47 cm), que la registrada en el genotipo S1 (3.88 cm).

### **Número de espinas**

Este carácter resultó ser muy distintivo por genotipo y predominante en los tallos jóvenes y adultos (CUADRO 1.2). El genotipo B1 (5 espinas por areola), los genotipos S1 y S2 presentan menor número de espinas predominando sólo una en el genotipo S1 y dos en el genotipo S2 (una más grande y una muy pequeñita), casi imperceptible en éste último.

### **Longitud de la espina de mayor longitud**

Las espinas más largas fueron del genotipo B1 (0.54 cm) y S1 (0.45 cm), y fueron diferentes estadísticamente con las espinas del genotipo S2 (0.29 cm) (CUADRO 1.2).

Las diferencias más significativas en estos tres caracteres fueron la longitud del tallo en el genotipo S1, predominando tallos cortos con crestas prominentes. Los genotipos B1 y S2 comparten longitudes parecidas pero diferentes en ancho y altura

de cresta, mientras que el genotipo B1 Y S1 comparte ancho del tallo y altura de cresta.

Los descriptores de tallos, son una herramienta valiosa en la identificación de los genotipos, destacando la longitud o el crecimiento modular, la altura de cresta y el número y longitud de las espinas como las variables más útiles para su identificación en campo, en cualquier época del año (FIGURA. 1.6).

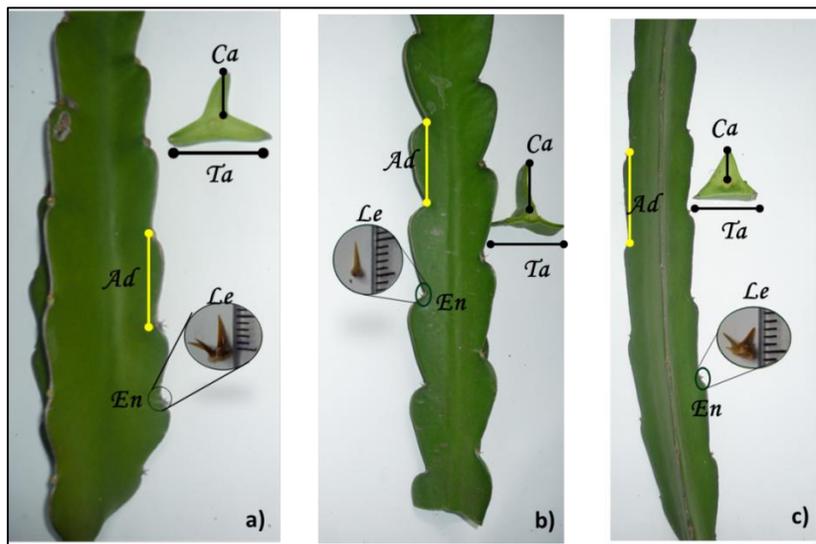


FIGURA.1.6. Características caulinares de tres genotipos de pitahaya de la mixteca poblana: a) genotipo de pulpa blanca (B1), b) genotipo de pulpa solferina (S1) y c) genotipo de pulpa solferina (S2). Variables: (Ad) distancia entre aréola, (Ca) altura de cresta, (Ta) ancho de la parte plana, (En) número de espinas/aréola y (El) longitud de la espina más grande

### Descriptores morfológicos reproductivos.

Las flores de las pitahayas son las más grandes de la familia de las cactáceas, miden entre 25 a 40 cm de largo, desde la parte basal unida al tallo hasta el ápice de los tépalos. En los genotipos identificados, se encontraron diferencias y similitudes en algunos caracteres. En el (CUADRO 1.3) se analizaron y compararon los caracteres de los genotipos B1, S1 y S2.

**CUADRO 1.3. Comparación de medias de caracteres externos de la flor, de tres genotipos de pitahaya de la Mixteca Poblana.**

Descriptores externos de las flores	DMS	E.E	N	Blanca B1	Solferina S1	Solferina S2
Longitud de la flor (cm)	1.667	0.57	10	38.0 a	29.8 c	33.8 b
Longitud en la región del ovario (cm)	0.629	0.22	10	5.75 b	5.80 b	6.50 a
Ancho en la región del ovario (cm)	0.323	0.11	10	3.58 a	3.84 a	3.18 b
Número de brácteas en la región del ovario	2.985	1.03	10	18.0 b	20.0 b	36.0 a
Ancho de brácteas en la región del ovario (cm)	0.161	0.06	10	1.69 b	1.92 a	1.14 c
Longitud de brácteas en la región del ovario (cm)	0.495	0.17	10	4.16 b	4.81 a	3.62 c

Medias con una letra común no son significativamente diferente ( $p>0.05$ )

Prueba: LSD Fisher  $\alpha=0.05$

**Longitud de la flor.** Las flores más grandes fueron las del genotipo B1 (38.0 cm), seguidas por las del genotipo S2 (33.8 cm) y las más pequeñas fueron las del genotipo S1 (29.8 cm) (CUADRO 1.3).

**Longitud en la región del ovario.** Destaca el genotipo S2 con 6.5 cm, superando estadísticamente a los otros dos genotipos B1 con 5.75 cm y S1 con 5.8 cm sin diferencias entre estos dos últimos (CUADRO 1.3).

**Ancho de la región del ovario.** En esta variable, los genotipos B1 y S1 presentaron valores iguales estadísticamente (3.58 y 3.84) respectivamente, superando al genotipo S2 (3.18 cm) que resultó con el ovario más estrecho (CUADRO 1.3).

**Número de brácteas en la región del ovario.** Los resultados de la prueba de comparación de medias indican que el genotipo S2 es el de mayor valor estadístico con 36 brácteas, marcando diferencias con los genotipos B1 Y S1 los cuales resultaron iguales con 18 y 20 brácteas respectivamente (CUADRO 1.3).

**Ancho de brácteas en la región del ovario.** Las brácteas más anchas fueron las del genotipo S1 (1.92 cm), seguidas por B1 (1.69 cm) y las más angostas la de S2 (1.14 cm), con diferencias significativas entre genotipos (CUADRO 1.3).

**Longitud de brácteas en la región del ovario.** Las brácteas, fueron más alargadas en S1 (4.81 cm), que en B1 (4.19 cm) y S2 (3.62 cm), con diferencias estadísticas entre genotipos (CUADRO 1.3).

Otros componentes externos de la flor fueron las del tubo receptacular, y los componentes que cubren al gineceo y el androceo (CUADRO 1.4).

**CUADRO 1.4. Comparación de medias de caracteres externos de la flor de tres genotipos de pitahaya de la Mixteca Poblana (continuación).**

Descriptores externos de las flores	DMS	E.E	n	Blanca B1	Solferina S1	Solferina S2
Número de brácteas en la región del tubo receptacular	1.998	0.69	10	14.0 b	11.0 c	19.0 a
Longitud del tubo receptacular (cm)	1.514	0.52	10	10.20 b	7.85 c	12.10 a
Ancho del tubo receptacular (cm)	0.198	0.07	10	2.62 a	2.53 a	2.54 a
Número de tépalos externos	2.206	0.76	10	21.0 a	12.0 c	30.0 a
Número de tépalos medios o petaloides	1.431	0.49	10	4 c	12 a	6 b
Número de tépalos internos o pétalos	1.643	0.57	10	17 b	20 b	22 a
Ancho de tépalos externos (cm)	0.100	0.03	10	1.40 a	1.29 b	1.36 ab
Ancho de tépalos medios o petaloides (cm)	0.127	0.04	10	1.66 a	1.13 b	1.78 a
Ancho de los tépalos internos o pétalos (cm)	0.408	0.14	10	3.58 a	2.47 b	3.87 a
Longitud de tépalos externos (cm)	1.053	0.36	10	16.23 a	15.32 a	12.67 b
Longitud de los tépalos medios o petaloides (cm)	1.002	0.35	10	14.78 a	13.40 b	11.67 c
Longitud de los tépalos internos o pétalos (cm)	0.684	0.24	10	13.10 a	10.90 b	10.40 c

Medias con una letra común no son significativamente diferente ( $p > 0.05$ )  
Prueba: LSD Fisher  $\alpha = 0.05$

**Número de brácteas en la región del tubo receptacular.** El mayor número de brácteas se encontraron en S2 (19), diferente estadísticamente con B1 (14) y S1 (11).

**Longitud del tubo receptacular.** La forma del cuello o del tubo receptacular fue más alargada en las flores de S2 (12.10 cm), seguidas de las flores de B1 (10.20 cm) y el tubo receptacular más corto lo presentaron las flores de S1 (7.85 cm).

**Ancho del tubo receptacular.** El diámetro del tubo receptacular, no tuvo diferencias estadísticas significativas entre genotipos, siendo de 2.53, 2.54 y 2.62 cm en S1, S2 y B1 respectivamente.

**Número de tépalos externos.** Los tépalos externos que forman la copa de la flor, siendo de coloración verde y ligeramente más rígidos que los medios y los internos, destacaron las flores de S2 con 30 tépalos en promedio, comparados con los 21 de B1 y sólo 12 de S1, fueron estadísticamente diferentes.

**Número de tépalos medios o petaloides.** Tuvieron la característica de tener coloraciones verdes, amarillentas y blancas, fueron más suaves que los externos. El número varió según el genotipo, siendo mayor en S1 (12), que S2 y B1 (6 y 4), respectivamente, con diferencias entre los tres genotipos.

**Número de tépalos internos o pétalos.** Las flores con mayor número de pétalos fueron las de S2 (22) y S1 (20), y en B1 (17), con diferencia estadística.

**Ancho de tépalos externos.** Sin diferencia estadística entre B1 y S2 (1.40 y 1.36 cm), y con diferencia de B1 con los más angostos de S1 (1.29 cm).

**Ancho de tépalos medios o petaloides.** Los petaloides de B1 y S2, no tuvieron diferencias en este carácter (1.66 y 1.78 cm), respectivamente, y fueron diferentes de los S1 (1.13 cm).

**Ancho de los tépalos internos o pétalos.** Se mantuvo el patrón en el ancho de los pétalos para B1 con S2, los más anchos y sin diferencias entre ellos de 2.20 y 2.41 cm, pero si diferentes de S1 (1.67 cm).

**Longitud de tépalos externos, medios e internos.** Los tépalos externos, medios e internos fueron más largos en las flores de B1 (16.23, 14.78 y 13.10 cm), seguidos por las flores de S1 (15.32, 13.40 y 10.90 cm) y los más cortos fueron de S2 (12.67, 11.67 y 10.40 cm), respectivamente. Existieron diferencias significativas entre los genotipos con respecto a estos caracteres.

**Coloración de los tépalos.** Se distinguen los tépalos externos de la B1 con coloración verde, S1 con un margen delgado de coloración rojiza y S2, con margen más grueso y difuminado en los tépalos de coloración púrpura. Los tépalos medios, son más llamativos en S2, con coloraciones amarillentas y sólo verde claro en B1 y S1, mientras que los internos o pétalos, tienen la coloración blanca crema en los tres genotipos.

Las variables cualitativas de color de tépalos externos, medios e internos, justo al momento que la flor empieza a abrir, son apreciadas en la siguiente imagen (FIGURA. 1.7).



FIGURA. 1.7. Apariencia externa de las flores de pitahaya : a) genotipo B1, b) genotipo S1 y c) genotipo S2.

Las variables cualitativas apreciativas en la parte externa de la flor son: la coloración de los tépalos externos, siendo verdes en B1, con ligeros márgenes púrpura en S1 y con márgenes púrpuras muy marcados para el genotipo S2, en su caso, la coloración de los márgenes purpuras abarca desde las brácteas en la región del ovario hasta los tépalos externos que protegen la flor.

Los tépalos medios o petaloides, presentan una transición entre brácteas y pétalos, son más suaves que las brácteas, más angostos que los pétalos y más anchos que las brácteas. Tienen coloraciones amarillentas y rojizas muy fuertes en el genotipo S2 y solo amarillentas a blancas en el genotipo B1 y S1.

La flor es efímera y algunos componentes de la misma se pierden después de la antesis, con el amarre o caída de la flor. Algunos caracteres persisten, principalmente aquellos que están presentes en la región del ovario, por lo que se debe poner mayor atención si se requieren hacer estudios posteriores del fruto.

#### **Descriptorios internos de la flor.**

Mediante un corte longitudinal de la flor, se pueden distinguir los componentes internos, como la pared del ovario o pericarpio (tejido blanco y esponjoso), el tamaño y forma de lóculo, la longitud y el grosor del estilo, el número y forma de los lóbulos y el número de estambres (FIGURA. 1.8).



FIGURA. 1.8. Corte longitudinal y características internas de la flor de pitahaya: a) genotipo B1, b) genotipo S1 y c) genotipo S2.

Internamente, empezando de la región basal a la apical se describen los siguientes caracteres: tamaño de lóculo (largo y ancho), longitud y grosor del estilo, número, longitud y forma de los lóbulos del estigma, distancia de hercogamia y número de estambres por flor (CUADRO 1.5).

**CUADRO 1.5. Comparación de medias de los caracteres internos de las flores de pitahayas en la Mixteca Poblana.**

Descriptores internos de las flores	DMS	E.E	n	Blanca B1	Solferina S1	Solferina S2
Longitud del lóculo (cm)	0.307	0.11	10	1.87 b	1.65 b	2.19 a
Ancho de lóculo (cm)	0.128	0.04	10	1.05 b	1.41 a	0.68 c
Longitud del estilo sin lóbulos (cm)	1.106	0.38	10	25.40 a	21.80 c	22.95 b
Grosor del estilo (cm)	0.040	0.01	10	0.66 b	0.71 a	0.50 c
Número de lóbulos del estigma	1.351	0.47	10	26.0 a	24 b	25 ab
Longitud de los lóbulos	0.225	0.08	10	2.20 a	1.67 b	2.41 a
Distancia de hercogamia	0.579	0.20	10	3.05 a	2.50 a	2.85 a
Número de estambres	115.03	39.6	10	829.0 b	1089 a	1028 a
Forma de los lóbulos del estigma				Enteros y bífidos	Enteros y bífidos	Enteros

Medias con una letra común no son significativamente diferente ( $p>0.05$ )

Prueba: LSD Fisher  $\alpha= 0.05$

**El lóculo o cavidad del ovario.** Tuvieron dimensiones diferentes por genotipos, fueron más largos los de S2 (2.19 cm), comparados con los de B1 (1.87cm) y S1 (1.65 cm) y estadísticamente diferentes, tienen abundantes óvulos.

**Ancho de lóculo:** Fueron inversamente proporcional, más anchos en S1 (1.41 cm), seguidos de B1 (1.05 cm) y muy angostos en S2 (0.68 cm).

**Longitud del estilo sin lóbulos:** Las flores de B1 y S2, presentaron la longitud mayor (25.4 y 22.95 cm), respectivamente, y las flores de S1, tuvieron el estilo más corto (21.80 cm), con diferencias estadísticas entre ellos.

**Grosor del estilo:** El estilo más grueso lo tuvieron las flores de S1 (0.71 cm) y más delgados en B1 (0.66 cm) y S2 (0.50), son inversamente proporcional a la longitud del estilo, con diferencias estadísticas entre genotipos.

**Número de lóbulos en el estigma:** En promedio los estigmas con mayor número de lóbulos fueron los de B1 (26), comparadas con S1 (24) y S2 (25), sólo diferentes estadísticamente S1 con B1 y sin diferencias estadísticas de S2 con B1 y S1.

El mayor número de lóbulos en promedio fueron los de B1, se registraron datos de estigmas de 24 a 29 lóbulos, mientras que en S1 de 22 a 26 lóbulos y en S2 de 23 a 28 lóbulos por estigma (FIGURA. 1.9).



FIGURA. 1.9. Apariencia de los lóbulos del estigma en antesis: a) genotipo B1, b) genotipo S1 y c) genotipo S2.

**Longitud de los lóbulos:** La longitud sin diferencia entre B1 (2.20 cm) y S2 (2.41 cm), pero diferentes de S1 (1.67 cm), que fueron los más cortos de estos genotipos.

**Distancia de hercogamia:** La hercogamia, o separación de los lóbulos con las anteras más cercanas fue una característica común de los tres genotipos (FIGURA. 1.10). Esta característica se le relaciona con las especies autoincompatibles, que las obliga a buscar la polinización cruzada. Sin embargo, las flores de los tres genotipos presentaron en promedio la misma distancia de hercogamia, 3.05 cm en B1, 2.85 cm en S2 y 2.50 en S1.



FIGURA. 1.10. Distancia de hercogamia, representativa en los tres genotipos de pitahaya

**Número de estambres:** Los tres genotipos presentan una gran cantidad de estambres y en promedio, fueron más en S1 y S2 (1,098 y 1028) respectivamente, comparada con los estimados en B1 (829).

**Forma de los lóbulos del estigma:** En general los lóbulos fueron enteros, es decir, sin bifurcaciones en las flores de S2, y con mayor frecuencia de lóbulos bífidos en S1 y muy pocos encontrados en flores de B1.

Internamente las flores de los tres genotipos son diferentes estadística y visualmente. Las flores de B1 tienen mayor longitud del estilo (sin lóbulos) y mayor longitud de los lóbulos. El genotipo S1, tienen, mayor grosor del estilo y lóbulos más anchos. El genotipo S2, se caracteriza por tener, lóbulos alargados y estrechos y un estilo más delgado que los otros dos genotipos. La forma interna del ovario es ovalada en B1 y S1 y más alargada en S2, lo que implica hipotéticamente el “molde” para el desarrollo del fruto.

En la región del ovario, que se convierte en fruto después de la fecundación, fueron distintos el número de brácteas, longitud y ancho de las mismas por genotipo, apreciando, coloraciones púrpuras o rojizas en las brácteas de los genotipos solferinos, más abundantes y alargadas en S2. (FIGURA. 1.11).

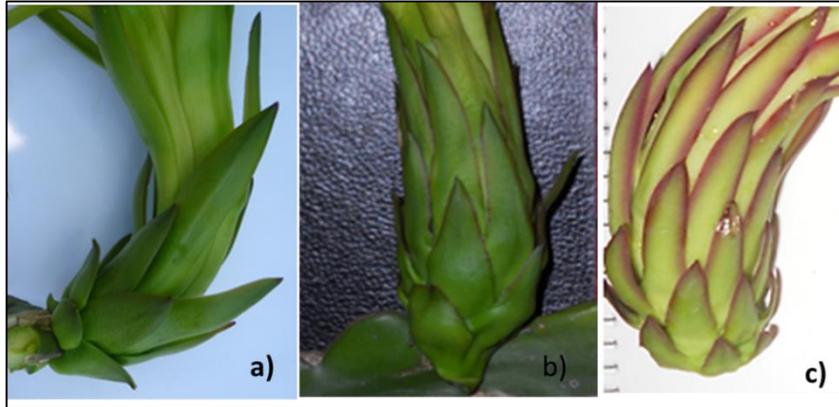


FIGURA. 1.11. Apariencia externa de la región del ovario de: a) genotipo B1, b) genotipo S1 y c) genotipo S2.

Internamente, en la región de ovario, se distinguen diferencias en la pared del ovario (pericarpio, tejido blanco y esponjoso), en su longitud y en la forma que tiene el lóculo. Entre estos caracteres se forma, hipotéticamente el molde de los frutos de cada genotipo (FIGURA. 1.12).



FIGURA. 1.12. Corte longitudinal en la región del ovario de las flores de pitahaya: a) genotipo B1, b) genotipo S1 y c) genotipo S2, se observa de fuera hacia adentro, el pericarpelo verde, el pericarpio (blanco), lóculo con abundantes óvulos.

## Descriptores morfológicos de frutos

Los frutos de la pitahaya son muy diversos en forma, tamaño y coloración de la pulpa. Externamente son parecidos en el color del pericarpelo y la presencia de brácteas foliares, sin espinas. Se compararon 13 variables cuantitativas y 3 cualitativas (CUADRO 1.6).

CUADRO 1.6. Comparación de medias de las variables cuantitativas en frutos de tres genotipos de pitahaya.

Descriptores de frutos	DMS	E.E	n	Blanca B1	Solferina S1	Solferina S2
Longitud del fruto (cm)	1.193	0.41	10	13.18 b	7.97 c	14.75 a
Diámetro ecuatorial (cm)	0.065	0.23	10	9.83 a	6.55 c	8.14 b
Número de brácteas	4.007	1.38	10	18.0 b	19.0 b	38.0 a
Ancho de brácteas en la región ecuatorial (cm)	0.284	0.10	10	4.49 a	3.29 a	2.65 c
Longitud de brácteas en la región apical (cm)	0.466	0.16	10	5.09 a	4.13 b	5.01 a
Peso total del fruto (g)	80.61	27.78	10	697.6 a	194.8 c	534.01 b
Peso del pericarpelo (g)	21.580	7.44	10	184.25 a	71.96 c	138.73 b
Grosor del pericarpelo en la zona libre de brácteas (cm)	0.056	0.02	10	0.40 a	0.30 b	0.34 b
Peso de pulpa (g)	62.292	21.47	10	513.35 a	122.87 c	395.28 b
Peso en 300 semillas (g)	0.056	0.02	10	0.48 c	0.76 a	0.64 b
Peso total de semillas/fruto (g)	1.526	0.53	10	10.96 a	2.62 b	9.98 a
Número de semillas/fruto	796.39	274.45	10	6858.0 a	1074.0 c	4744.0 b
Sólidos Solubles Totales (°Brix)	1.373	0.43	4	17.70 a	14.35 b	18.13 b
Color de la pulpa				Blanca	Solferina	Solferina-púrpura
Color del pericarpelo				Rosa intenso	Rojo-rosa	Rosa- tenue
Forma de los frutos				Oblongo-irregular	Redondos	alargados

Medias con una letra común no son significativamente diferente ( $p > 0.05$ )

Prueba: LSD Fisher  $\alpha = 0.05$

**Longitud del fruto.** Hubo diferencia significativa por FrI, siendo en promedio más largos los de S2 (14.75 cm), que los de B1 (13.18cm) y S1 (7.97 cm).

**Diámetro ecuatorial.** Frutos de B1 (9,83 cm) tuvieron mayor Frd, diferente de S2 (8.14 cm) y S1(6.55), que tuvo el menor Frd.

**Número de brácteas.** Esta variable es importante, porque destacan los frutos de S2 (38) con mayor Frb, diferente estadísticamente de B1 (18) y S1 (19), en promedio.

**Ancho de brácteas en la región ecuatorial.** Sin diferencia estadística entre B1 y S1, con Frba de (4.49 y 3.29 cm), que fueron más anchas que las de S2 (2.65).

**Longitud de brácteas en la región apical.** Las últimas brácteas fueron más largas en B1 y S2 (5.09 y 5.01 cm) y con diferencia estadística de S1 (4.13).

**Peso total del fruto.** Los frutos más pesados fueron los de B1 (697.6 g) en promedio, comparados con los de S2 (534.0 g), y los menos pesados fueron de S1 (194.8 g), esta variable tuvo diferencias significativas por genotipo.

**Peso del pericarpelo.** La cáscara o pericarpelo fue diferente estadísticamente entre los genotipos, B1 (184.25 cm), S1 (71.96 g) y S2 (138.73 g).

**Grosor del pericarpelo en la zona libre de brácteas.** El grosor, fue estadísticamente mayor para B1 (0.40 cm), y sin diferencias entre S1 y S2 (0.30 y 0.34 cm) respectivamente.

**Peso de pulpa.** Mayor Frppu en B1 (513.35 g), que en S2 (395.28) y en S1 (122.87 g), con diferencia entre los genotipos.

**Peso en 300 semillas.** El Spm, por genotipo indicó que las semillas de S1 (0.76 g) fueron más pesadas que S2 (0.64 g) y menor en B1 (0.48 g) y diferentes estadísticamente entre sí.

**Peso total de semillas/fruto.** Estimando, los frutos de B1 y S2, tienen (10.96 y 9.98 g) mayor Spt que S1 (2.62 g)

**Número de semillas/fruto.** En función del Spm y el Spt, se determinó la cantidad de Sfr, siendo muy abundantes en B1 (6858.0), diferente estadísticamente de S2 (4744.0) y con menor cantidad en S1 (1074.0).

**Sólidos Solubles Totales (°Brix).** Los frutos más dulces fueron los de B1 y S2, sin diferencia estadística entre ellos, pero diferente de S1.

**Color de la pulpa.** La coloración de la pulpa fue apreciativa, blanca para B1, solferina en S1 y solferina-purpura intensa en S2.

**Color del pericarpelo.** Sólo se distinguen diferentes tonalidades del rojo, siendo rosa en B1, más roja en S1 y rosa tenue en S2.

**Forma de los frutos:** Fueron ovoides en B1, con forma irregular, ligeramente curvados en el ápice del fruto, casi redondos en S1 y muy alargados en S2.

#### **Apariencia externa de los frutos**

La forma, el tamaño, la presencia de brácteas, su arreglo y el color del pericarpelo, son algunos de los caracteres externos en los frutos de pitahayas encontrados en la Mixteca Poblana (FIGURA. 1.13.)

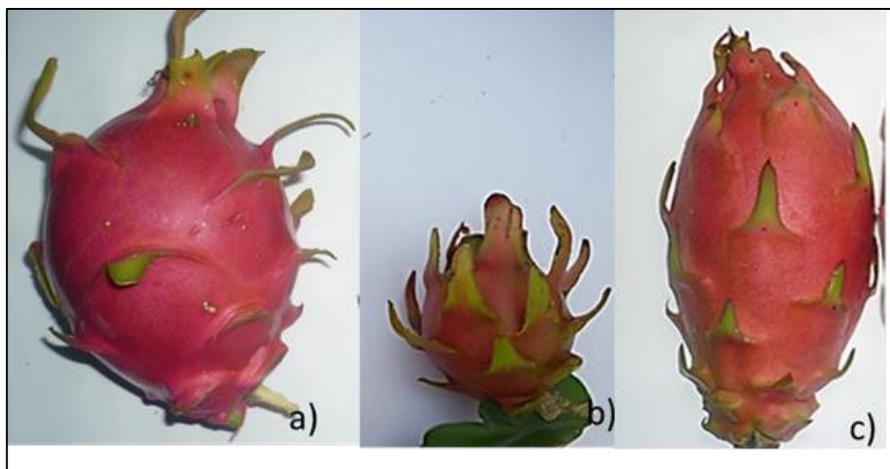


FIGURA. 1.13. Características externas de los frutos de pitahaya: a) genotipo B1, b) genotipo S1 y c) genotipo S2

Internamente se distingue la coloración de la pulpa, siendo blanca en B1 y “solferinas” o ‘púrpuras en S1 y S2 (FIGURA. 1.14). Los frutos grandes de B1 y S2 tienen mayor número de semillas, comparadas con las de S1. El contenido de SST, fue similar en B1 y S2, pero menor en S1. La coloración de la pulpa entre las solferinas cambia en intensidades.

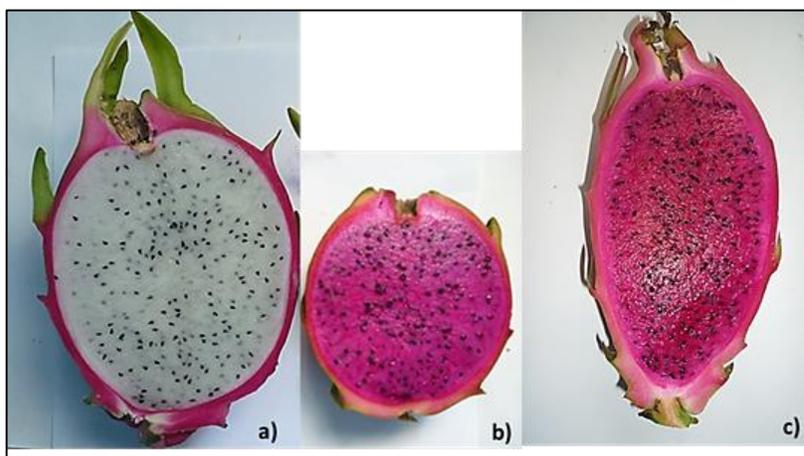


FIGURA. 1.14. Características internas de los frutos de pitahaya: a) genotipo B1, b) genotipo S1 y c) genotipo S2

## Descripción de las características externas e internas de los frutos por genotipo

**Genotipo B1.** Son frutos grandes y globosos, de pulpa blanca con semillas pequeñas y negras. Las longitudes de los frutos variaron desde los 10 cm hasta los 15 cm y el diámetro ecuatorial desde los 8.5 cm hasta los 10.5 cm. Tuvieron pesos desde los 500 g hasta los 800 g. El número de brácteas que cubren al fruto son similares al promedio de brácteas que presentaron las flores en la región del ovario, de 17 a 21. Las brácteas en la región ecuatorial son anchas y las terminales en la región apical son más largas. Tienen un pericarpelo de color rosa a rosa intenso, grueso y pesado, con grandes brácteas de ángulo abierto (FIGURA.1.15). El número de semillas extraídas de los frutos de este genotipo varió desde los 5000 hasta las 8000 semillas, calculadas a partir del peso seco de 300 semillas. En la prueba de SST se detectaron desde los 16.5 a los 18.4°Brix, que le atribuyen la cualidad de dulzura



FIGURA. 1.15. Apariencia externa e interna de los frutos del genotipo B1, *Hylocereus undatus*

Los frutos de este genotipo se producen de manera cultivada en algunas localidades de la mixteca poblana, desde junio hasta octubre o noviembre. Presentaron al menos 6 floraciones escalonadas, empezando en mayo y las últimas en septiembre.

Entre floración y fructificación hay un periodo de 35- 45 días, que le permiten a la planta primero madurar el fruto y posteriormente inducir la siguiente floración.

**Genotipo S1.** Son frutos de pequeños a medianos, casi redondos, de pulpa conocida regionalmente como “solferina” o de color púrpura. La longitud de los frutos varió desde los 6 cm hasta los 10 cm y el diámetro ecuatorial desde los 5 hasta 7.5 cm. Tuvieron peso de fruto al momento de la cosecha de 95 g a 300 g. El pericarpelo está cubierto por brácteas anchas y cortas en la región ecuatorial, en la región apical son escasas o incluso ausentes después de la cosecha. Las brácteas que cubren el fruto, son similares en número a las que cubren la región externa del ovario en sus flores, de 16 a 22 brácteas. Tienen un pericarpelo de color rosa a rojo, cubierto de brácteas con ángulos abiertos (FIGURA. 1.16).



FIGURA. 1.16. Apariencia externa e interna de los frutos del genotipo S1 (*Hylocereus polyrhizus*).

El número de semillas extraídas de los frutos fueron de 300 en los frutos más pequeños hasta las 2500 semillas en los frutos más. En la prueba de SST se detectaron desde los 12.8°Brix en los frutos más grandes a los 15.6° Brix, en los frutos medianos, se siente un sabor dulce con ligero sabor ácido.

Este genotipo, se encuentra cultivado o en traspatio, y presenta muchos problemas con la caída de flores y falta de amarre de sus frutos. Las floraciones se adelantan

comparadas con el genotipo de pulpa blanca, su primera floración la presenta en abril y la última en junio o julio, tiene 3 ó 4 flujos de floración y cada flujo es muy abundante. Se obtiene poca cosecha y los frutos no cumplen con las exigencias del mercado en tamaño y peso.

**Genotipo S2.** Los frutos caracterizados del genotipo S2, fueron el producto de la polinización cruzada con el genotipo B1 y algunos de polinización libre.

Son frutos de tamaño mediano a grandes y generalmente alargados, su pulpa es de color “solferina” o “púrpura” pero muy intensa. La longitud de los frutos varió desde los 12 a los 17 cm y el diámetro ecuatorial de los 7.4 a los 8.7 cm. Los pesos de los frutos al momento de la cosecha, se registraron desde los 350 g en frutos pequeños a 670 g en los más grandes. El pericarpelo está cubierto por abundantes brácteas de 30 a 50, muchas de estas brácteas son muy pequeñas y están en la región basal de fruto. Las brácteas en la región ecuatorial son delgadas y las apicales son más alargadas con márgenes púrpuras. Las brácteas que cubren el fruto, son similares en número a las que cubren la región externa del ovario en sus flores. Tienen un pericarpelo de color rosa tenue, cubierto de brácteas con ángulos cerrados, plegadas en su mayoría hacia el fruto (FIGURA. 1.17).



FIGURA. 1.17. Apariencia externa e interna de los frutos del genotipo S2

El número de semillas extraídas de los frutos fue de 2000 a 6000 semillas aproximadamente. En la prueba de SST se detectaron de 17.8 a 18.5°Brix.

Este genotipo, se encuentra semi-cultivado en traspatio en algunas localidades de la mixteca, se encontró en lugares con clima más cálido, hacia la parte sur del estado de Puebla. Presenta caída de flores y falta de amarre de sus frutos. Durante el 2014, se registraron 5 floraciones, a partir del mes de junio, y la última pero más abundante fue en el mes de septiembre.

## 1.6 Discusión

En este trabajo de caracterización morfológica, al comparar los componentes de tallos, flores y frutos de los tres genotipos, se encontraron algunos descriptores que concuerdan con las claves para el género y especies de *Hylocereus* spp. Los tallos son profundamente acostillados (tres costillas), son epifitos y emiten raíces adventicias en la parte plana del mismo, tal como lo menciona Bravo et al, 1978 en la descripción del género *Hylocereus*. Las flores son grandes y tienen simetría ligeramente bilateral dada por la curvatura o inclinación del tubo receptacular. Tienen un ovario ínfero y está cubierto de escamas foliáceas, internamente tienen abundantes óvulos con placentación parietal, contiene una cámara estilar pero no se detectó néctar y un estilo muy largo con apéndices o lóbulos, y numerosos estambres, conforme lo describe Nobel, 2002. Los frutos son diferente de acuerdo a la especie, según Bravo, 1978.

No existe una concordancia total por especie, solo tienen algunas características que podrían incluir a los genotipos aquí descritos dentro de una categoría, los tallos de *Hylocereus undatus* se reportan de 1 a 4 espinas y se acerca a las encontradas en el genotipo B1, también coincide en las costillas sinuadas y la distancia entre aréolas. Tiene los frutos, más grandes de las especies descritas originalmente, con pericarpelo rosa y de pulpa blanca, son los más confiables para ubicar al genotipo B1, como *Hylocereus undatus* (Haworth). Es el más cultivado en el mundo.

El genotipo S1, de pulpa solferina, tiene caracteres distintos a *H. undatus*, los tallos son muy ondulados, con una o dos espinas cortas por areola. Las flores son las más pequeñas entre los tres genotipos y tienen un ovario ancho, lóculo pequeño casi redondo y estilo grueso, algunos de estos caracteres son descritos en la especie *Hylocereus purpussi* (Weingart) por Bravo, 1978, pero en controversia con la especie *Hylocereus polyrhizus* por la misma coloración de la pulpa, el tamaño pequeño y forma elipsoides de los frutos, descritos por Bravo y Sánchez, (2011).

Algunas imágenes de los frutos parecidos al genotipo S1, son mostradas en trabajos realizados por Tel- Zur et al., 2004 en Israel y conocidos como *Hylocereus monacanthus*, se distingue por el tamaño pequeño a mediano, forma redonda del fruto y brácteas grandes. En Colombia, se trabajó con frutos parecidos al genotipo S1, y aunque no definieron su nombre científico, tuvieron en común con este genotipo, el peso, la coloración de la pulpa y los grados Brix (Mejia et al., 2013). La mayoría de trabajos en especies de pulpa solferina la reconocen como *H. polyrhizus*, quedando en la incertidumbre *H. purpussi*. En Israel, conocen a *H. polyrhizus* como *H. monacanthus*, y *H. ocamponis* como syn. *H. purpussi* (Lichtenzveig et al., 2000).

El genotipo S2, se identifica posiblemente como *Hylocereus ocamponis*, por la coloración verde y púrpura de las brácteas, los tépalos externos y amarillentos, con márgenes rojizos de los tépalos intermedios. En la publicación, Las Cactáceas de México, por H. Bravo y col. 1978, aparece una imagen, tomada en Jalisco de la flor de esta especie, donde se aprecian las características similares a las encontradas en este trabajo en la Mixteca Poblana. En Jalisco, se identificó un genotipo nombrado como “Techa 95-02” y “Techa 95-04” y se relacionó con la especie *Hylocereus purpussi*, tiene características similares a *H. ocamponis* y al genotipo S2 de Puebla, principalmente en el número de brácteas, la longitud y la anchura de las mismas, la coloración de la pulpa y solo diferente por el tamaño en longitud y el peso. Fueron consistentes con el genotipo S2, en la autoincompatibilidad, que muy

probablemente fue la principal causa del tamaño y peso de los frutos obtenidos (Juaréz *et al.*, 2009).

En Costa Rica, reportan una pitahaya improductiva de pulpa solferina, de frutos pequeños pero con numerosas brácteas rojizas, clasificada como *Hylocereus costaricensis* y algunos genotipos con nombres locales con las mismas características que *H. ocamponis* (Fabrice Le Bellec, 2004) y similares a los del genotipo S2 encontrados en Zacapala, Puebla.

Es muy probable que los tres genotipos identificados en la Mixteca Poblana, pertenezcan a *Hylocereus undatus*, *Hylocereus polyrhizus* o *H. monacanthus* y *Hylocereus ocamponis*.

Los caracteres descriptivos de tallos que son relevantes para la identificación de los genotipos son la longitud del tallo en el crecimiento modular, la distancia entre aréolas, el número de espinas y la longitud de la espinas más grande. Los tallos de B1, tuvieron el mayor crecimiento modula, los tallos más anchos, mayor distancia entre aréolas, mayor número de espinas y mayor longitud de la espina más grande, y fueron similares con S2 en la longitud y la distancia entre aréola. Los tallos de S1 tuvieron los artículos más cortos y mayor altura de cresta, pero con menor número de espinas.

En flores son los caracteres externos como la longitud de la flor, número de brácteas en la región del ovario, coloración de las brácteas, los tépalos externos e intermedios. Las flores más grandes fueron las de B1 y S2, pero las flores de S1 tuvieron los ovarios más anchos. El número de brácteas fue una característica que se distingue entre los genotipos, siendo mayor y más acuminadas en S2, y menor número de brácteas y más anchas en B1 y S1. La coloración de los tépalos externos va acompañada de márgenes purpuras muy marcados en S2 y suaves en S1, pero sin coloración en B1. Internamente es relevante la longitud y grosor del estilo, número de lóbulos del estigma y la forma de la pared del ovario y el lóculo. Las

flores de B1 y S2, tuvieron el mayor número de lóbulos, el estilo más largo, delgado en S2 y más grueso en S1 y B1. La pared del ovario y el tamaño de lóculo fue diferente por genotipo, predominando el ovoide y grande en B1, ovoide y pequeño en S1 y alargado en S2. Algunos de estos caracteres fueron relevantes también en la caracterización de genotipos en Yucatán (Castillo. Martínez *et al.*, 2005).

En común de los tres genotipos destaca la distancia de hercogamia, a la que se le atribuye a especies auto incompatibles, que obliga la polinización cruzada para su fecundación (de Nettancourt, 2001).

Los frutos fueron diferentes estadísticamente en tamaño (largo y diámetro ecuatorial), número de brácteas foliares, forma del fruto, peso, coloración de la pulpa y grados Brix. Aunque la coloración de la pulpa no se ha considerado como determinante para la caracterización de los frutos, si es relevante, cuando se buscan genotipos que sean más aceptados para el mercado y la alimentación, además de que están relacionados con mayores propiedades nutraceuticas benéficas a la salud humana (Esquivel *et al.*, 2007).

## **1.7 Conclusiones**

Se encontraron tres genotipos distintos de pitahaya en la Mixteca Poblana, dos cultivados y otro semicultivado, uno de pulpa blanca y dos de pulpa solferina. Son diferentes morfológicamente en algunos componentes del tallo, las flores y los frutos.

Los caracteres más importantes para identificar los genotipos son del tallo y las flores, porque son las que están más disponibles, mientras que los frutos están determinados en cierto grado por la polinización cruzada o manual, ya que los genotipos de pulpa solferina son auto autoincompatibles. Por los caracteres de los tallos, se pueden identificar los genotipos en cualquier época del año, aunque es preferible, hacerlo cuando la planta esté bien hidratada.

Al conocer las características morfológicas de las especies solferinas, con problemas de amarre de fruto, se puede plantear una estrategia, para establecer una plantación con un arreglo espacial y un polinizador adecuado.

### 1.8 Literatura citada

- BRAVO, H. 1978. Las cactáceas de México. Vol. I. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 743 pp.
- BRAVO- HOLLIS, H Y SÁNCHEZ – MEJORADA, H. 1978. Las cactáceas de México. Vol. I. Universidad Nacional Autónoma de México. pag 446-447.
- BRAVO . H Y SÁNCHEZ, M. 2011. CACTACEAE. Descripción de la familia y clave. Flora Mesoamericana. Volumen 2 (1), Cactaceae, página 1- 78.
- BRITTON N.L AND ROSE J.N. 1963. The cactaceae. Descriptions and Illustrations of Plant of the Cactus Family. Vol II. Dover Publications, Inc., New York, p:183-195.
- COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y LA BIODIVERSIDAD (CONABIO), 2014. Herbario Virtual de conabio. <http://www.conabio.gob.mx/otros/herbario/kew/K000062654.jpg>. Fecha de consulta: 17-05-2014
- CASTILLO- MARTÍNEZ, R., LIVERA- MUÑOZ, M., MÁRQUEZ- GUZMÁN, G.J. 2005. Caracterización morfológica y compatibilidad sexual de cinco genotipos de pitahaya (*Hylocereus undatus*). Agrociencia, vol. 39, núm. 2, marzo- abril, pp 183-194. Colegio de Postgraduados, México.
- MISSOURI BOTANICAL GARDEN. 2014. Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. 04 oct 2014 <<http://www.tropicos.org/Image>
- GARCÍA- AGUILAR, M.A, TERRAZAS, T Y ARIAS, S. 2009. Anatomía caulinar de tres especies del género *Hylocereus* (Berger) Britton & Rose (Cactaceae) en México. Revista Fitotecnia Mexicana, vol. 32, núm. 3, julio- septiembre, pp. 201-208. Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C. México.
- DE NETTANCOURT (2001) Incompatibility in Angiosperms: Monographs on Theoretical and Applied Genetics 3. Springer-Verlag. New York. 312 p.

- DI RIENZO J.A., CASANOVES F., BALZARINI M.G., GONZALEZ L., CUADRODA M., ROBLEDO C.W. InfoStat versión 2013. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- ESQUIVEL P. STINTZING F.C AND CARLE R. 2007. 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(1):7-14.
- FABRICE. LE BELLEC. 2004. Pollination and fecundation of *Hylocereus undatus* and *H. costaricensis* in Reunion Island. *Fruits*, vol. 59, p. 1–12 © 2004 Cirad/EDP Sciences DOI: 10.1051/fruits: 2004031.
- INEGI, 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Puebla. INEGI <http://www.censo2010.org.mx/>
- JUÁREZ S.,F. J. RAMÍREZ M Y T. CRUZ H. 2009. Caracterización de dos clones de pitahaya roja (*Hylocereus purpussi*) de Jalisco, México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*. 2009 8:115-122
- LICHTENZVEIG J, ABBO S, NERD A, TEL-ZUR N, MIZRAHI Y. 2000. Cytology and mating systems in the climbing cacti *Hylocereus* and *Selenicereus*. *American Journal of Botany* 87: 1058–1065.
- MARTÍNEZ, CH. R. 2012. Relaciones entre genotipo, productividad y calidad de fruto en pitahaya (*Hylocereus* spp.). Tesis de Maestría en Ciencias, Fisiología Vegetal. Colegio de ostgraduados, Mexico.
- MEJÍA, H.A.; MURIEL, S.B.; MONTOYA, C.A.; REYES, C. 2013. In situ Morphological Characterization of *Hylocereus* spp. (Fam.: Cactaceae) Genotypes from Antioquia and Córdoba (Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*, vol. 66, núm. 1, 2013, pp. 6845-6854.Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia
- MIZRAHI Y, MOUYAL J, NERD A, AND SITRIT Y. 2004. Metaxenia in the Vine Cacti *Hylocereus polyrhizus* and *Selenicereus* spp. *Annals of Botany* 93: 469±472, 2004. doi:10.1093/aob/mch055, available online at [www.aob.oupjournals.org](http://www.aob.oupjournals.org)
- NOBEL. 2002. *Cacti Biology and Uses*. University of California. Press, Berkeley. Los Angeles London, Chapter 5. p: 75-90.
- TEL- ZUR. N, ABBO, S. BAR- ZVI, D AND MIZRAHI J. 2004. Genetic Relationships among *Hylocereus* and *Selenicereus* Vine Cacti (Cactaceae): Evidence from Hybridization and Cytological Studies.*Annals of Botany* 94: 527–534, doi:10.1093/aob/mch183, available online at [www.aob.oupjournals.org](http://www.aob.oupjournals.org).

## CAPITULO II

### COMPATIBILIDAD SEXUAL DE TRES GENOTIPO DE PITAHAYAS (*Hylocereus* spp.) DE LA MIXTECA POBLANA.

#### 2.1 Resumen

En la Región Mixteca Poblana, en las plantaciones comerciales de pitahaya predomina el genotipo de pulpa blanca, mezclado con genotipos de pulpa solferina que tienen baja producción de frutos. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de las polinizaciones manuales entre genotipos solferinos y blancos. El material genético fue de pitahayas blancas (B1) y solferina (S1 y S2) en Puebla. Se indujeron autopolinizaciones para evaluar autoincompatibilidad, encerrando los botones previos a la apertura floral con tela de organza. Se realizaron polinizaciones cruzadas entre los genotipos. Se aplicó un DECA, con 9 tratamientos, T1=autopolinización B1, T2=autopolinización S1, T3=autopolinización S2, T4=S1xB1, T5=S2xB1, T6=B1xS1, T7=B1xS2, T8=S1xS2 y T9=S2xS1, en general con 15 repeticiones, 8 y 9 en los T5 y T9 por la poca disponibilidad de flores. Se evaluó fenología de la floración (ff), desarrollo del botón floral (bf), condiciones climáticas en la apertura floral, sincronía de la floración (sf), porcentaje de amarre (%), crecimiento del fruto (cf), días a madurez (dff), tamaño, peso y coloración de pulpa en madurez. La ff, tiene diferentes flujos entre genotipos de abril a septiembre, el bf se desarrolla en 24 días, la apertura floral nocturna está influenciada por bajas temperaturas y alta humedad relativa, los genotipos no tienen sf, el % de amarre está en función de las cruza entre genotipos, B1, en T1, T6 y T7, presentaron 100% de amarre, S1 y S2 en T2 y T3 abortaron el 100% de las flores, T4 presentó 60% y T8 40% de amarre, S2 en T5 presentó 100% y en T9 55.5% de amarre. S1 y S2 son autoincompatibles, y la polinización cruzada con B1, favorece el porcentaje de amarre de los frutos. El cf tuvo una curva sigmoide de 45 a 60 dff, los frutos más pesados fueron de B1 (731.40, 746.60 y 635.07 g), seguidos por S2 en el T5 (578.63 g), diferentes estadísticamente de S1 en T4 y T8 (415.0 y 324.17g) y los más pequeños fueron de S2 en el T9 (178.88 g). Existe influencia de la fuente de polen, el momento de polinización y el tiempo de conservación del polen en el peso de los frutos. La coloración de la pulpa se mantuvo en el carácter materno. Las condiciones climáticas registradas, indican las condiciones óptimas para la floración y reproducción de pitahaya en la Mixteca Poblana.

**Palabras claves:** amarre de fruto, autoincompatibilidad, polinización manual, floración, condiciones climáticas.

**CHAPTER II**  
**SEXUAL COMPATIBILITY OF THREE PITAHAYA(*Hylocereus spp.*)**  
**GENOTYPES FROM POBLANA MIXTECA.**

**2.2 Abstract**

In the Mixteca Puebla Region, in commercial plantations pitahaya predominant genotype of white pulp, mixed with solferina pulp genotypes with low fruit production. The objective of this research was to evaluate the effect of hand pollination between genotypes solferinos and white. The genetic material was white pitahayas (B1) and solferinas (S1 and S2) in Puebla. Self-pollinations were induced to evaluate self-incompatibility, locking pre-anthesis with organza fabric buttons. Cross-pollination between genotypes was performed. DECA was applied one, with 9 treatments, T1 = B1 selfing, selfing T2 = S1, S2 selfing T3 = T4 = S1xB1, S2xB1 = T5, T6 = B1xS1, B1xS2 = T7, T8 and T9 = = S1xS2 S2xS1 generally 15 reps, 8 and 9 in the T5 and T9 by the limited availability of flowers. Phenology of flowering (FF), flower bud development (bf), weather conditions in anthesis, flowering synchrony (sf), set percentage (%), fruit growth (cf), days to maturity (DFF), size, weight and color of pulp in maturity was assessed. The FF has different flows between genotypes from April to September, the bf takes place in 24 days, the nocturnal flower opening is influenced by low temperatures and high relative humidity, genotypes haven't sf, the set % is a function of the crosses between genotypes, B1, T1, T6 and T7, showed 100% set, S1 and S2 in T2 and T3 aborted 100% of the flowers, had 60% T4 and 40% set T8, T5, S2 has 100% T9 and 55.5% set. S1 and S2 are self-incompatible, outcrossing and B1, supports set percentage of fruits. The cf a sigmoid curve was 45 to 60 dff, heavier fruits were of B1 (731.40, 746.60 and 635.07 g), followed by S2 in the T5 (578.63 g), S1 was statistically different T4 and T8 (415.0 and 324.17g) and S2 were smaller in T9 (178.88 g). There is influence of pollen source, the time of pollination and pollen shelf on the weight of the fruits. The coloration of the pulp remained in the mother form. Weather conditions recorded indicate the optimum conditions for flowering and reproduction of pitahaya In Mixteca Puebla.

Keywords: fruit set, self-incompatibility, hand pollination, flowering, weather.

## 2.3 Introducción

### Mecanismos de incompatibilidad sexual

Varias familias de angiospermas desarrollaron el sistema de incompatibilidad sexual (SI), mecanismo genético - bioquímico, que permite al pistilo rechazar su propio polen y aceptar el de plantas genéticamente diferentes. Este mecanismo evita la endogamia y favorece la polinización cruzada. La incompatibilidad sexual se define como la incapacidad de una planta hermafrodita fértil para producir cigotos después de la autopolinización (de Nettancourt, 2001). El sistema de incompatibilidad sexual se distribuye ampliamente en las angiospermas y está presente en 91 de las 271 familias descritas (Dickinson *et al.*, 1992).

### Incompatibilidad sexual en *Hylocereus* spp.

La pitahaya *Hylocereus* sp. de pulpa solferina es una especie que emite un gran número de flores comparadas con otras especies; sin embargo el amarre de frutos es nulo o mínimo. *H.polyrhizus* y *H.costaricensis*, ambas de pulpa de color rojo o púrpura, se reportan autoincompatibles, mientras que *Hylocereus undatus* de pulpa blanca es autocompatible. La caída de flores después de la polinización se atribuye a la incompatibilidad entre la misma especie (Ramírez, 1999).

Weiss *et al.*, (1994) estudiaron la compatibilidad de diferentes especies y clones de *Hylocereus* y *Selenicereus*; Ramírez (1999) trabajó con diversas especies y clones de *Hylocereus* de México, por su parte, Lichtenzveig *et al.*, (2000) estudió aspectos similares en dos especies de *Hylocereus* y en una especie de *Selenicereus*. En los tres trabajos fue evidente que la compatibilidad difiere dependiendo de la especie, tipo o clon.

Ramírez (1999), encontró inhibición del crecimiento de los tubos polínicos en el primer tercio del estilo en una especie conocida popularmente como pitahaya

solferina (*Hylocereus* sp), mientras que Lichtenzveig *et al.*, 2000, no detectaron ningún sitio de inhibición en el estilo en *H. polyrhizus*, e infirió que la inhibición ocurre en el ovario antes de la fertilización. El sitio de inhibición detectado por Ramírez (1999) y Lichtenzveig *et al.* (2000) es característico de especies con autoincompatibilidad gametofítica. Lichtenzveig *et al.* (2000) sugieren que *H. polyrhizus* podría incluirse entre las especies en las cuales la autoincompatibilidad gametofítica se manifiesta tardíamente.

En la Península de Yucatán (Castillo *et al.*, 2003), estudiaron la compatibilidad sexual en la pitahaya blanca de cáscara amarilla, demostrando autoincompatibilidad total. La pitahaya blanca (Uqroo2) abortó todas las flores en el tratamiento de autopolinización a diferencia de la polinización cruzada, donde se registró el 100% del desarrollo de los frutos. También asevera que en la polinización efectiva y el desarrollo de frutos pueden estar involucrados varios factores, ya que la polinización efectiva en pitahaya solferina fue menor en una región con temperatura promedio anual de 21°C que en otro con 18°C. Ante los problemas de autoincompatibilidad, señala que es preferible el cultivo de especies intercaladas, con el fin de propiciar polinización cruzada y asegurar la formación de frutos, buscando que sus floraciones sean sincrónicas.

Ortíz *et al.*, (2000), al estudiar la morfología de la flor de la pitahaya solferina destacan que presenta los fenómenos de hercogamia (separación entre estigmas y estambres) y ginoheterostilia (mayor longitud del estilo que de los estambres), ambos fenómenos evitan la autopolinización.

Juaréz *et al.*, (2009), caracterizaron una pitahaya en Jalisco y los frutos obtenidos fueron resultado de polinizaciones manuales, ya que la especie estudiada fue autoincompatible. La especie fue catalogada como *Hylocereus purpussi*, por el color rojo de la pulpa y por otros caracteres morfológicos de tallos y frutos.

El interés por las especies de pitahaya de pulpa solferina, ha motivado a diversos investigadores, en conocer los mecanismos de polinización y compatibilidad sexual. Las investigaciones más recientes al respecto, son realizadas en Israel, quienes han desarrollado diversas agrotecnias y mejoramiento de la pitahaya, conociendo de antemano el potencial productivo y económico de este cultivo en las condiciones del desierto de Negev. El problema al que se enfrentan es a la autoincompatibilidad de algunos cultivares, que hace indispensable la polinización cruzada manualmente, para asegurar la compatibilidad con el polen y la obtención de altos rendimientos. Desarrollaron técnicas de crío preservación de polen y han realizado cruza entre los clones introducidos para la obtención de híbridos. El desarrollo de los frutos, los periodos de madurez, el momento óptimo de cosecha en diferentes clones son las principales investigaciones que contribuyen a la domesticación y producción comercial de esta fruta en zonas áridas (Tel- Zur. 2013).

La caída de flores después de la polinización en plantas de pitahaya de pulpa roja o solferina, cuando no existe la polinización cruzada, afecta directamente en el rendimiento y calidad de los frutos. En Israel, la pitahaya se tiene que polinizar manualmente con polen colectado de otra especie para conseguir el amarre de fruto, como es el caso de *H. polyrhizus* y *Hylocereus undatus*. Aunque también, se atribuye un menor número de flores emitidas y la caída de las mismas, en ambientes con altas temperatura (38°C), baja humedad relativa ambiental (20%) y régimen de lluvias de 30 a 190 mm anuales. Los rendimientos estimados estuvieron en función de la densidad de flores emitidas por planta, no obtuvieron cosecha de la densidad menor de 0- 5 flores por planta, y a mayor densidad de 16 a más de 20 flores por planta, se obtuvieron rendimientos de 28 a 34 ton ha<sup>-1</sup>año. El peso de los frutos, también fue afectado en los lugares más calientes y secos, siendo de 250 a 350 g comparados con los más grandes de 460 a 650 g que se obtuvieron en lugares con mejores condiciones climáticas (Nerd *et al.*, 2002)

Weiss *et al.*, (1994) realizó polinizaciones cruzadas y autopolinizaciones en *H. polyrhizus*, *H. costaricensis* y *H. undatus* (estudios previos no publicados han demostrado que *H. undatus* es altamente compatible con otras especies), lograron el 100% de amarre en las polinizaciones cruzadas, 50% de amarre en *H. undatus* con autopolinización y 0% de amarre en autopolinización de *H. polyrhizus* e *H. costaricensis*. La estación de la floración en *H. polyrhizus* tiende a empezar pocos días antes que *H. undatus*, aunque puede haber algunas floraciones que se sincronizan (Nerd *et al.*, 2002). Por tal motivo, han generado la técnica de crio preservación de polen, que consiste en mantenerlo en temperaturas menores a 4°C y quitar toda la humedad del polen, para tenerlo viable al momento de la polinización.

Las polinizaciones cruzadas con distintas fuentes de polen tienen efecto en el peso de fruta, así por ejemplo en flores de *H. polyrhizus* al ser polinizada con *H. undatus* se obtuvieron pesos promedio de sus frutos de 476 g, pero cuando se polinizó con *H. costaricensis*, su peso fue de 539 g. Mientras que *H. costaricensis* polinizada con *H. polyrhizus* tuvo mayor peso (384 g) comparada con las polinizadas con *H. undatus* (298 g), el peso de los frutos está correlacionado con el número de semillas presentes en cada fruto (Weiss *et al.*, 1994). Aunque en este trabajo, la misma *H. undatus* la reportan con pesos de 301 y 307 g por fruto, muy por debajo de los obtenidos en México de más de 600 g hasta 1200 g que reportan los productores de la Mixteca Poblana (comunicación personal). El peso de los frutos en la misma especie, puede estar en función del cultivo, considerando que en Israel fue introducido y está en proceso de domesticación y adaptabilidad, quizá no puede expresar aun todo su potencial productivo, como ocurrió en Colombia con materiales silvestres, que registraron pesos de 156 a 287g en genotipos de pulpa roja- roja intenso y de 37 a 68 g en genotipos de pulpa blanca (Mejia *et al.*, 2013).

En la compatibilidad sexual, influyen además algunos otros factores, tales como la los polinizadores, la viabilidad del polen, la hora de polinización y el periodo de polinización efectiva.

La floración nocturna de la pitahaya, su aroma y sus colores son principales indicadores de atracción a murciélagos (*Leptonycteris curasoae* y *Choeronycteris mexicana*) identificados en Tehuacán, Puebla, que produjeron el 76.9% de fruta, mientras que la actividad diurna de las abejas (*Apis mellífera*) solo puede conseguir un 46.1% de fruta (Valiente-Banuet *et al.*, 2007).

El crecimiento del tubo polínico en *S. megalanthus*, *H. polyrhizus* y *H. undatus* llegó hasta el ovario de 48 a 96 h después de la polinización (Lichtenzveig *et al.*, 2000). El tiempo que recorren los tubos polínicos al ovario y la longevidad del óvulo dan como resultado el periodo de polinización efectiva (Dennis, 1986). La polinización de dos especies *H. costaricensis* y *H. polyrhizus* cruzadas con *H. undatus*, resultó muy efectiva cuando se utilizó polen fresco. El polen fresco recolectado en la mañana o en la noche, tiene alto porcentaje germinativo *in vitro*, pero es mayor cuando se colecta de flores que empiezan abrirse. En *H. polyrhizus* la germinación disminuye conforme se cierran las flores, mientras que en *H. undatus* y *H. costaricensis*, la germinación del polen disminuye a la noche siguiente que las flores se han cerrado completamente. El polen de *S. megalanthus* tiene muy baja germinación (<4%) 12 h después de la apertura. La polinización de *H. polyrhizus* y *H. costaricensis* con polen fresco de *H. undatus* presentó 100% de amarre de fruto, pero el porcentaje disminuyó al 38% y 20% con el polen colectado 36 h después de la apertura floral. A las 48 h no hubo amarre en ninguna de las dos especies. El peso del fruto también se afectó, de 392 y 316 g con polen recién colectado a 228 y 154 g a las 36 h en ambas especies respectivamente. De la polinización cruzada se obtuvieron frutos de mayor tamaño y frutos más pesados que los obtenidos por polinización libre (Weiss *et al.*, 1994).

La cantidad de polen sobre el estigma receptivo puede incrementar el número de semillas, el tamaño y el peso del fruto (Cane y Schiffhauer, 2003). El tamaño del fruto de pitahaya está influenciado por el número de semillas, formadas a partir de la unión del gameto masculino con el femenino en la doble fecundación, sin embargo, no siempre se demandan frutas de gran tamaño en el mercado, principalmente cuando

las familias son pequeñas. En Malasia se pueden obtener frutos de hasta 600 g en *H. polyrhizus*, pero se demandan más los frutos de 300 g. Por tal motivo, Cho *et al.*, (2012) evaluaron la cantidad del polen depositado en el estigma de las flores, en plantas de 5 años para conocer su influencia en la longitud, diámetro y peso de los frutos. Realizaron polinizaciones en la noche con 0.001, 0.05, 0.10, 0.15 y 0.20 g de polen por flor y obtuvieron que a mayor cantidad de polen mayor tamaño de fruto. Los frutos más pequeños de 133.06 g (7.10 cm de longitud y 5.93 cm de diámetro ecuatorial) se obtuvieron con la dosis más baja de polen, mientras que no hubo diferencia significativa en los tratamientos de 0.10, 0.15 y 0.20 g de polen, con el peso de 274.38 g, 264.42 g y 235.41g respectivamente, de 8.9 cm de largo y 7 cm de diámetro ecuatorial en promedio. Es decir, el tamaño del fruto se puede manipular con la cantidad de polen al momento de la polinización.

A pesar de encontrar compatibilidad parcial o total entre las especies de *Hylocereus spp.* y querer resolver el problema con el establecimiento de especies incompatibles con las autocompatibles para inducir la polinización cruzada, el problema de la falta de amarre de fruto puede persistir, debido a que la floración de ambas especies no siempre coinciden (Weiss *et al.*, 1994).

Metz *et al.*, (2000), desarrollaron un procedimiento para almacenar el polen en frío y utilizarlo en programas de hibridación. Estudios preliminares mostraron que el polen de *H. undatus* y *H. polyrhizus* colectado en la mañana o en la noche, pierden su fertilidad con un día almacenado a temperatura ambiente o después de pocos días a bajas temperaturas (4°C o -18°C). El polen colectado en la mañana contiene menos humedad que el colectado en la noche y esto le permite mejor conservación durante el almacenamiento, de ahí que se asume que al reducir el contenido de humedad puede mejorar la longevidad del polen.

Al almacenar el polen, previamente deshidratado con 5 al 10% en el contenido de humedad a diferentes temperaturas (4°C, -18°C, -70°C y -196°C) durante 3 y 9 meses, encontraron que las flores polinizadas con polen almacenado a temperaturas

congelantes mostraron 100% de amarre, y solo el 60 al 70% de amarre en flores polinizadas con polen almacenado a 4°C. El polen almacenado durante 3 y 9 meses a 4°C, produjo en ambas especies los frutos más pequeños, mientras que los más grandes de ambas especies, sin diferencia significativa entre ellos fueron los polinizados con polen almacenado a -18°C, -70°C y -196°C, de 400 a 500 g en frutos de *H. undatus* y de 300 a 400 g en los frutos de *H. polyrhizus*, sin diferencia significativa con los frutos obtenidos de polinizaciones con polen fresco, de 410 en *H. undatus* y 330 en *H. polyrhizus*. (Metz *et al.*, 2000).

La viabilidad del polen puede conservarse por tiempo prolongado utilizando un método adecuado de conservación, con bajo contenido de humedad y a temperaturas menores de 0°C. La rehidratación del polen no es necesaria al momento de la polinización, ya que de eso se encarga el estigma. La conservación en frío del polen permite su uso cuando no está disponible o cuando las floraciones no se sincronizan (Metz *et al.*, 2000)

En la Isla Reunión en Francia, se cultivan dos especies de pitahaya *Hylocereus undatus* y *Hylocereus costaricensis*, ambas especies son improproductivas, problema que le atribuyen a la introducción de las especies, a la incompatibilidad sexual y a la falta de polinizadores efectivos. La incompatibilidad sexual no estuvo relacionada con la esterilidad del polen, ya que pruebas de germinación *in vitro* resultaron satisfactorias en ambas especies, de 61%, 55% y 47% a las 17:00 h, 20:00 h y 7:00 h respectivamente en *Hylocereus undatus* y del 54%, 58% y 43% en el mismo intervalo de tiempo para *Hylocereus costaricensis* (F. Le Bellece, 2004).

En dos ciclos de producción se registraron 5 flujos de floración para *H. undatus* y 7 flujos para *H. costaricensis* y al menos en 5 flujos hubo sincronía de la floración en ambas especie, sin embargo, esto no resolvió el problema del amarre y la calidad del fruto. Los frutos obtenidos por polinización libre fueron de 144 g y 131 g para ambas especies (baja actividad de las abejas en la noche, cuando ocurre la apertura floral), por lo que se realizaron polinizaciones manuales cruzadas de las que se obtuvieron

frutos con pesos de 358 g y 300 g para *H. undatus* y *H. costaricensis* respectivamente. La conservación del polen a 5°C no afectó la fecundación o calidad de la fruta, sin embargo, los pesos de los frutos antes mencionados, no cumplen aún con las exigencias de calidad del mercado (F. Le Bellece, 2004).

## 2.4. Materiales y métodos

### Localización

El experimento se realizó de marzo a septiembre del 2014, en una huerta y un traspatio de dos localidades de la Región Mixteca Poblana, ubicadas al sur del estado de Puebla, con las siguientes coordenadas geográficas: Dolores, Huitziltepec a 18°45.179' LN, 97° 51.136' LW a 1964 m y Zacapala a 18° 35.728' LN, 98° 04.032' LW y 1333 m. Los datos fueron registrados con un GPS modelo GARMIN serie 3853442541 y con formato de posición hddd°mm.mmm'. Huitziltepec, tiene un clima templado sub húmedo con lluvias en verano, temperatura media anual entre 12 y 18°C y Zacapala tiene un clima cálido sub húmedo con lluvias en verano, temperatura media anual mayor a 22°C. Los suelos predominantes en ambas comunidades son calcáreos y con problemas de erosión (INEGI, 2009).

### Material vegetal

Se trabajó con los genotipos regionales, pitahaya de pulpa blanca B1 (*Hylocereus undatus*), pitahaya de pulpa solferina en Huitziltepec S1 (*Hylocereus polyrhizus*) y pitahaya de pulpa solferina o púrpura en Zacapala S2 (*Hylocereus ocamponis*), fueron denominados con las sigla B1, S1 y S2, los primeros están cultivados en una huerta de pitaya de mayo, mientras que el segundo, se encuentra en los traspatios, semi- cultivada en árboles de mezquites (*Prosopis juliflora*).

Los materiales tienen aproximadamente 30 años en producción, según los datos del productor y en los del traspatio según las referencias de los pobladores.

## **Metodología**

Se realizó un monitoreo constante de la huerta para identificar aquellas plantas que entrarían en producción. Se registraron las fechas cuando el botón floral se hizo visible, los días en que se desarrolla hasta la apertura, las fechas de floración de cada genotipo y la separación entre ellas.

Se tomaron datos semanales del crecimiento longitudinal del botón floral y el diámetro de la región del ovario.

Se establecieron los tratamientos, previos a la floración, para prever la colecta del polen y su conservación de los tres genotipos.

Con datos registrados durante el 2013, se pudo programar el evento próximo de las floraciones, aunque cada año, se han registrado pequeñas variaciones. Algunos genotipos muestran una floración más temprana que otros, por lo que algunos años pueden adelantar o retrasar su floración.

De acuerdo a la fenología de la floración durante el 2013, se registró el comportamiento de la floración, identificando la primer floración temprana en el mes de abril del genotipo S1, en la comunidad de Dolores Huitziltepec, y la primera floración de pitahaya de pulpa blanca en la misma comunidad en el mes de mayo, pero desfazadas del genotipo S2 en Zacapala a partir de junio, por lo que se tomaron las medidas adecuadas para recolectar el polen al momento de cada floración.

### **Colecta y preservación de polen.**

Se identificaron y midieron los botones florales próximos a la apertura, se estudió el mejor momento en que las anteras liberan los granos de polen y se recolectó la mayor cantidad posible de polen de diversas flores en frascos de plásticos con tapas herméticas.

En un ensayo durante el 2013, se identificó la principal problemática para la colecta y preservación de polen, y consistió en que no se puede coleccionar suficiente polen usando pinceles o guardándolo en bolsas, pero si en frascos. La hora de colecta fue muy importante, ya que las plantas tienen su apertura floral en la noche a partir de las 8:00 pm a las 10:00 pm y se mantienen abiertas hasta la mañana siguiente, sólo algunas tienen apertura por la mañana, sin embargo, la mejor hora para coleccionar fue entre 8:00 pm y 10:00 pm, después de esas horas el polen se pone pegajoso y grumoso por la humedad ambiental, mientras que en las mañanas, ya presenta muchas impurezas por todos los visitantes nocturnos en la flor.

El momento oportuno para la colecta de polen fue cuando ocurrió la dehiscencia de las anteras. Para facilitar la colecta, se utilizaron frascos pequeños de plástico, a los que se colocaban justo al centro de la flor, atrapando solo los estambres y esperando el momento exacto para la liberación y con un suave movimiento de la mano, el polen caía dentro del frasco. Inmediatamente el frasco se cerraba y se etiquetaba, se guardaba en una bolsa hermética y se colocaba en una hielera para conservarlo y transportarlo en frío. Fue muy importante no permitir la entrada de humedad al frasco, para que el polen no formara grumos ni contaminación por hongos. El polen coleccionado se preservó bajo condiciones de refrigeración a una temperatura de 7° C, esto por ser lo más disponible en campo, sin embargo, será muy importante en proyectos posteriores, determinar la temperatura adecuada para conservarlo el mayor tiempo posible y conocer su porcentaje de germinación.

Cabe mencionar que durante el experimento, en los meses de mayo y junio, se presentaron lluvias abundantes y consecutivas que dificultaron las labores de colecta de polen y polinización. Ya que al momento de la apertura floral, las flores recibían el estímulo pero no abrían, y al día siguiente se marchitaban, por lo que la polinización manual fue forzada.

Para comprobar compatibilidad, los botones florales previos a la apertura se encerraron en bolsas hechas con tela de organza (FIGURA. 2.1), que permite el intercambio de gases, la entrada de luz, pero evita la entrada de polinizadores y permanecieron encerrados así 10 días después de la polinización, posteriormente, se descubrieron, se eliminaron los restos de la flor y se volvieron a cubrir los que estaban formando frutos. La tela tuvo doble propósito, evitar la polinización cruzada y mantener al fruto protegido del ataque de insectos o daños por pájaros o lluvias.



FIGURA. 2.1. Tratamientos de autopolinización en botones florales de pitahaya: a) genotipo B1, b) genotipo S1 y c) genotipo S2.

## Diseño Experimental

Se realizó un Diseño Experimental Completamente al Azar, con 9 tratamientos, 3 genotipos: Blanca (B1), Solferina Huitziltepec (S1) y Solferina Zacapala (S2) y 2 niveles de polinización (autopolinización y cruzada), con diferentes repeticiones por tratamiento. El número de repeticiones estuvo en función de la disponibilidad de flores por genotipo para la polinización, y aunque se plantearon 15 repeticiones por tratamiento, en el genotipo S2, fue muy escasa la emisión de flores que coincidió con el resto de los genotipos (CUADRO 2.1).

Los datos se analizaron con el paquete estadístico InfoStat versión 2013 (Di Rienzo *et al.*, 2013), con comparación de medias LSD Fisher y un  $\alpha$  0.05

**CUADRO 2.1. Tratamientos, repeticiones y cruzas entre los tres genotipos de pitahaya de la Mixteca Poblana.**

Tratamientos	Repeticiones	Combinación de las cruzas	
		♀ x ♂	
		Planta femenina ♀	Fuente de polen ♂
T1	15	Autopolinización en B1	
T2	15	Autopolinización en S1	
T3	15	Autopolinización en S2	
T4	15	S1	B1
T5	8	S2	B1
T6	15	B1	S1
T7	15	B1	S2
T8	15	S1	S2
T9	9	S2	S1

Los datos fueron registrados semanalmente en libreta de campo y en una base de datos en Excel.

### **Variables evaluadas**

#### **Fenología de la floración**

Se registraron las fechas de a partir de que el botón floral se hizo visible, las fechas de las floraciones y el número de floraciones por genotipo.

**Crecimiento y desarrollo del botón floral:** Se midió con ayuda de una regla y vernier manual, la longitud y anchura en cm del botón floral, días después de que el botón floral fue visible (ddif) hasta un día antes de la apertura.

**Condiciones climáticas durante la apertura floral:** Con un HOBO<sup>®</sup> Data Loggers serie 10487477 versión 1.05, se registraron las temperaturas y humedad relativa del ambiente cada hora y se acumularon en un archivo. Se registraron las condiciones de tres floraciones dos en Huitziltepec del genotipo B1 y S1 y una en Zacapala del genotipo S2, en un intervalo de las 6:00 p.m a las 11:00 a.m y en promedio de 5 días de floración.

**Sincronía de la floración:** En un calendario se registraron las fechas de cada floración de los tres genotipos, a partir de abril a septiembre.

### **Polinizaciones y Frutos**

**Porcentaje de amarre:** 10 días después de las autopolinizaciones y polinizaciones cruzadas, se realizó un conteo de las flores que formaron frutos.

**Crecimiento del fruto:** Cada semana, se midió con una regla y un vernier digital Mitutoyo<sup>®</sup>, el crecimiento longitudinal y ecuatorial del fruto (cm) en desarrollo.

**Días de flor a fruto:** Se contaron los días desde el momento de la polinización, hasta que el fruto tienen madurez comercial con un 80% de color del pericarpelo.

**Tamaño final del fruto (cm).** Se midió largo y ancho del fruto (cm) al momento de la cosecha.

**Peso final del fruto (g).** Inmediatamente después de la cosecha se pesaron los frutos en una báscula de precisión Triple Beam Balance MB-2610 Zeigen.

**Coloración de la pulpa.** Carácter apreciativo en blanco, solferina y solferina púrpura.

**Sólidos Solubles Totales (°Brix).** En un refractómetro digital se determinaron °Brix de 4 frutos de cada genotipo, con 3 días después de la cosecha.

**Condiciones de luz, temperatura y humedad relativa durante el crecimiento de los frutos.** Se registraron los datos de la temperatura ambiental, la humedad relativa ambiental y la intensidad de luz con los valores mínimos, promedios y máximos, con un HOBO<sup>®</sup> Data Loggers serie 10487477 versión 1.05 del fabricante Onset Computer Corporation de dos periodos de crecimiento de frutos, uno en Huitziltepec y otro en Zacapala.

El caso de la intensidad luminosa, el valor esta dado en Lux, se convirtió a Fotón, multiplicando el valor por el coeficiente 0.019, para obtener los valores en micromoles por metro cuadrado por segundo ( $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ ) (Cálculos de Conversión de Radiación tomadas de Plant Growth Chamber Hand book, 1997 y publicados en la página web [www.egc.com/useful\\_info\\_lighting.php](http://www.egc.com/useful_info_lighting.php)).

## 2.5 Resultados

### Fenología

A partir del mes de marzo, se observaron algunos botones florales en estado inicial, con forma de canica, emitidos en las aréolas una vez que tiraban la espina que cubría esa aréola. Aunque no se registraron las condiciones ambientales, en esta región, es el mes más seco, sin probabilidades de lluvia y con altas temperaturas. El genotipo S1 fue el primero en presentar brotación, posteriormente fueron los genotipos B1 y S2.

En B1, se registraron los eventos de aparición del botón floral, floración y fructificación en el siguiente orden (CUADRO 2. 2)

**CUADRO 2.2.** Calendario de eventos fenológicos en la etapa reproductiva de B1, Huitziltepec, 2014.

Evento	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
Aparición del botón floral	x		x x		x	x x			
Floración		x		x x	x	x	x x		
Fructificación				x	x	x	x	x	x

Desde la aparición del botón floral en B1, a la apertura floral se contaron 24 días, de la floración y polinización al desarrollo de fruto maduro, fueron de 46 a 50 días. En total se contaron 70 días desde la aparición del botón floral a la cosecha del fruto.

A finales de marzo y principios de abril se detectaron los primeros primordios florales y la primera floración fue en abril. En mayo, se observó la emisión de dos flujos de botones florales al principio y final del mes, que dio lugar a dos floraciones abundantes en junio.

Mismo comportamiento se observó a inicios y mediados de agosto registrando dos floraciones más en septiembre. En total se contaron seis flujos de floración abundante que resultaron en seis cosechas de frutos maduros (FIGURA. 2.2).

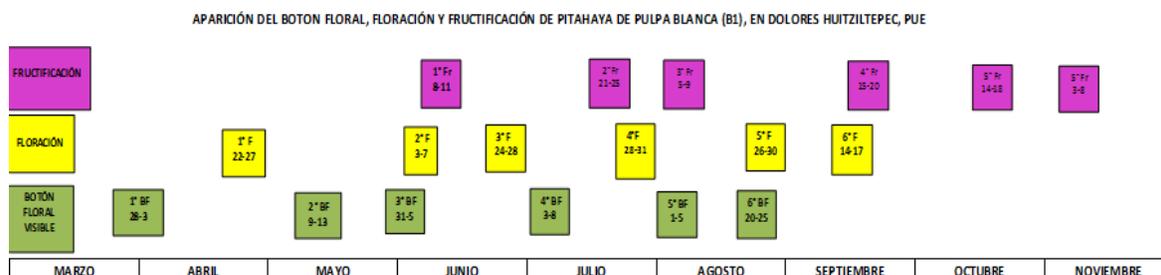


FIGURA. 2.2. Representación esquemática de los principales eventos en la fenología floral y reproductiva de *Hylocereus undatus*, genotipo B1.

En el genotipo S1, correspondiente a la pitahaya de pulpa solferina en Huitziltepec, se registraron los eventos de aparición del botón floral, floración y fructificación (CUADRO 2.3)

**CUADRO 2.3. Calendario de eventos fenológicos en la etapa reproductiva de S1, Huitziltepec, 2014.**

Evento	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Aparición del botón floral	x		x x			
Floración		x	x	x		
Fructificación				x	x	x

Este genotipo, tienen la tendencia de adelantar la floración y emitir los botones florales en plena sequía en esta región. A partir de marzo, son visibles los primordios florales y la primera floración se registró a mediados de abril. Difícilmente se obtienen cosechas de esta primera floración. Durante el 2014, solo se encontraron algunos frutos muy pequeños en junio. Los días desde la aparición del botón floral a la apertura fueron de 24 días en estas condiciones y de 47 a 60 días desde la floración hasta el fruto maduro. Se registraron tres floraciones abundantes, después de julio, ya no hubo floraciones. Las floraciones de S1 son más abundantes y largas en abril y mayo (de 7 a 14 días), la más incipiente y corta de junio (5 días en promedio).

El intervalo entre la aparición del botón floral, la apertura y la fructificación se representan en el siguiente esquema (FIGURA. 2.3).

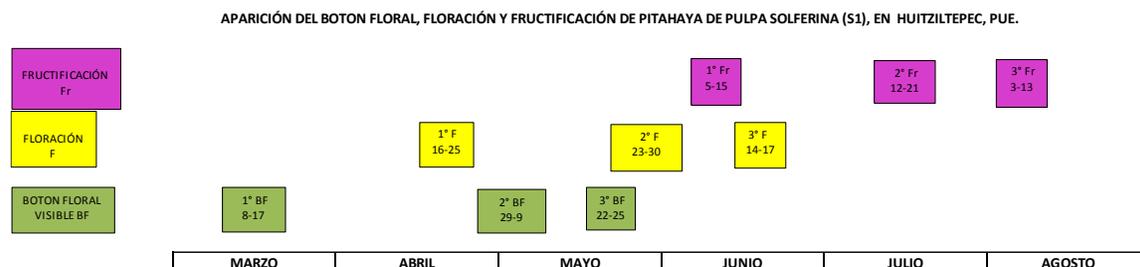


FIGURA 2.3. Representación esquemática de los principales eventos de la floración y fructificación de *Hycocereus polyrhizus* S1

En Zacapala, Pue, el genotipo identificado S2 como *Hylocereus ocamponis*, presentó el siguiente comportamiento de la floración y fructificación (CUADRO 2.4).

**CUADRO 2.4. Calendario de eventos fenológicos en la etapa reproductiva de S2, Zacapala, 2014.**

Evento	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
Aparición del botón floral		X	X X		X	X		
Floración		X		X X	X		X	
Fructificación				X	X	X	X	X

En S2, se registraron los principales eventos a partir de abril. La floración de abril fue incipiente, comparada con la de junio y julio. Pero la más abundante fue la registrada en septiembre. Del botón floral visible a la apertura, se registraron 24 días, y de flor a fruto maduro se contaron 46 días en promedio. Al corte de los frutos, se detectaban los nuevos botones florales emitidos.

El intervalo entre la aparición del botón floral, la apertura floral y la fructificación se representan en el siguiente esquema (FIGURA. 2.4)

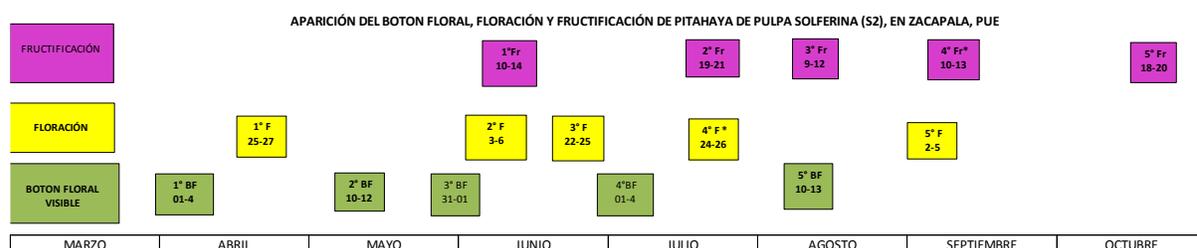


FIGURA 2.4. Representación esquemática de los principales eventos de la floración y fructificación de *Hylocereus ocamponis* genotipo S2.

Se registraron 5 floraciones, pero solo dos abundantes, en julio y en septiembre. Este genotipo, tuvo mucha caída de flores después de la polinización y solo en algunos lugares se observó la presencia de frutos de diversos tamaños. Aunque

finalmente no se pudieron cosechar, porque esta semi cultivada en árboles de mezquite (*Prosopis juliflora*) y los frutos son aprovechados por los pájaros.

Comportamiento curioso de este genotipo, que sólo presentó fructificación en lugares apartados del municipio, en comunidades rurales, que carecen de luz pública. Posiblemente tenga alguna relación con mayor oportunidad de los murciélagos como polinizadores, también se detectaron plantas productivas de *Hylocereus undatus* de pulpa blanca cercanas al genotipo S2.

### Crecimiento longitudinal del botón floral (cm)

En los tallos, las aréolas son las estructuras que emiten al botón floral, y estos se hacen visibles, una vez que las espinas de una aréola se caen. Inicialmente solo se distinguen pequeñas protuberancias que van creciendo hasta formar un botón floral. El botón floral, crece en largo y ancho hasta llegar a flor (CUADRO 2.5).

**CUADRO 2.5. Crecimiento longitudinal del botón floral de tres genotipos de pitahaya.**

Genotipos	n	Crecimiento longitudinal (cm), días después de la aparición del botón floral			
		2 *ddibf	10 ddibf	17 ddibf	23 ddibf
BLANCA B1	8	1.44 c	7.81 a	13.75 a	30.0 a
SOLFERINA S1	8	2.75 a	7.31 a	13.63 a	24.25 b
SOLFERINA S2	8	2.14 b	6.25 a	12.19 a	30.50 a
DMS		0.578	1.595	2.059	3.683
E.E		0.20	0.54	0.70	1.25

Medias con una letra común no son significativamente diferente ( $p > 0.05$ )

Prueba: LSD Fisher  $\alpha = 0.05$

\*ddibf: Días después de la aparición del botón floral.

A partir de que el botón floral se hizo visible, se desarrolló entre los 22 y 24 días, sin diferencia entre los genotipos, el crecimiento inicial varió muy poco, y no tuvo diferencias significativas en longitud a los 10, con (7.81, 7.31 y 6.25 cm) en los genotipos B1, S1 y S2, respectivamente y de (13.75, 13.63 y 12.9 cm) a los 17 días. Finalmente, alcanzan su máximo crecimiento longitudinal un día antes de la antesis, siendo los botones florales de B1 (30 cm), S2 (30.50 cm), más largos que S1 (24.25 cm) (FIGURA. 2.5).

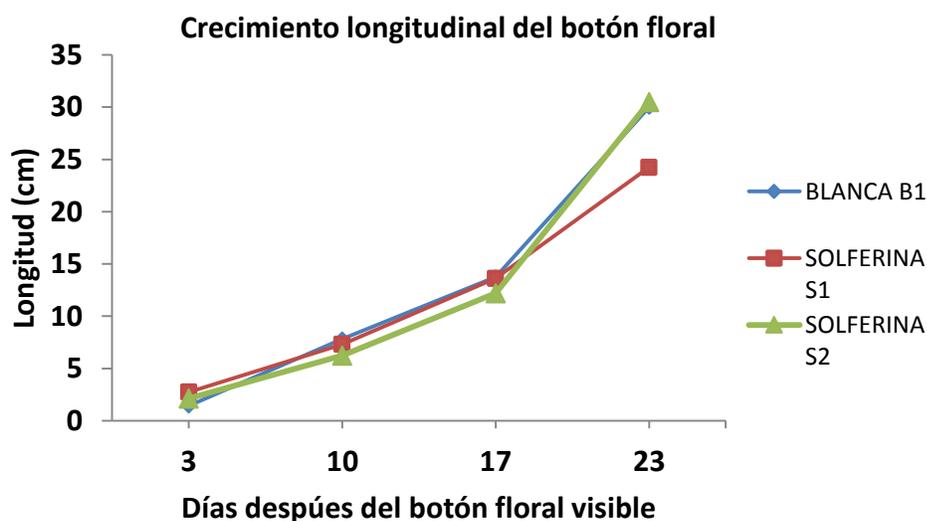


FIGURA. 2.5. Crecimiento longitudinal del botón floral en tres genotipos de pitahaya

### Crecimiento ecuatorial del botón floral.

Inicialmente, los botones florales tienen la forma de una canica, no se distingue si es más largo que ancho, posteriormente va tomando una forma alargada y la región del ovario tiende a ensancharse, sin embargo, este crecimiento no es tan notable ni tan rápido (CUADRO 2.6). Al final del crecimiento, las flores se pueden distinguir por genotipo por el ancho o diámetro ecuatorial en la región del ovario.

El crecimiento ecuatorial en la región del ovario siempre se mostró mayor en S1 (1.63, 2.75, 3.44 y 3.98 cm) a los 2, 10, 17 y 23 ddibf. Diferente estadísticamente a los 23 ddibf con B1 (3.50 cm) y S2 (3.50 cm) (CUADRO 2.6).

**CUADRO 2.6. Crecimiento ecuatorial del botón floral de tres genotipos de pitahaya.**

Genotipo	n	Crecimiento ecuatorial en la región del ovario (cm). Días después de la aparición del botón floral (ddibf)			
		2 ddibf	10 ddibf	17 ddibf	23 ddibf
BLANCA B1	8	1.06 b	2.81 a	3.13 a	3.50 b
SOLFERINA S1	8	1.63 a	2.75 a	3.44 a	3.98 a
SOLFERINA S2	8	1.58 b	2.38 b	3.31 a	3.50 b
DMS		0.335	0.308	0.325	0.386
E.E		0.11	0.10	0.11	0.13

Medias con una letra común no son significativamente diferente ( $p>0.05$ )

Prueba: LSD Fisher  $\alpha= 0.05$

DDIBF: Días después de la iniciación floral.

### Sincronía de la floración

Las floraciones de los tres genotipos durante el 2014, ocurrieron en tiempos diferentes, de acuerdo a los siguientes intervalos de fechas (CUADRO 2.7)

**CUADRO 2.7. Calendario de los intervalos de la floración de tres genotipos de pitahaya. Mixteca Poblana, 2014.**

Meses	Blanca B1	Solferina S1	solferina S2
Abril	22-27	16-24	25-27
Mayo	-	23-31	-
Junio	2-7, 24-29	1-3, 14-18	3-6, 22-25
Julio	23-31	-	24-26
Agosto	26-30	-	-
Septiembre	13-17	-	2-5

B1 y S1 que están cultivadas juntas, solo se sincronizaron 2 veces, en los últimos días de la floración de S1 y al inicio de B1. El genotipo B1 coincidió o estuvo muy cerca de las floraciones de S2, sólo que como se mencionó anteriormente, estos genotipos están separados físicamente en dos localidades por unos 30 km de distancia. Hubo traslape de un solo día de S1 con S2, pero también separadas físicamente por diferentes ubicaciones geográficas.

En general, la sincronía de la floración de los tres genotipos se representa en el siguiente esquema (FIGURA. 2.6).

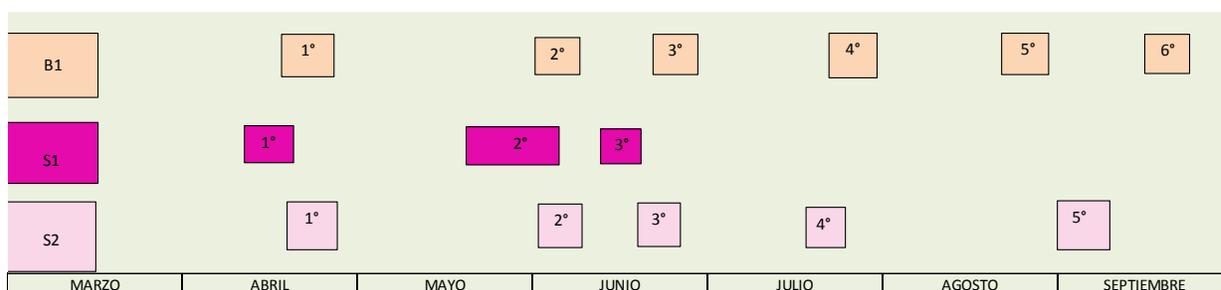


FIGURA. 2.6. Floraciones de tres genotipos de pitahaya en la Mixteca Poblana, 2014.

El genotipo B1 tuvo 6 floraciones, S1 tuvo 3 y S2 presentó 5 floraciones. La floración más temprana fue de S1 y las más tardías de B1 y S2. Existió mayor sincronía de la floración del genotipo B1 con S2, que ambos con S1.

### Condiciones ambientales durante la floración de cada genotipo

Las condiciones en temperatura y humedad relativa del ambiente, registradas fueron de la 3° floración de (S1) *H. polyrhizus*, del 14 al 18 de junio, de la 3° floración de (B1) *H. undatus*, del 24 al 28 de junio y la 5° floración de (S2) *H. ocampensis* del 2 al 6 de septiembre del 2014.

La floración de los tres genotipos de la Mixteca Poblana, sucedieron en las siguientes condiciones de temperatura y humedad relativa ambiental (FIGURA. 2.7 y FIGURA. 2.8).

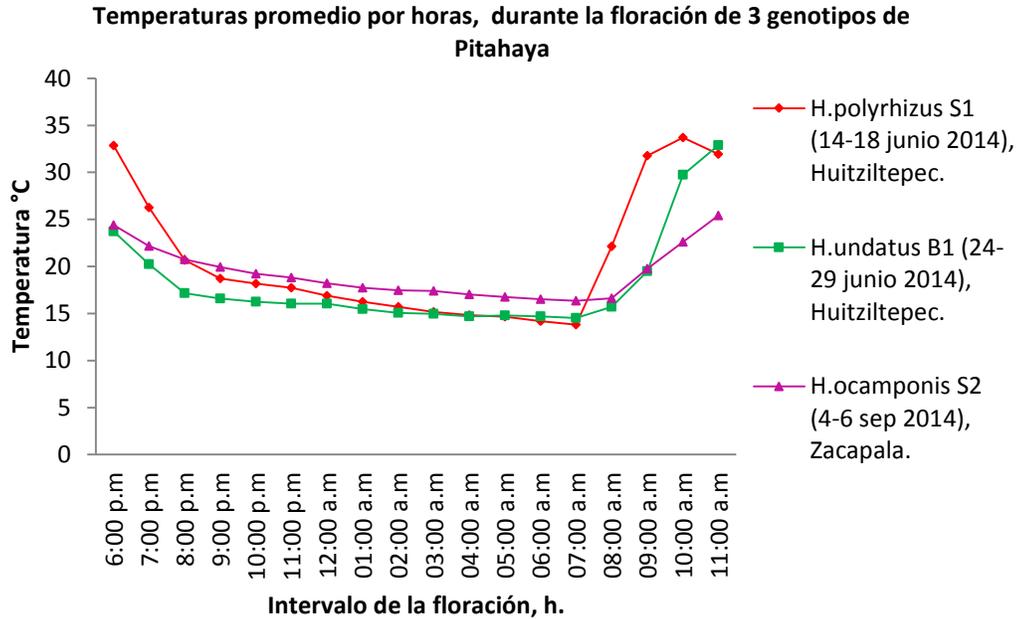


FIGURA. 2.7 Condiciones de temperatura ambiental presentes en la floración de tres genotipos de pitahaya, por hora en el intervalo de las 6:00 pm a las 11:00 am del siguiente día.

La floración de B1 y S1 en Huitziltepec, que se presentaron en junio, tuvieron una temperatura promedio nocturna entre los 14.5 °C y los 20°C, mientras que en el genotipo S2 en Zacapala, la floración de septiembre, se presentó cuando las temperaturas nocturnas fueron de los 16.6 a los 20°C entre las 8:00 p.m. y las 8:00 a.m.

La apertura floral de la pitahaya, inicia con el hinchamiento de los botones más grandes a partir de las 6:00 pm hasta las 8:00 pm, la temperatura en este intervalo empezó a descender de 32.86°C a los 20.67°C. Entre 8:00 pm y 9:00 pm, se notó la apertura apical de los tépalos internos, que permitieron ver los lóbulos del estigma, color verde amarillentos, alineados verticalmente. Gradualmente se abrieron los tépalos externos e internos, e inició la dehiscencia de las anteras, esto ocurrió a partir de las 8:30 pm con temperaturas más frescas (18°C). Posteriormente, los lóbulos del estigma se acomodaron horizontalmente para quedar al mismo nivel que las anteras, incluso el estilo se tornó curvo para facilitar la autopolinización.

Estas condiciones de temperatura, fueron las más óptimas para la colecta de polen y para la polinización manual. Por un lado, permitieron coleccionar una gran cantidad de polen, y el estigma receptivo aún no estaba perturbado por polinizadores, además de que se detectó una gran adherencia de los granos de polen al estigma. Estas condiciones prevalecieron hasta las 11:00 pm, posteriormente la temperatura siguió descendiendo y la humedad relativa aumentando, por lo que impidió la colecta de polen.

Las flores permanecieron abiertas toda la noche, y se notó la presencia de abejas, palomillas y escarabajos. Al amanecer, algunas flores que no abrieron en la noche, abrieron en la mañana, sin embargo, estas fueron pocas. El polen se pudo coleccionar nuevamente a partir de las 8:00 a.m. o antes de que la temperatura estuviera a más de 22.14°C. En las mañanas se pudo coleccionar polen utilizando los pinceles y recolectándolo de los pétalos de la flor, pero con muchas impurezas, de restos de insectos principalmente.

Entre las 8:00 a.m. y las 11:00 a.m. se notó actividad intensa de las abejas. A las 11:00 am, se registraron temperaturas de 31.93°C en promedio y las flores se cerraron completamente con aparente marchitez.

La humedad relativa durante la floración juega un papel importante para la colecta de polen y la polinización. Generalmente las floraciones se presentaron después de una precipitación ligera o abundante, por lo que la humedad relativa durante la noche y la madrugada fue más alta, comparada con la humedad relativa durante el día (FIGURA 2.8).

La floración registrada de los tres genotipos se presentó después de una precipitación y fue mayor en la floración del genotipo B1 y S2 que S1.

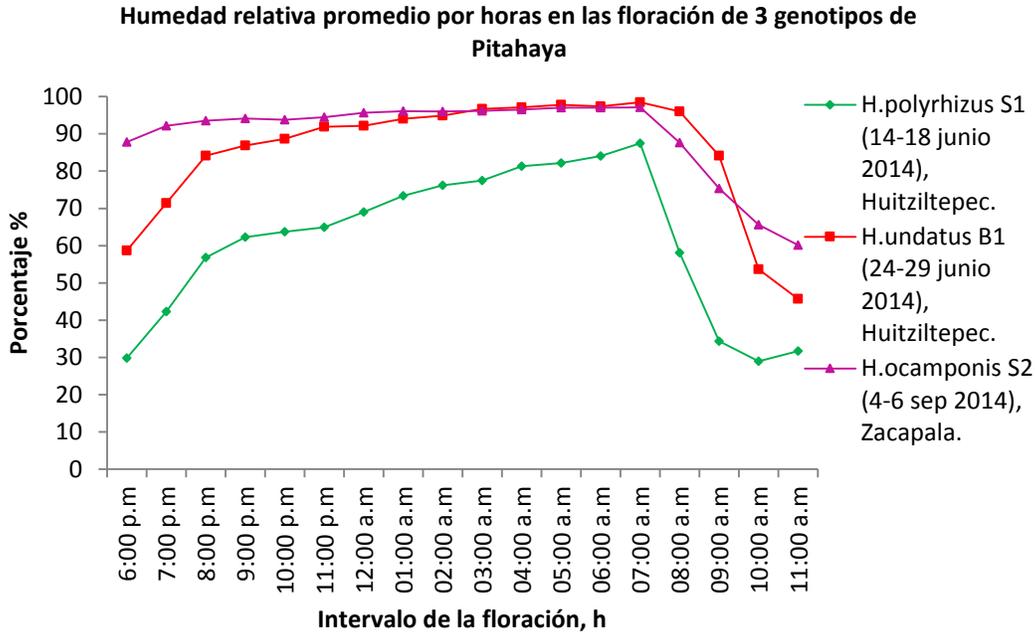


FIGURA. 2.8. Condiciones de humedad relativa ambiental presentes en la floración de tres genotipos de pitahaya, por hora en el intervalo de las 6:00 p.m. a las 11:00 a.m. del siguiente día.

La apertura floral empezó a notarse después de las 8:30 p.m. cuando la humedad relativa estaba a más del 50% en los tres genotipos y se mantuvo alta toda la noche. La humedad relativa descendió después de las 9:00 a.m. y siguió bajando durante el día.

Durante el intervalo de las 8:30 p.m. y las 10:00 p.m. en el genotipo S1, se pudo realizar la colecta de polen, pues la humedad relativa presente no fue tan alta comparada con la floración de los genotipos B1 y S2, que durante este intervalo fue imposible realizar colecta de polen, debido principalmente a que no se liberaba o bien formaba grumos. Incluso en algunos días lluviosos con alta humedad relativa, no se encontró al día siguiente acumulación de polen en los pétalos.

La polinización manual también se dificultó con alta humedad relativa, ya que al manipular el polen con los pinceles, estos se mojaron y no desprendieron los granos de polen sobre el estigma húmedo. Esta situación de alta humedad relativa, no permitió la polinización en todos los tratamientos, por lo que algunas flores tuvieron que ser polinizadas en la mañana siguiente.

La mejor hora de colecta se realizó entre las 8:30 p.m. y 10:00 p.m. justo después del inicio de la apertura floral, siempre y cuando sin presencia o efecto de la lluvia.

A pesar de las condiciones de alta humedad relativa ambiental, existió autopolinización en *H. undatus*. Ocho días después de la floración se detectó amarre de los frutos, aunque también muchos de los botones en etapas iniciales mostraron amarillamiento y caída, por exceso de humedad ambiental, al igual, algunos frutos, presentaron pudriciones.

Durante las noches, cuando ocurrió la floración con lluvia, no se detectó actividad polinizadora de abejas, solo de pequeños escarabajos.

Cuando las condiciones de alta humedad relativa fueron adversas para la colecta de polen, se crearon dos estrategias.

1. Se cortaron los botones florales en su máximo crecimiento, unas horas antes de la apertura, con un segmento de tallo, y se conservaron en un ambiente fresco y seco. Después de las 8:00 de la noche, se detectó el estímulo de la apertura floral, los tépalos externos se extendieron. Cuando la flor parcialmente abierta estuvo en contacto con el aire, las anteras empezaron con la dehiscencia del polen, justo en ese momento se colocó un frasco en el centro de la flor y se atraparon los estambres y el estilo, para que con un ligero movimiento de la manos se colectara el polen, con intervalos de 5 minutos, unas 3 o 5 veces en la misma flor para obtener una buena cantidad de polen.

El polen colectado se conservó en frascos de plástico bien cerrados y además se guardó dentro de una bolsa de cierre hermético para evitar la entrada de humedad y la proliferación de hongos. Se conservó en refrigeración, en buenas condiciones de color y pulverización hasta 1 mes (No se realizaron pruebas de viabilidad). Cada flor rindió lo suficiente para polinizar al menos 10 flores (FIGURA. 2.9 y FIGURA. 2.10).



FIGURA. 2.9. Colecta de polen en frascos



FIGURA. 2.10. Conservación en frascos

2. Otra estrategia a considerar en campo, cuando las condiciones de colecta de polen no fueron idóneas en la noche por efecto de la lluvia, fue identificar los botones más grandes con indicios de apertura y no permitir que se abrieran, se les cerró el ápice del botón con cinta adhesiva, y esto le permitió a las anteras no exponerse al aire y no reventar, pues son los tépalos externos e internos que la protegen, por lo que a la mañana siguiente cuando la humedad relativa no fue muy alta, se desprendió la cinta adhesiva y las anteras liberaron el polen. Nuevamente se colocó el frasco en medio de la flor y se procedió con la colecta del polen (FIGURA 2.11).



FIGURA. 2.11. Colecta de polen en campo

Ambas estrategias se crearon al observar el comportamiento de las flores en campo, de algunos botones que quedaron prensados entre los tallos y no pudieron abrirse durante la noche, y a la mañana siguiente, cuando se abrieron manualmente empezó la liberación del polen. El no permitir la apertura floral, también conservó en buenas condiciones al estigma, que sirvió posteriormente para realizar la polinización manual en la mañana.

La otra estrategia, de cortar botones florales, se descubrió, al momento de hacer colecta de algunos de ellos y conservarlos en refrigeración para su caracterización morfológica, y en la noche recibieron el estímulo de la apertura sin estar unidos a la planta, por lo que se aprovechó el momento para la colecta del polen.

Las temperaturas frescas y la humedad relativa alta, prevalecieron como indicadores en común, de la expresión de la floración nocturna en los tres genotipos de pitahayas de la Mixteca Poblana.

### **Autoincompatibilidad y compatibilidad sexual cruzada de los genotipos**

La incompatibilidad entre los genotipos solferinos se le atribuye entre otros factores a la hercogamia, la distancia de separación que existe entre las anteras y los lóbulos del estigma, esto obliga a las especies a la polinización cruzada, sin embargo, en el capítulo anterior, la hercogamia está presente en los tres genotipos estudiados, para descartar este factor como el determinante de la formación de frutos, se realizaron las colectas de polen de los tres genotipos, la autopolinización y la polinización cruzada manualmente en todos los genotipos.

Se estableció el siguiente calendario con las fechas de colecta de polen, de polinizaciones y de cosecha de fruto (CUADRO 2.8), principalmente porque no se encontró sincronía de la floración y porque fue necesario conocer el tiempo que se puede preservar el polen en las mínimas condiciones de campo.

**CUADRO 2.8. Calendario de colecta de polen, polinizaciones y cosecha de frutos en tres genotipos de pitahaya, durante el 2014.**

Tratamientos cruzas ♀ x ♂	Número total de flores polinizadas	Muestreo en campo, 2014			Porcentaje de amarre (%)	Días de flor a fruto maduro
		De polinización	De colecta de polen	De cosecha de fruto maduro		
T1 (B1 X B1)	15	04 junio	04 junio	19 julio	100	45-50
T2 (S1 X S1)	15	25 mayo	25 mayo	-	0	-
T3 (S2 X S2)	15	06 junio	06 junio	-	0	-
T4 (S1 X B1)	15	03 junio 14 junio	03 junio 06 junio	19 julio al 2 agosto 9 agosto	60	46-60 56
T5 (S2 X B1)	8	06 junio	05 junio	21-26 julio	100	45-50
T6 (B1 X S1)	15	03 junio	23 mayo	21-25 julio	100	47-50
T7 (B1 X S2)	15	05 junio	05 junio	19-26 julio	100	44-50
T8 (S1 X S2)	15	15 junio	06 junio	12-15 agosto	40	58-60
T9 (S2 X S1)	9	22 junio	17 junio	9-12 agosto	55.5	48-51

### Porcentaje de amarre

El porcentaje de amarre fue de 100% en autopolinización de B1 y 0% de amarre para las flores de los tratamientos de autopolinización de S1 y S2.

B1 como planta femenina al recibir su propio polen y el de S1 y S2, tuvo 100 % de amarre en los tratamientos T1, T6 y T7.

S1 que resultó auto incompatible, fue compatible parcialmente cuando recibió polen de B1 y S2, (T4 y T8) con 60 y 40% de amarre respectivamente.

S2 expresó 100% de amarre al ser polinizada con B1 (T5) pero solo el 55.5% cuando recibió polen de S1 (T9)

Las dos cruzas entre S1 y S2, fueron parcialmente compatibles, tuvieron un amarre del 40 y 55.5 %, respectivamente (T8 y T9).

En el T4 (S1 x B1) del 60% de amarre, el 46.66 % fue producto de las polinizaciones cruzadas esa misma noche con polen fresco de B1, pero al polinizar la otra mitad del tratamiento con polen conservado 8 días en condiciones de refrigeración a 7°C y polinizadas en la mañana, el porcentaje solo fue de 13.33% de amarre de fruto.

En el T5 (S2 X B1) se tuvo el 100% de amarre cuando fue polinizada con polen fresco conservado sólo una noche, y las polinizaciones se realizaron en la mañana entre 7:00 y 8:00 am. En la noche anterior, por efecto de la lluvia, se cerraron con cinta adhesiva los ápices de las flores para evitar su apertura y el deterioro del estigma receptivo, así que en la mañana, al abrirlos manualmente, el estigma estuvo intacto y listo para la polinización manual.

Similar situación ocurrieron en T8 (S1 x S2), del 40% de amarre total, el 33.33% correspondió a las cruzas hechas en la noche con polen de 9 días de almacenamiento, mientras que las realizadas entre las 8:00 y 9:00 am con polen de 8 días de conservación sólo logro el 6.66% de amarre.

En el T9 (S2 x S1), todas las polinizaciones se realizaron en la noche, con polen de 5 días de conservación y se obtuvo un 55.5% de amarre total de frutos.

El porcentaje de amarre en todos los tratamientos se representa en la siguiente gráfica, los colores y texturas iguales pertenecen al mismo genotipo con diferente tratamiento (FIGURA. 2.12)

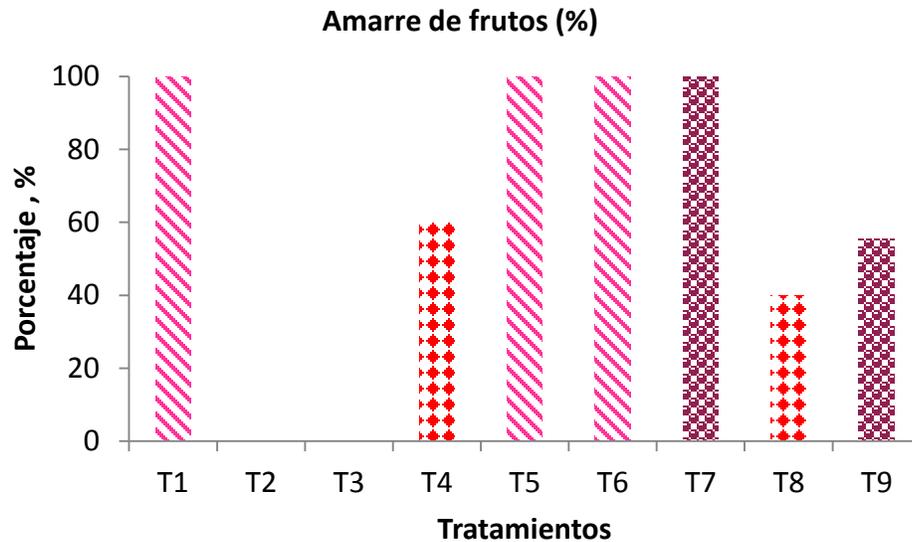


FIGURA 2.13. Porcentaje de amarre de flores en autopolinización y polinizaciones cruzadas.

### Crecimiento del fruto.

Después de la polinización, existió en T2 y T3, la caída de flores 10 días después, en respuesta a la incompatibilidad sexual. Los frutos se desarrollaron en el resto de los tratamientos, donde se realizaron polinizaciones manuales y cruzadas.

Los frutos mostraron un crecimiento sigmoide de 47 días en promedio, aunque hubo la excepción de los frutos de S1 que tuvieron un comportamiento irregular y se alargó su período de crecimiento hasta 60 días en algunos casos.

El crecimiento final longitudinalmente de los frutos fue una característica que destacó por genotipo.

A partir de los 12 días después de la polinización, los frutos empezaron a crecer. El crecimiento longitudinal de los frutos, está representado en la siguiente gráfica (FIGURA. 2.13).

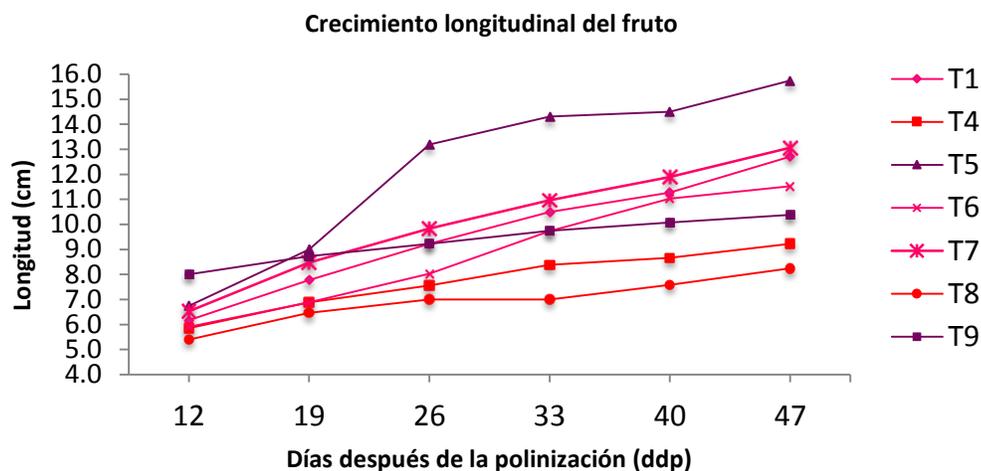


FIGURA. 2.13 Crecimiento longitudinal del fruto, días después de la polinización

En la comparación de medias durante el crecimiento longitudinal de los frutos, resultaron diferentes estadísticamente entre los genotipos dependiendo del tratamiento (CUADRO 2.9).

**CUADRO 2.9. Comparación de medias en el crecimiento longitudinal de los frutos, días después de la polinización.**

Tratamientos Cruzas ♀ X ♂	n	Crecimiento longitudinal de los frutos (cm) Días después de la polinización, ddp		
		12 ddp	26 ddp	47 ddp
T1 (B1 X B1)	15	6.17 bc	9.23 b	12.17 c
T4 (S1 X B1)	9	5.86 cd	7.56 cd	9.22 e
T5 (S2 X B1)	8	6.75 b	13.19 a	15.75 a
T6 (B1 X S1)	15	5.91 cd	8.03 c	11.53 c
T7 (B1 X S2)	15	6.53 b	9.83 b	13.07 b
T8 (S1 X S2)	6	5.40 d	7.00 d	8.25 e
T9 (S2 X S1)	6	8.00 a	9.23 b	10.38 d
DMS		0.620	0.881	0.956

Medias con una letra común no son significativamente diferente ( $p > 0.05$ )

Prueba: LSD Fisher  $\alpha = 0.05$

A los 47 ddp, los frutos más alargados fueron los de T5 (15.75 cm), que corresponden al genotipo S2, de pulpa solferina- púrpura. Tuvieron un crecimiento significativo, diferente al resto de los tratamientos a partir de los 26 días después de la polinización y su comportamiento se mantuvo hasta los 47 días, al momento de la cosecha. Los crecimientos longitudinales de los frutos en los tratamientos (T1 y T7), no tuvieron diferencias significativas a los 26 ddp, pero sí al momento de la cosecha, siendo más grandes los de T7 (13.07 cm) que T1 (12.17 cm). Los frutos de T4 (9.22 cm) y T8 (8.25 cm), tuvieron menor longitud y correspondieron al genotipo S1. Cuando el genotipo S2 fue polinizado con B1 (T5), los frutos tuvieron mayor crecimiento longitudinal (15.75 cm) comparado y diferente estadísticamente con los polinizados con S1 en el T9 (10.38 cm).

El crecimiento ecuatorial de los frutos, también tuvo diferencia significativa entre los genotipos y los tratamientos (FIGURA. 2.14).

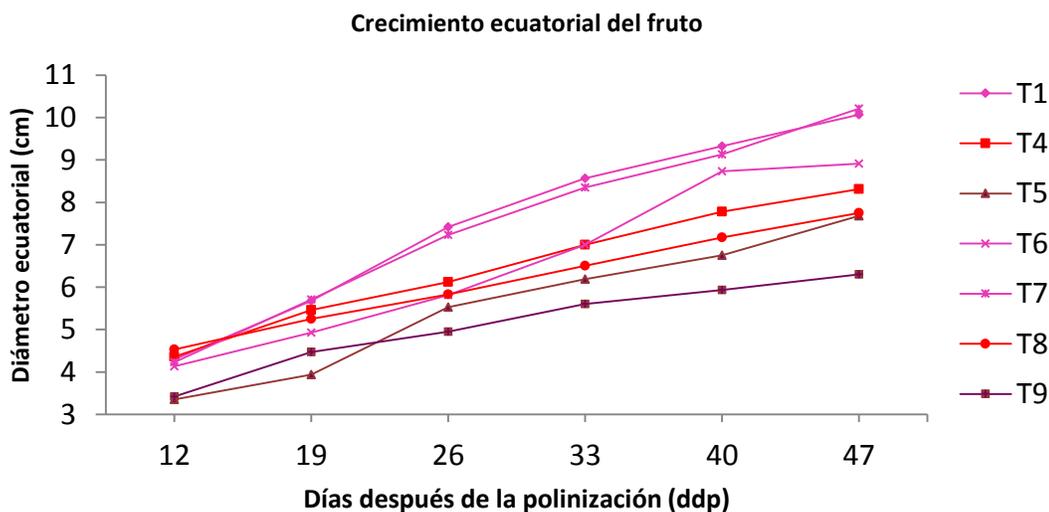


FIGURA. 2.14. Crecimiento ecuatorial del fruto, días después de la polinización.

El crecimiento ecuatorial, mostró la curva de crecimiento parecida al crecimiento longitudinal, con valores inferiores. Los frutos más anchos a los 47 ddp, fueron del genotipo B1, en los T1 (10.07cm), T6 (8.91 cm) y T7 (10.21), seguidos por los frutos de S1 en el T4(8.31cm) y T8 (7.75cm), mientras que los de S2, tuvieron el menor

crecimiento en diámetro ecuatorial en T5 (7.68 cm) y T9 (6.30cm), que les da al final la forma alargada.

Al revisar la caracterización en flores, en el corte longitudinal de la región interna del ovario, se puede observar el lóculo de distintas dimensiones por genotipo, que finalmente le atribuye posiblemente la forma de los frutos. El lóculo, el pericarpio y el pericarpelo pueden ser el “molde” de los frutos de pitahaya, siendo grandes y ovalados en la blanca B1, pequeños y redondos en S1 y alargados en S2 (FIGURA. 2.15, 2.16 y 2.17).



FIGURA. 2.15. Corte longitudinal del ovario y forma del fruto en a) Genotipo B1.



FIGURA. 2.16. Corte longitudinal del ovario y forma del fruto en b) Genotipo S1.

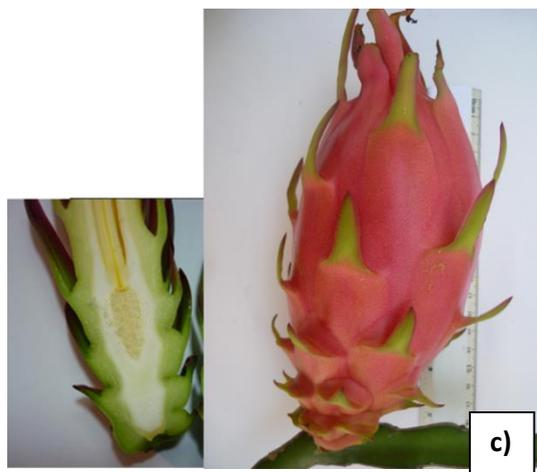


FIGURA. 2.17. Corte longitudinal del ovario y forma del fruto en c) Genotipo S2.

### Tamaño final del fruto (cm)

Los genotipos tuvieron crecimiento (longitudinal y ecuatorial) diferentes estadísticamente por cada genotipo y con variaciones por efecto de la polinización cruzada, los colores iguales indican mismo genotipo con diferente tratamiento (FIGURA. 2.18 y 2.19).

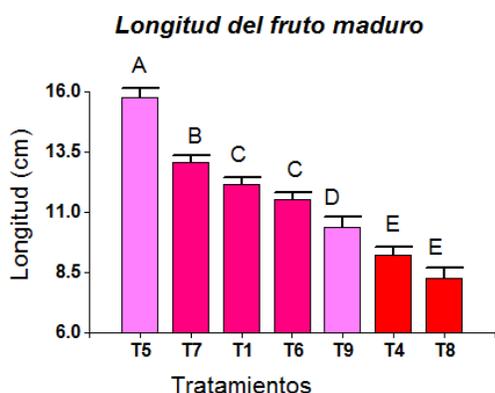


FIGURA. 2.18. Longitud final de los frutos en cada tratamiento

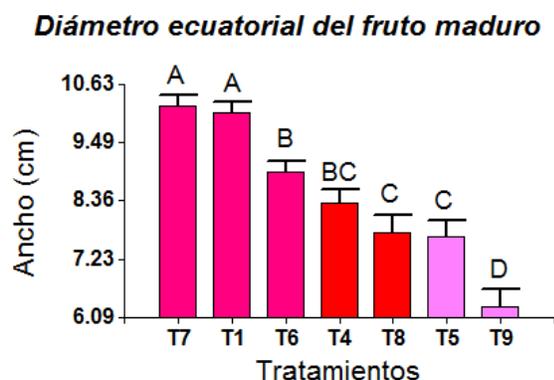


FIGURA. 2.19. Diámetro ecuatorial final de los frutos en cada tratamiento

Medias con una letra común no son significativamente diferente ( $p > 0.05$ )

LSD Fisher  $\alpha = 0.05$

El crecimiento longitudinal y ecuatorial de los frutos al momento de la cosecha, se representa como el máximo crecimiento obtenido por tratamiento, y destaca que los frutos del genotipo S2 en el T5, fueron los de mayor longitud y con menor diámetro ecuatorial en el T9.

Los frutos del genotipo B1 (T1, T6 y T7), fueron los más grandes por tener mayor diámetro ecuatorial y longitud un poco menor que los de S2 en el T5. Los frutos del genotipo S2, fueron los más pequeños y redondos.

### Días de flor a fruto

El tiempo transcurrido desde la polinización hasta la madurez comercial de los frutos, fue similar en los tratamientos de los genotipos B1 y S2 como plantas madres, de 45

a 50 días en promedio, sin embargo, cuando se manipuló la polinización en el genotipo S1, los frutos alargaron el tiempo a madurez de 46 a 60 días.

### Peso total del fruto (g)

El peso de los frutos tuvo diferencias significativas entre tratamientos (CUADRO 2.10). Fueron más pesados los frutos de B1, en los tratamientos (T7, T1 y T6). El peso de los frutos de S2 en el T5, fueron estadísticamente, similares que los de T6. Considerando que S2, esta de manera semi cultivada, en traspatio y que no recibe ningún cuidado, expresó su potencial con sólo realizar las polinizaciones cruzadas con B1, y poco favorable cuando se polinizó con S1.

CUADRO 2.10. Comparación de medias en los pesos de frutos por tratamiento.

Tratamientos ♀ x ♂	E.E	n	Peso del fruto en madurez comercial (g)
T7 (B1 X S2)	33.31	15	746.60 a
T1(Autopolinización B1)	33.31	15	731.40 a
T6 (B1 X S1)	33.31	15	635.07 b
T5 (S2 X B2)	45.61	8	578.63 b
T4 (S1 X B1)	43.00	9	415.89 c
T8 (S1 X S2)	52.67	6	324.17 c d
T9 (S2 X S1)	52.67	6	178.88 d
DMS = 116.265			

Medias con una letra común no son significativamente diferente ( $p>0.05$ )

Prueba: LSD Fisher  $\alpha= 0.05$

Los frutos de B1, cuando recibieron polen de S2 (T7) fueron más pesados (746.60 g) aunque sin diferencia significativa con los frutos obtenidos por autopolinización T1 (731.40 g). Cuando se utilizó S1 como fuente de polen, los frutos tuvieron menor peso en B1 en T6 (635.07 g).

Los frutos de S1, resultaron menos pesados sin diferencia significativa entre ellos por efecto del tratamiento T4 (415.89 g) y T8 (324.17 g).

Los frutos de S2, se favorecieron en peso cuando se polinizaron con B1 en T5 (578.63g), pero no cuando se polinizaron con S1 en T9 (178.88 g), con diferencia estadística significativa.

La fuente de polen influye en el peso de los frutos, sin embargo, falta determinar si se debe a la viabilidad o a la cantidad de polen depositado en el estigma.

En el genotipo B1, el peso y el tamaño (longitud y diámetro ecuatorial del fruto fueron similares a los testigos, en este caso a los de autopolinización).

Los frutos de los genotipos S1 y S2, que fueron autoincompatibles se pudieron comparar superficialmente, con algunos frutos de polinización libre que se obtuvieron durante este ciclo, de menor peso, longitud y diámetro que los obtenidos por la manipulación en la polinización cruzada.

En caso del genotipo S1, que normalmente son frutos pequeños, sin valor comercial, con pesos de los 90 g a los 250 g como máximo, con la manipulación de la polinización cruzada se lograron frutos de 300 g, incluso algunos frutos pesaron los 600 g y con diferentes tamaños entre el mismo genotipo (FIGURA.2.20 y 2.21).

En promedio, el peso fue de 400 g, que se considera muy aceptable para su comercialización, con un valor en el mercado local de \$20.0 a \$30.0 por fruto.



FIGURA. 2.20. Comparación de los frutos S1, obtenidos por polinización cruzada y libre, apariencia externa e interna.



FIGURA. 2.21. Frutos del genotipo S1 de diferente tamaño

Al comparar los frutos más grandes de S1 con los de B1, se observa que alcanzaron un tamaño similar y muy competente por su peso, aunque con el detalle de que no hubo cambio significativo en la coloración externa al momento de la madurez en S1 (FIGURA. 2.22).



FIGURA.2.22. Apariencia externa de los frutos, izquierda genotipo S1 y derecha B1

En el caso del genotipo S2 de pulpa solferina- púrpura en Zacapala, los frutos silvestres tuvieron peso de 200 a 300 g, y con la manipulación de la polinización se obtuvieron frutos de 500 hasta 800 g en algunos casos, en promedio de 570 g.

Se le atribuyen otras características favorables para su comercialización, tales como la coloración de la pulpa, su dulzura y la posición y número de brácteas plegadas al fruto que evitarían menor daño al momento del empaque (FIGURA. 2.23).



FIGURA. 2.23. Comparación de los frutos de S2, obtenidos por polinización cruzada con los de polinización libre, apariencia externa e interna.

Los frutos más grandes obtenidos de S2, se comparan en tamaño con los de B1 el genotipo más cultivado, considerando que S2 está sin manejo agronómico, tiene buen potencial productivo como cultivo (FIGURA. 2.24).



2.24. Apariencia externa del fruto más grande de S2 (izquierda), con el fruto de B1 (derecha).

La comparación total del peso promedio de los frutos por tratamiento se representa con colores iguales, que corresponden al mismo genotipo con diferente tratamiento (FIGURA. 2.25).

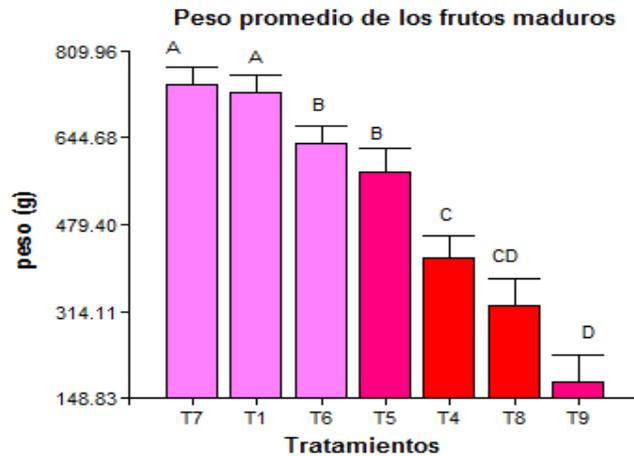


FIGURA. 2.25. Comparación de medias en peso de frutos  
Medias con una letra común no son significativamente diferente ( $p>0.05$ )  
LSD Fisher  $\alpha= 0.05$

### Coloración de la pulpa.

El color de la pulpa se mantuvo en los tres genotipos sin importar la fuente de polen, por lo que indica que la coloración es de origen materno. Los frutos de pulpa solferina y púrpura de S1 y S2, tienen la pulpa rosada 15 días después de la fecundación y se intensifica con la madurez. La pulpa de B1 se mantuvo blanca con abundantes semillas negras, que le dan la tonalidad grisácea.

### Sólidos Solubles totales (°Brix).

La determinación de SST, se utilizó como parámetro de calidad, ya que muchos trabajos mencionan a la pitahaya como una fruta sin dulzura, sin embargo, son los pobladores, los que aseguran que las frutas de pulpa de color son más dulces que las blancas. Las pruebas en el refractómetro digital dieron los siguientes valores promedio en una muestra de frutos de cada genotipo (CUADRO 2.11).

### 2.11. Determinación de los SST por cada genotipo de pitahaya.

---

Genotipos	n	Sólidos Solubles Totales (°Brix)
Blanca B1	4	17.70 a
Solferina S1	4	14.35 b
Solferina S2	4	18.13 a
DMS= 1.373		
E.E = 0.43		

---

Medias con una letra común no son significativamente diferente ( $p>0.05$ )  
LSD Fisher  $\alpha= 0.05$

Los °Brix, fueron diferente para los frutos de S1, que tuvieron los parámetros más bajos, pero no hubo diferencia entre los frutos de B1 y S2, a pesar de que tienen el color de su pulpa diferente entre ellos.

#### **Condiciones de temperatura, humedad relativa y luz, durante el crecimiento de fruto de los genotipos B1 y S1 en Huitziltepec, Pue.**

Del 14 de junio al 21 de julio, se registraron los datos del clima, que comprendieron parte del crecimiento de los frutos de B1 y S1 en los tratamientos T1, T4, T6, T7 y T8. Fue el periodo de mayor floración y fructificación de estos genotipos.

De mediados de junio a mediados de julio, las temperaturas durante el día fueron muy altas y durante la noche más frescas y estables (FIGURA. 2.26).

**Temperaturas ambientales mínimas, promedio y máxima (°C), durante el crecimiento de frutos en Huitziltepec, Pue.**

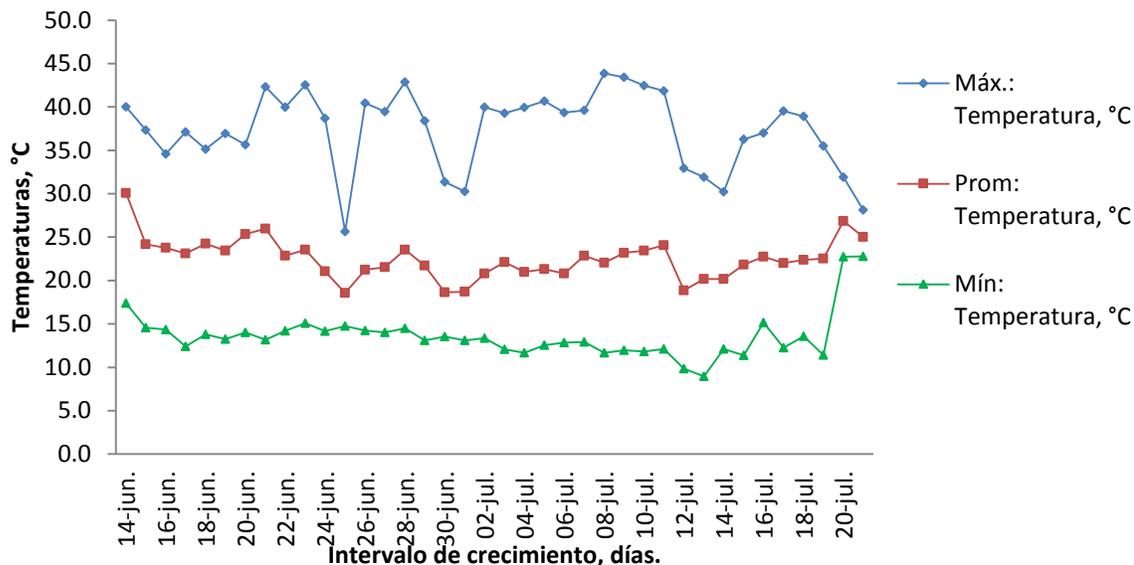


FIGURA. 2.26. Comportamiento diario de la temperatura ambiental en Huitziltepec, Pue.

Las temperaturas máximas se presentaron durante el día, entre las 11:00 a.m. y 4:00 p.m. y las mínimas se registraron a partir de las 12:00 a.m. hasta las 4:00 a.m. Las temperaturas nocturnas mínimas oscilaron entre los 18° y los 10°C, durante este intervalo de tiempo.

Junio, es el mes con mayor precipitación en la región Mixteca Poblana, por lo que las condiciones de humedad relativa en general son más altas que los meses secos. Durante la floración y el crecimiento de los frutos se registraron las siguientes condiciones de humedad relativa (FIGURA. 2.27).

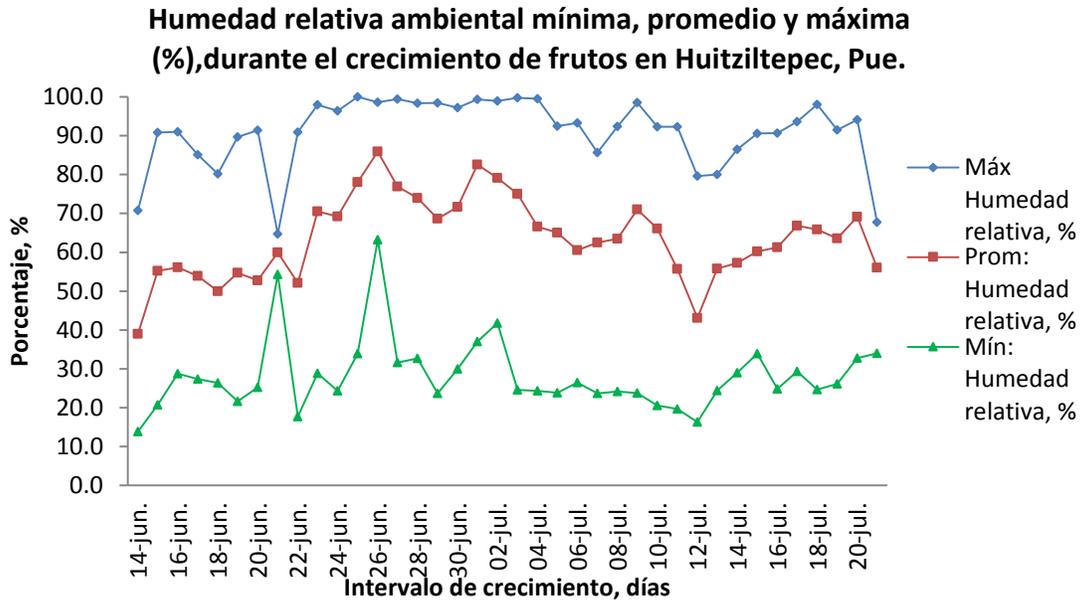


FIGURA. 2.27. Comportamiento diario de humedad relativa ambiental, en Huitziltepec, Pue.

La humedad relativa ambiental durante este intervalo, tuvo sus picos máximos en las noches y en las madrugadas, mientras que los valores más bajos se registraron a partir de las 11:00 a.m. hasta las 4:00 p.m. en promedio.

La energía solar utilizada por las plantas está entre los 400 a los 700 nanometros, esta región es conocida como Radiación Fotosintéticamente Activa o PAR. La iluminación en las plantas, también es conocida como “irradiancia”, es medida algunas veces con PAR watt por metro cuadrado ( $W m^2$ ).

Otra medida de la calidad de la luz para el crecimiento de las plantas, involucra unidades discretas de quantum flujo en la región PAR, llamada “Fotones”. El flujo de fotones es comúnmente medido en unidades de micromoles por metro cuadrado por segundo ( $\mu moles m^2 s^{-1}$ ). Para la conversión de lux (valor dado en el Data Logger) a fotones, se multiplicó por 0.019, que es el factor de conversión para obtener fotones en  $\mu moles m^2 s^{-1}$  ([www.egc.com/useful\\_info\\_lighting.php](http://www.egc.com/useful_info_lighting.php)).

La intensidad de luz sobre las plantas de pitahaya se considera importante, sobre todo porque los genotipos B1 y S1, están en un sistema de cultivo asociado con

pitahaya (*Stenocereus* spp.) que no le aporta sombra para reducir las altas intensidad lumínicas en los periodos más secos.

Durante el crecimiento de los frutos de estos genotipos se registró el comportamiento de la intensidad lumínica (FIGURA.2.28).

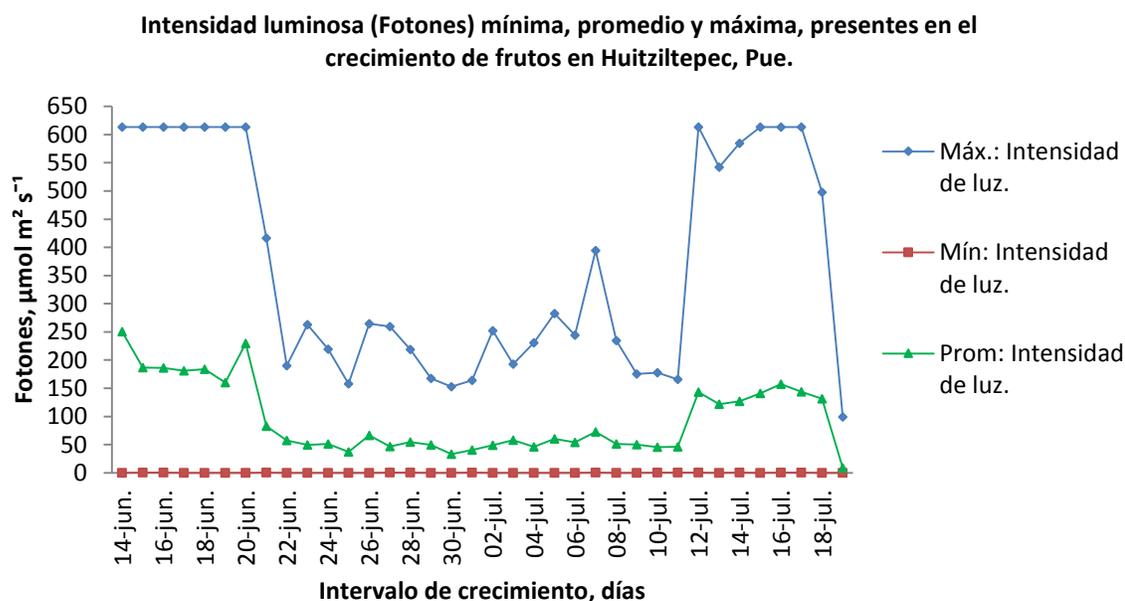


FIGURA. 2.28. Comportamiento de la intensidad lumínica en Huitziltepec, Pue.

La intensidad lumínica registrada durante este intervalo de tiempo fue muy alta. La incidencia de la luz, sobre las plantas es muy directa. En la primera semana, el aparato de medición estuvo expuesto libremente sobre el dosel de un árbol de mezquite (*Prosopis juliflora*), por lo que se le atribuye a esto una alta intensidad lumínica. Posteriormente se colocó a 2.5 m de altura del nivel de suelo, quedando a la misma altura que la mayoría de las plantas de pitahaya soportadas en los pitayos y con efecto de sombreo ligero.

La intensidad media se registró entre los 50  $\mu\text{moles m}^2 \text{s}^{-1}$  a partir del 22 de junio hasta el 11 de julio, posteriormente, se registró un incremento de la misma.

Las intensidades más altas registradas estuvieron arriba de  $600 \mu\text{moles m}^2 \text{s}^{-1}$ , o su equivalente en  $26 \text{ moles m}^2 \text{ día}$ , considerando que fue un mes lluvioso y con presencia de nublado.

Las condiciones ambientales en Zacapala, Pue, durante el crecimiento de botones florales y crecimiento de fruto en el genotipo S2, se muestran en las siguientes gráficas, durante el intervalo del 13 de agosto al 06 de septiembre del 2014.

En Zacapala, no fue posible determinar las condiciones climáticas en el mismo periodo que las registradas en Huitziltepec, ya que solo se dispuso de un Data Logger, por lo que una vez que se cosecharon los frutos en Huitziltepec, se realizó el traspaso del aparato medidor al siguiente sitio de estudio. Sin embargo, de referencia inicial, este lugar tiene un clima más cálido, por lo que las temperaturas durante el mes de abril, mayo y junio son más altas, y se sienten frescas sólo cuando empieza el periodo de lluvia, de junio a septiembre.

El genotipo S2, se encontró en comunidades con características similares en clima, por lo que fue muy importante registrar estos datos.

Las mejores condiciones de temperatura, humedad relativa e intensidad lumínica, que propiciaron el crecimiento y desarrollo de los botones florales de la floración más abundante en septiembre, así como el crecimiento de algunos frutos durante el mes de agosto se muestran en las siguientes gráficas (FIGURA. 2.29, 2.30 y 2.31).

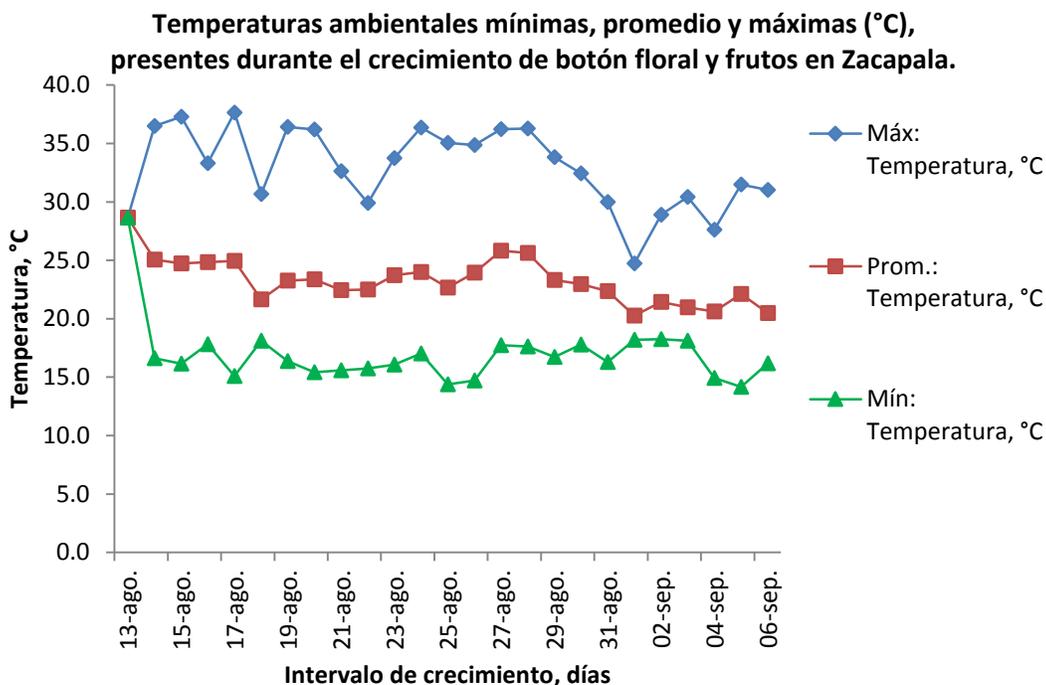


FIGURA 2.29. Comportamiento de las temperaturas ambientales en Zacapala, Pue.

Las temperaturas promedio, fueron ligeramente superior a las registradas en la otra comunidad, por lo que nos indica, que la floración se presenta cuando las temperaturas del ambiente no son tan extremas. Las temperaturas mínimas registradas en la madrugada fueron cercanas a los 15°C, pero se mantuvieron constantes entre los 16° y 18°C durante la noche. Las temperaturas máximas expresadas en el día fueron superiores a los 35°C pero inferiores a los 40°C, esto considerando que agosto y septiembre son más fresco que los meses de marzo a junio.

El ambiente en este lugar, tiene su mejor humedad relativa durante estos meses, que se establece el periodo de lluvias, por lo que las plantas reciben no solo las condiciones para florecer y reproducirse, sino también, es la época del año que crecen sus brotes vegetativo y emiten la mayor cantidad de raíces adventicias.

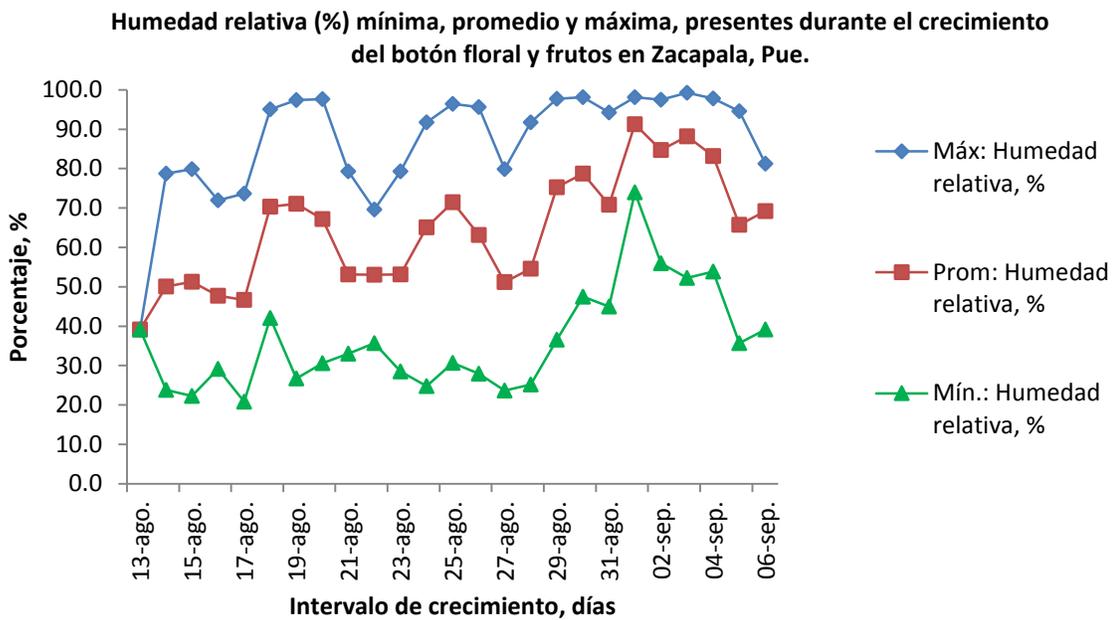


FIGURA. 2.30. Comportamiento diario de la humedad relativa ambiental en Zacapala, Pue.

La humedad relativa ambiental durante este intervalo, se registró muy alta en las tardes o noches de lluvia, y durante el día se registraron entre el 20 y 30% de los días más secos, entre las 12:00 p.m. y las 3:00 p.m. En promedio, la humedad relativa se presentó entre el 50 y 70%.

La intensidad lumínica registrada en Zacapala durante el crecimiento de frutos y desarrollo de nuevos botones florales, se tomó a la altura de las plantas de pitahayas, establecidas bajo la sombra de árboles. Los valores fueron menores que en Huitziltepec, y la intensidad máxima registrada solo fue de  $237 \mu\text{moles m}^2 \text{s}^{-1}$  y se mantuvo más o menos constante entre los  $14$  y  $18 \mu\text{moles m}^2 \text{s}^{-1}$ , en el mes de agosto a septiembre del 2014.

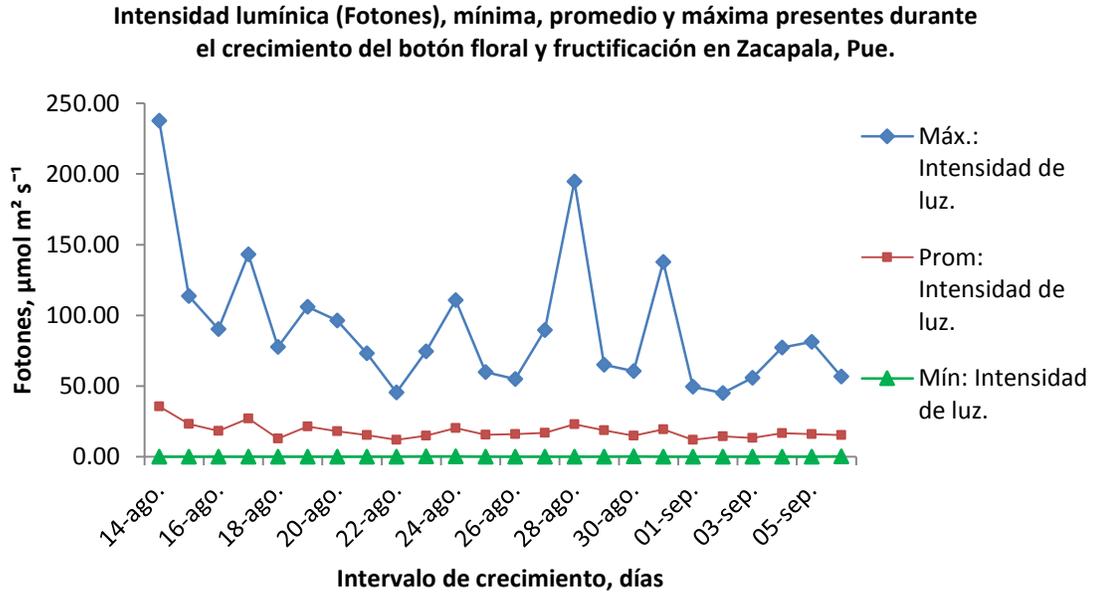


FIGURA. 2.31. Comportamiento de la intensidad lumínica en Zacapala, Pue.

Al comparar las condiciones climáticas que propiciaron algunas floraciones y el crecimiento de los frutos en ambas comunidades, no se detectan grandes fluctuaciones en la temperatura promedio, pero si consideramos que fue un mes de diferencia entre una y otra población, podemos determinar la temperatura promedio (óptima), en que las plantas de pitahaya, independientemente del genotipo o especie expresan su potencial productivo.

La temperatura ambiental promedio del intervalo de junio- julio, en Huitziltepec, fue similar a la presentada en el intervalo de agosto – septiembre en Zacapala. (FIGURA 2.32).

Así de manera general podemos conocer las condiciones en que los genotipos estudiados crecen y se reproducen.

**Temperaturas ambientales promedio °C, durante dos estaciones de crecimiento de los frutos de pitahaya, en dos comunidades de la Mixteca Poblana.**

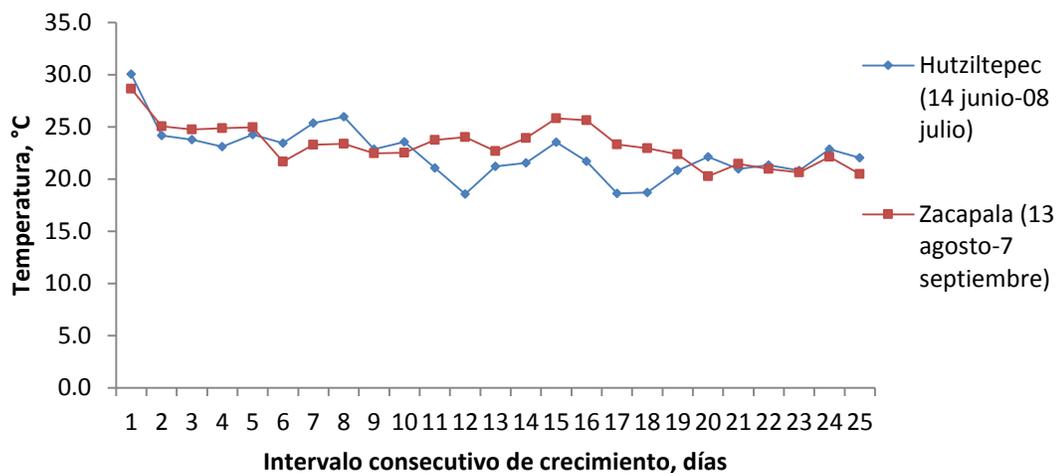


FIGURA. 2.32. Comparación de la temperatura promedio en ambas comunidades.

Entre junio y septiembre, se establece el periodo de lluvia en esta región, por lo que la humedad relativa ambiental también mostró valores altos para las dos localidades.

Se observó que la floración en cualquiera de los tres genotipos, tuvo su máxima expresión después de días lluviosos o con alta humedad relativa, y podría uno aventurarse a decir que la floración es indicador de lluvia o la lluvia es el indicador de la floración, pero casi siempre se presentan juntos.

En las dos comunidades, en dos periodos de crecimiento de fruto, no hay mucha variación en la humedad relativa ambiental promedio (FIGURA. 2.33).

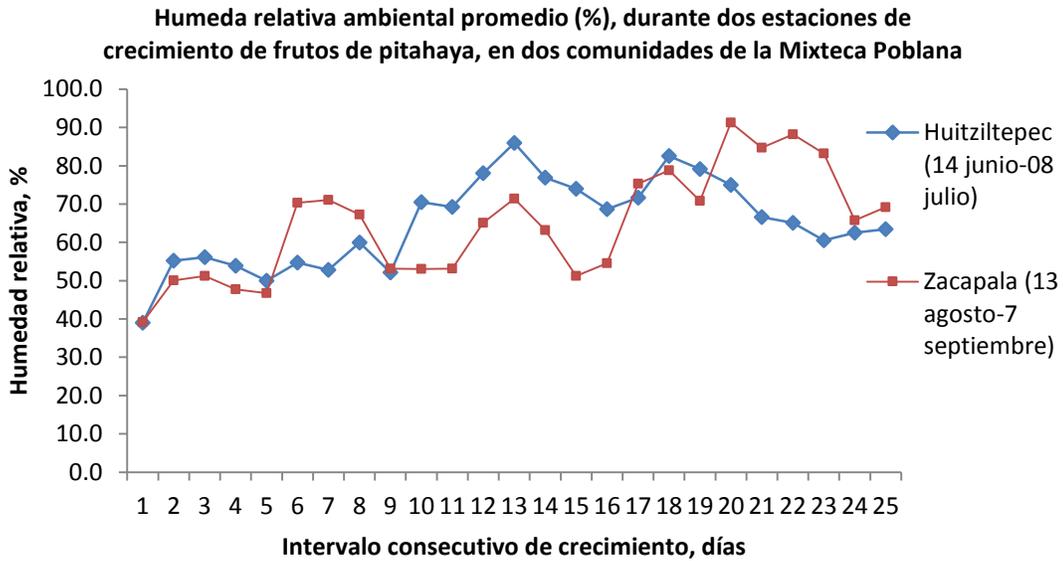
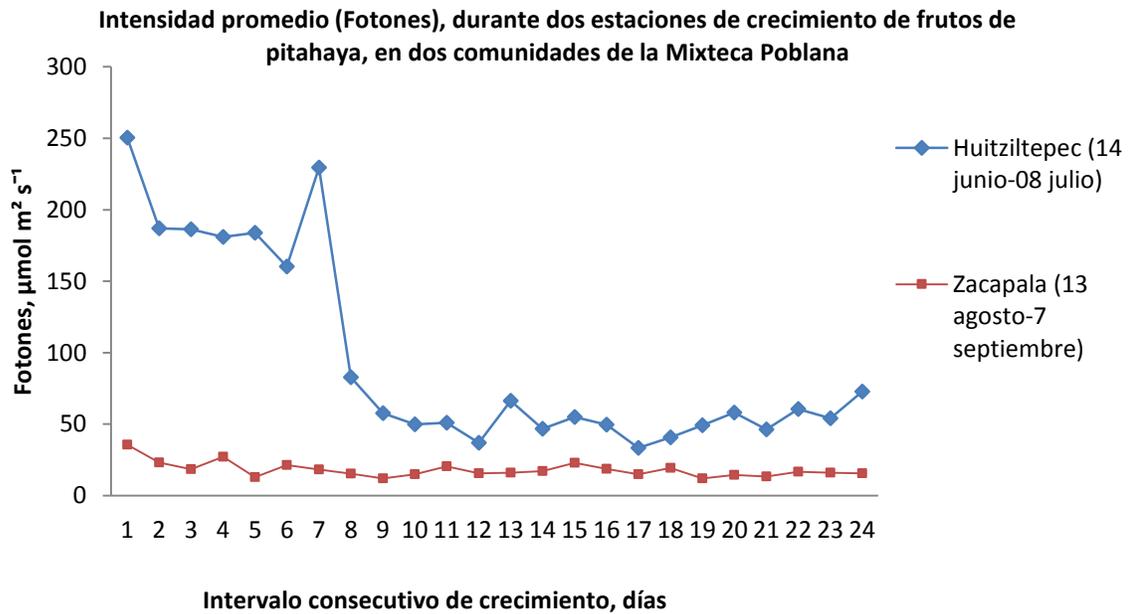


FIGURA. 2.33. Comparación de la humedad relativa ambiental en ambas comunidades.

La intensidad lumínica es un factor relevante en el establecimiento de la plantación de pitahaya. Recordando el hábito trepador y epífita de esta cactácea, la exposición plena, no es lo más conveniente.

En la región Mixteca, al menos en Huitziltepec, se registraron altas intensidades lumínicas a mediados de junio y julio, esto debido, principalmente al sistema de cultivo con una especie de hábito columnar que no le proporciona sombreo. Mientras que en Zacapala, con el genotipo S2, la intensidad lumínica a mediados de agosto e inicios de septiembre fue mucho menor, pero muy probable se debe al efecto de sombreo de los árboles de mezquite (*Prosopis juliflora*).

Al comparar ambas intensidades, encontramos diferentes valores de exposición a la luz solar, por el sistema de cultivo principalmente y por la fecha de muestreo en los genotipos estudiados (FIGURA. 2.34).



2.34. Comparación de la intensidad lumínica en ambas comunidades.

## 2.6. Discusión

Para conocer el problema de la falta de amarre de fruto en dos especies o genotipos de pulpa solferina en la Mixteca Poblana, fue indispensable conocer el comportamiento antes, durante y después de la floración y compararlo con el genotipo que no presentan este problema, la pitahaya de pulpa blanca *Hylocereus undatus*. El conocer las condiciones ambientales en los que se presentan estos eventos, sirven para establecer las condiciones óptimas para la floración, y el desarrollo de fruto.

El genotipo S1 promovió primero que los demás los botones florales, al menos 11 días antes que el genotipo B1 y 15 días antes que el genotipo S2. El botón floral en los tres genotipos a partir de que se hizo visible hasta el momento de la apertura tardó en promedio 24 días.

A partir de los días que tarda el botón floral en crecer, se puede estimar el periodo de floración de cada genotipo.

La primera floración durante el 2014 fue la del genotipo S1, días antes de que hubiese flores del genotipo B1 y S2.

En *Hylocereus undatus* se contaron 25 días desde la emergencia de las yemas florales a la apertura, durante el mes de junio en Tehuacán, Puebla y se relaciona la emisión de botones florales durante los meses de abril a agosto con el número de horas luz que recibe la planta en ese lugar de 13 a 13.5 h (Ortíz, 1995).

Este comportamiento de adelantar la floración concuerda con lo reportado en *H. polyrhizus*, que tiende a empezar pocos días antes que *H. undatus*, aunque puede haber algunas floraciones que se sincronizan (Nerd *et al.*, 2002).

Por comunicación de los productores, afirman que la emisión de botones florales y las flores siempre se adelanta en el genotipo S1, al menos en ese ambiente, y que posteriormente viene la floración de B1, a veces con diferencia de un mes.

El crecimiento del botón floral es muy rápido, tiene una tasa de crecimiento longitudinal mayor a 1 cm día, mientras que el diámetro ecuatorial en la región del ovario tiene poco aumento, suficiente para identificar a los genotipos. Al final del crecimiento, las flores más grandes fueron del genotipo B1 y S2, y las más cortas y con un ovario más ancho las del genotipo S1.

La sincronía de la floración es un factor determinante para la polinización cruzada y la fecundación en especies auto incompatibles. En este caso el genotipo S1, tuvo menor número de floraciones y pocos o ningún día de sincronización con el genotipo B1 y S2, mientras que el genotipo B1 y S2, tuvieron más floraciones sincronizadas, pero separadas físicamente por la distancia.

Registrar las condiciones ambientales de humedad y temperatura durante la floración, fue una herramienta importante para determinar las mejores condiciones de colecta de polen y las polinizaciones manuales, obteniendo, que el polen se libera de las anteras a partir de las 8:30 pm, cuando la temperatura empieza a descender a los 20° y 18° y la humedad relativa es ligeramente superior al 60%. Después de las 10:00 o 10:30 pm, la humedad relativa se incrementa a más del 70% y la temperatura disminuye, pero esto dificulta la colecta porque se forman aglomeraciones y las anteras en la mayoría de las flores ya liberaron el polen. El polen se conserva en los pétalos hasta el día siguiente.

Las flores polinizadas manualmente durante la noche, en el mismo intervalo de tiempo, tienen mayor adherencia de los granos de polen al estigma, que cuando se realizan después de las 11:00 pm, ya que al usar pinceles todo el polen se queda pegado en este, y no se pueden estar abriendo y cerrando los frascos que lo conservan porque absorbe mucha humedad.

En diversos trabajos de polinizaciones manuales sólo se reporta que la polinización es nocturna, pero no indican cual es el mejor momento.

La compatibilidad sexual entre los genotipos se demostró, primero con la autopolinización (aislando los botones florales de los polinizadores) y posteriormente con la polinización cruzada (una vez que se logró hacer una buena colecta de polen y se conservó en frascos herméticos, refrigerado a 7°C durante una semana o más).

El genotipo B1 de pulpa blanca *Hylocereus undatus*, no tiene problemas de amarre, es decir, es 100% auto compatible y autofértil, mientras que los genotipos S1 y S2, fueron totalmente incompatibles, ya que diez días después de los tratamientos, los restos de la flor se cayeron completamente.

Se comprobó compatibilidad total y parcial entre los tres genotipos, con la incertidumbre si fue por efecto de la viabilidad, del tiempo o de las condiciones del almacenamiento del polen.

El momento de la polinización en la noche o en la mañana influyó en el porcentaje de amarre, así como también influyó el tiempo que se tuvo conservado el polen. Fueron más efectivas las polinizaciones en la tarde con polen fresco que las polinizaciones en la mañana con polen preservado, sin embargo, no se contaron con los medios para mantener el polen en mejores condiciones.

Investigaciones respecto a la viabilidad del polen, afirman que se pierde el poder germinativo en *H. polyrhizus* una vez que las flores se cierran, mientras que en *H. undatus* y *H. costaricensis*, la germinación del polen disminuye a la noche siguiente que las flores se han cerrado completamente. La polinización de *H. polyrhizus* y *H. costaricensis* con polen fresco de *H. undatus* presentó 100% de amarre de fruto, pero el porcentaje disminuyó al 38% y 20% con el polen colectado 36 h después de la apertura floral. A las 48 h no hubo amarre en ninguna de las dos especies (Weiss *et al.*, 1994).

En Israel, la pitahaya se tiene que polinizar manualmente con polen colectado de otra especie para conseguir el amarre de fruto, como es el caso de *H. polyrhizus* y *Hylocereus undatus* (Nerd *et al.*, 2002)

Weiss *et al.*, (1994) realizó polinizaciones cruzadas y autopolinizaciones en *H. polyrhizus*, *H. costaricensis* y *H. undatus*, lograron el 100% de amarre en las polinizaciones cruzadas, 50% de amarre en *H. undatus* con autopolinización y 0% de amarre en autopolinización de *H. polyrhizus* e *H. costaricensis*.

La polinización de dos especies *H. costaricensis* y *H. polyrhizus* cruzadas con *H. undatus*, resultó muy efectiva cuando se utilizó polen fresco. El polen fresco recolectado en la mañana o en la noche, tiene alto porcentaje germinativo *in vitro*,

pero es mayor cuando se colecta de flores que empiezan abrirse ((Weiss *et al.*, 1994).

En la Isla Reunión en Francia, se cultivan dos especies de pitahaya *Hylocereus undatus* y *Hylocereus costaricensis*, ambas especies son improductivas. La incompatibilidad sexual no está relacionada con la esterilidad del polen, ya que las pruebas de germinación in vitro resultaron satisfactorias en ambas especies, de 61%, 55% y 47% a las 17:00 h, 20:00 h y 7:00 h respectivamente en *Hylocereus undatus* y del 54%, 58% y 43% en el mismo intervalo de tiempo para *Hylocereus costaricensis* (F. Le Bellece, 2004).

El crecimiento del fruto tuvo una curva sigmoide simple y se desarrolló en 47 a 50 días en promedio, un poco más de tiempo que lo registrado por Ortiz, (1995) de 42 días en la región de Tehuacán Puebla.

No hubo diferencia en tiempo entre los genotipos B1 y S2, a pesar de que se encontraron en lugares y climas distintos, pero si hubo diferencia con el genotipo S1, que tardó hasta 60 días en algunos casos para alcanzar su madurez comercial.

A este tipo de fenómeno, se le atribuye al efecto de la fuente de polen sobre el tejido materno, conocido como metaxenia y reportado en Israel en la especie *Hylocereus polyrhizus*, que mostró de 31 a 51 días a la madurez cuando fue polinizadas con fuentes diferentes (Mizrahi *et al.*, 2004), y aunque ellos reportan como benéfico cosechar frutos después de la temporada normal por tener mayor oportunidad en el mercado, en el caso del genotipo S1 en este trabajo, al recibir polen de B1 y S2, los frutos no cambiaron su color del pericarpelo, pero internamente a los 60 días, presentaban signos de madurez avanzada en la pulpa, no recomendable para el empaque, traslado y comercialización.

El tamaño (largo- diámetro ecuatorial) y el peso del fruto pueden estar relacionados por el efecto de los tratamientos, pero no por el genotipo, es decir. El genotipo B1

en los tratamientos T1, T6 y T7, no tuvieron diferencia significativa en largo, ancho y peso de sus frutos. De la misma manera el genotipo S1, no tuvo diferencia significativa cuando se polinizó con B1 y S2, sólo el genotipo S2, disminuyó su tamaño y peso cuando se polinizó con S1 en el T9. Sin embargo, la obtención de frutos pequeños por efecto de la polinización manual, puede estar relacionada también con la viabilidad del polen, y en este último tratamiento, se utilizó polen de más de una semana de almacenado.

Para manipular el tamaño y el peso de los frutos en *H. polyrhizus*, Cho *et al.*, (2012), probaron diferentes cantidades de polen depositado en el estigma, y se obtuvieron los frutos más pequeños de 133.06 g (7.10 cm de longitud y 5.93 cm de diámetro ecuatorial) con la dosis más baja de polen (0.001 g), mientras que no hubo diferencia significativa en los tratamientos de 0.10, 0.15 y 0.20 g de polen, con el peso de 274.38 g, 264.42 g y 235.41g respectivamente, de 8.9 cm de largo y 7 cm de diámetro ecuatorial en promedio.

Aunque en este trabajo no se determinó la cantidad de polen depositado en el estigma, si puede considerarse que después de una semana de almacenamiento, seguramente el polen ha perdido poder germinativo, puede ser comparado con la aplicación mínima que no logra fecundar muchos óvulos.

La coloración de la pulpa no tuvo variaciones por genotipo independientemente de la fuente de polen, es decir el genotipo B1, conservó su pulpa blanca, el genotipo S1 con su pulpa solferina y el genotipo S2 con pulpa solferina- púrpura intensa, independientemente de los tratamientos, por lo que se le atribuye la coloración de la pulpa al tejido materno.

Los sólidos solubles totales no tuvieron diferencia estadística entre B1 y S2, que tuvieron los valores más altos de 17.70°Brix y 18.13°Brix y solo fueron diferentes de S1, que tuvieron 14.35°Brix, sin embargo, estos valores son altos comparados con

los reportados en Israel en un clon de *Hylocereus* spp con 13.1 °Brix (Mizrahi *et al.*, 2004).

Registrar las condiciones ambientales de temperatura, humedad relativa e intensidad lumínica (mínima, promedio y máxima) por día en un ciclo de crecimiento de los frutos, nos brinda la oportunidad de conocer las mejores o peores condiciones en que se desarrolla este cultivo en la Región Mixteca Poblana. Las temperaturas y la humedad relativa durante el mes de junio, julio, agosto y septiembre fueron las más propicias para la etapa reproductiva del cultivo, y es el periodo del año que se presentan las lluvias, que mantiene un ambiente húmedo, para el crecimiento vegetativo.

Los días de mayor intensidad lumínica entre junio y julio en Huitziltepec fueron de 416 a 614  $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ , equivalentes entre los 17.8 y 26.3  $\text{mol m}^2\text{día}$ , que se consideran los óptimos para la asimilación neta de  $\text{CO}_2$  en cactáceas, aunque por arriba de los 25  $\text{mol m}^2\text{día}$  no aumenta la asimilación neta significativamente (Nobel, 1988), incluso en Yucatán, México, con valores mayores de 20  $\text{mol m}^2\text{día}$ , las plantas de pitahaya sufrieron foto inhibición. Estas consideraciones son útiles para el manejo de mallas, como lo hacen en Israel para estabilizar la alta intensidad que tienen en condiciones del desierto durante el verano, de 2,200  $\mu\text{moles m}^2 \text{s}^{-1}$  o su equivalente cercano a los 95  $\text{moles m}^2 \text{día}^{-1}$ , para permitir solo del 20 al 60% de luz (Mizrahi y Nerd, 1999).

La intensidad promedio que recibió el cultivo de pitahayas en condiciones de Huitziltepec, Puebla, durante junio y parte de julio de 2014, fue de 250.38 a 46.36  $\mu\text{moles m}^2 \text{s}^{-1}$  lo equivalente a 10.7 y 2.0  $\text{moles m}^2 \text{día}^{-1}$ , es decir la asimilación neta de  $\text{CO}_2$  está por debajo de la óptima, probablemente, se debe a que es el periodo de lluvia y así como hay días con altas intensidades, también hay días nublados.

Se ha observado que *H. undatus* sufre foto inhibición bajo un FFF mayor a 20 mol m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>, tiene una asimilación neta de CO<sub>2</sub> apreciable a tan solo 2 mol m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> y la fijación máxima se alcanza a 20 mol m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> (Nobel y De la Barrera, 2002).

En condiciones semi cultivadas en Zacapala, Puebla, con el genotipo S2, la intensidad lumínica durante el mes de agosto y parte de septiembre fue en promedio de 11.94 a 35.67 μmol m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup> (0.5 a 1.5 moles m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) y la máxima intensidad se registró entre los 45 y los 237.64 μmol m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup> (1.9 a 10.2 moles m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>). Es decir el sombreado de los árboles (*Prosopis juliflora*) como tutores de la pitahaya, que también están en pleno crecimiento vegetativo y con follaje en esa temporada, causan mayor interferencia de la RFA, además de que son días lluviosos y nublados, por lo que se puede esperar una menor eficiencia fotosintética.

En *Ferocactus acanthodes* y *Opuntia ficus-indica*, por debajo del nivel de 3 a 4 moles m<sup>2</sup> día (nivel de compensación de RFA), dichas plantas obtendrían un balance negativo de carbono, es decir, si las cactáceas se mantienen a bajas RFA durante todo el año, poco a poco degenerarían para después morir. Una RFA de 3 moles m<sup>2</sup> día<sup>-1</sup> equivale a un nivel instantáneo de 70 μmoles m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup> por un fotoperiodo de 12 horas; 3% del total de la luz solar, dicho nivel es considerado para la lectura pero no conduce a una absorción neta de CO<sub>2</sub>, y por tanto, a ningún crecimiento en cactáceas (Gibson y Nobel, 1986).

Este genotipo, a pesar de estar en condiciones de luz no apta, expresa mayor floración, solo que tardía comparada con las especies cultivadas.

## 2.7. Conclusiones

Los dos genotipos de pitahaya solferinas (*Hylocereus spp.*), cultivados y semi cultivados de la región Mixteca Poblana, tienen el problema de incompatibilidad sexual, por lo que abortan las flores después de la polinización y no existe amarre de fruto.

El genotipo de pulpa blanca (*Hylocereus undatus*), no presenta problemas de incompatibilidad sexual por lo que incluso podría cultivarse bajo un sistema de producción protegida, sin necesidad de polinizadores.

Los tres genotipos son compatibles sexualmente entre sí. El genotipo de pulpa blanca B1, funciona como buen polinizador para S1 y S2 y tiene mayor sincronía con S2 que con S1, por lo que podría ser la alternativa para la obtención de frutos de pulpa solferina y cultivarlos asociados o intercalados.

Las condiciones ambientales, principalmente la humedad relativa durante la noche, es un factor muy importante para la colecta de polen y la conservación en buen estado, no se puede colectar, ni polinizar con más de 70% de humedad relativa.

El tiempo y las condiciones de conservación del polen, el momento de la polinización (nocturna o diurna) son factores que influyen en el porcentaje de amarre y en el tamaño (longitud, diámetro y peso) de los frutos.

## 2.8 Literatura consultada

- ANDRADE J.L.; RENGIFO E.; RICALDE M. FERNANDA.; SIMÁ J.L.; CERVERA J.C.; Y VARGAS S.G. 2006. Microambientes de luz, crecimiento y fotosíntesis de la pitahaya (*Hylocereus undatus*) en un agrosistema de Yucatán, México. Unidad de Recursos Naturales, Centro de Investigación Científica de Yucatán. Agrociencias 40: 687-697.
- CANE, J.H. AND SCHIFFHAUER, D. 2003. Dose-response relationships between pollination and fruiting refine pollinator comparisons for cranberry (*Vaccinium macrocarpon* [Ericaceae]). American Journal of Botany 90(10):1425-1432.
- CASTILLO-MARTÍNEZ, R., LIVERA –MUÑOZ, M., BRECHÚ F Y MÁRQUEZ-GUZMAN G.J. 2003. Compatibilidad sexual entre dos tipos de *Hylocereus* (Cactaceae). Rev. Biol. Trop. V.51 n. 3-4 San José. Sep.
- CHO J.L.Y.;DIRING P.;ABD. RAZAK A.P AND Z. WAHAB. 2013. Pollen Load Affects Quality of Red-Fleshed Dragon Fruit (*Hylocereus polyrhizus*). Proc. 7th

International Postharvest Symposium. Eds.: H. Abdullah and M.N. Latifah. Acta Hort. 1012, ISHS 2013

- DENNIS, F.G., JR. 1986. Apple, p. 1–44. In: S.P. Monselise (ed.). Handbook of fruit set and development. CRS Press, Boca Raton, Fla.
- DE NETTANCOURT. 2001. Incompatibility in Angiosperms: Monographs on Theoretical and Applied Genetics 3. Springer-Verlag. New York. 312 p.
- DICKINSON H G, M J C CRABBE, T. GAUDE. 1992. Sporophytic self-incompatibility systems: S gene products. Internatl. Rev. Cytol. 140:525-561.
- DI RIENZO J.A., CASANOVES F., BALZARINI M.G., GONZALEZ L., CUADRODA M., ROBLEDO C.W. InfoStat versión 2013. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- F. LE BELLEC. 2004. Pollination and fecundation of *Hylocereus undatus* and *H. costaricensis* in Reunion Island. Fruits, vol. 59, p. 1–12 © 2004 Cirad/EDP Sciences DOI: 10.1051/fruits: 2004031.
- GIBSON, A.C AND P.S. NOBEL. 1986. The cactus primer. Cambridge, Mass: Harvard University. 286 p.
- INEGI, 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Puebla. INEGI <http://www.censo2010.org.mx/>
- JUÁREZ S F., J. RAMÍREZ M Y T. CRUZ H. 2009. Caracterización de dos clones de pitahaya roja (*Hylocereus purpussi*) de Jalisco, México. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas. 2009 8:115-122
- LICHTENZVEIG J, ABBO S, NERD A, TEL-ZUR N, MIZRAHI Y. 2000. Cytology and mating systems in the climbing cacti *Hylocereus* and *Selenicereus*. American Journal of Botany 87: 1058–1065.
- MEJÍA, H.A.; MURIEL, S.B.; MONTOYA, C.A.; REYES, C. 2013. In situ Morphological Characterization of *Hylocereus* spp. (Fam.: Cactaceae) Genotypes from Antioquia and Córdoba (Colombia). Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín, vol. 66, núm. 1, 2013, pp. 6845-6854. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.
- METZ C,; NERD A AND MIZRAHI J. 2000. Viability of pollen of two fruit crop cacti of the genus *Hylocereus* is affected by temperature and duration of storage. HorScience, Vol. 35 (1), February 2000.

- MIZRAHI, Y.; NERD, A. 1999. Climbing and columnar cacti: new arid land fruit crops: In: J. Janick (ed). Perspectives on New Crops and New Uses. American Society of Horticultural Science. Alexandria, Virginia, USA. p. 358-366.
- MIZRAHI Y, MOUYAL J, NERD A, AND SITRIT Y. 2004. Metaxenia in the Vine Cacti *Hylocereus polyrhizus* and *Selenicereus* spp. *Annals of Botany* 93: 469±472, 2004. doi:10.1093/aob/mch055, available online at [www.aob.oupjournals.org](http://www.aob.oupjournals.org)
- NERD A.; SITRIT Y.;AVTAR K.R AND MIZRAHI Y. 2002. High summer temperatures inhibit flowering in vine pitaya crops (*Hylocereus* spp.). Institutes for Applied Research, Ben-Gurion University of the Negev. Department of Life Sciences, Ben-Gurion University of the Negev, Israel. *Scientia Horticulturae* 96 (2002) 343–350. PII: S0 3 0 4 - 4 2 3 8 ( 0 2 ) 0 0 0 9 3 – 6
- NOBEL, P. S., AND E. DE LA BARRERA, 2002. High temperaturas and net CO<sub>2</sub> uptake, growth, and stem damage for the hemiepiphytic cactus *Hylocereus undatus*. *Biotropica* 34: 225- 231.
- ORTIZ H, Y.D. 1995. Avances en el conocimiento ecofisiológico de la pitahaya (*H. undatus*). Tesis de Doctorado en Ciencias. Programa Fisiología Vegetal. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- ORTIZ H.,Y.D. 2000. Hacia el conocimiento y conservación de la pitahaya (*Hylocereus* spp.) IPN- SIBEJ-CONACYT- FMCN, Oaxaca, México.
- PLANT GROWTH CHAMBER HAND BOOK, 1997.  
[www.egc.com/useful\\_info\\_lighting.php](http://www.egc.com/useful_info_lighting.php)
- RAMÍREZ M. & F. DE J. 1999. Caracterización y compatibilidad en pitahaya *Hylocereus* sp. Tesis de Maestría
- TEL- ZUR. 2013. Pitahayas: Introduction, Agrotechniques, and Breeding. Proc. 7th International Congress on Cactus Pear and Cochineal. Eds.: A. Nefzaoui et al. *Acta Hort.* 995.
- VALIENTE-BANUETA A. SANTOS GALLYA R, ARIZMENDIB M.C AND CASAS A. 2007.Pollination biology of the hemiepiphytic cactus *Hylocereus undatus* in the Tehuacán Valley, Mexico. *Journal of Arid Environments* 68 (2007) 1-8 doi:10.1016/j.jaridenv.2006.04.00
- WEISS J., A. NERD & Y. MIZRAHI. 1994. Flowering behavior and pollination requirements in climbing cacti with fruit crop potential. *HortSci.* 29: 1487-1492.

## CAPITULO III

### PROMOTORES DE LA BROTAÇÃO EN PITAHAYA SOLFERINA (*Hylocereus sp.*) EN INVERNADERO Y ENSAYO DE AG<sub>3</sub> EN FLORACIÓN EN CONDICIONES DE CAMPO

#### 3.1 Resumen

La pitahaya solferina (*Hylocereus sp.*), es una especie autoincompatible que ha presentado problemas con el amarre de sus frutos, y además tiene la barrera de la sincronía de la floración con la pitahaya de pulpa blanca, que dificulta la polinización cruzada. Este trabajo consistió en dos partes, uno bajo condiciones de invernadero y otro a cielo abierto. Para el primer caso el objetivo fue evaluar el efecto de la aplicación de ácido giberelico (AG<sub>3</sub>) en dosis de 0, 50 y 150 ppm y thidiazurón (TDZ) en dosis de 0, 50 y 100 ppm. Se evaluó la emisión y crecimiento de brotes vegetativos y botones florales. En el segundo caso, el objetivo fue evaluar el efecto del AG<sub>3</sub> a 100 ppm sobre las flores polinizadas manualmente con polen del mismo genotipo pero de diferente planta y 100 ppm de AG<sub>3</sub> aplicado a flores con polinización libre, para determinar el porcentaje de amarre en ambos casos. El primer experimento se realizó en un módulo de pitahaya establecido en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, México y el ensayo a cielo abierto se realizó en una huerta en la localidad de Huitziltepec, Puebla. Los datos se analizaron como un DECA en el programa estadístico Info Stat. Las aplicaciones de TDZ y AG<sub>3</sub> tuvieron efecto inhibitor en la brotación floral, y daños en los botones florales, principalmente las dosis de 150 ppm de AG<sub>3</sub>. Esta dosis sola, promovió el crecimiento de los tallos más largos (107 cm) comparados con los del testigo (49.75 cm). En campo la aplicación de AG<sub>3</sub>, mostró el 76.6% de amarre cuando se realizó una polinización manual intraespecífica, y 0% de amarre en flores con AG<sub>3</sub> y polinización libre, los frutos formados tuvieron una longitud y diámetro promedio de (8.5 x 6.8 cm). Las flores no polinizadas, no presentaron caída y aparentaron la formación de fruto, internamente no tuvieron pulpa.

Palabras claves: thidiazuron, ácido giberelico, botones florales, amarre de fruto.

## SPROUTING PROMOTERS IN SOLFERINA PITAHAYA (*Hylocereus sp.*) GREENHOUSE AND GA<sub>3</sub> ON TEST FIELD CONDITIONS IN BLOOM

### 3.2 Abstract

The solferina pitaya (*Hylocereus sp.*) is a self-incompatibility species that had problems with fruit set, and has the barrier synchronization of flowering with white pulp pitahaya, which hinders cross-pollination. This work consisted of two parts, one under greenhouse conditions and other open. In the first case the objective was to evaluate the effect of applying gibberellic acid (GA<sub>3</sub>) at doses of 0, 50 and 150 ppm and Thidiazuron (TDZ) at doses of 0, 50 and 100 ppm. Emission and growth of vegetative shoots and flower buds was evaluated. In the second case, the objective was to evaluate the effect of GA<sub>3</sub> at 100 ppm over flowers manually pollinated with pollen from the same genotype but different plant and 100 ppm GA<sub>3</sub> applied to open-pollinated flowers, to determine the percentage of set in both cases. The first experiment was conducted in a module pitahaya established at the Experimental Field of the Graduate College in Montecillo, Mexico and open trial was conducted in an orchard from Huitziltepec, Puebla. Data were analyzed as a DECA in the statistical program Stat Info. The applications of TDZ and GA<sub>3</sub> had inhibitory effect on floral bud break, and damage to the flower buds, especially the dose of 150 ppm GA<sub>3</sub>. This single dose, promoted the growth of longer stems (107 cm) compared with the control (49.75 cm). In field application of GA<sub>3</sub>, showed 76.6% set fruit when intraspecific hand pollination was done, and 0% set in flowers with GA<sub>3</sub> and open pollinated fruits formed had a length and average diameter (8.5 x 6.8 cm). The flowers are not pollinated, showed no drop formation and pretended fruit pulp did not take internally.

**Keywords:** thidiazuron, gibberellic acid, buds, fruit set

### 3.3 Introducción

Las plantas contienen de manera natural, sustancias de crecimiento, conocidas como hormonas. Las hormonas o fitohormonas son compuestos sintetizados en una parte de la planta que pueden o no translocarse para provocar respuestas fisiológicas. Las hormonas promotoras son auxinas, giberelinas y citocininas y las inhibidoras son ácido abscísico y etileno (Salisbury, 1994).

Las hormonas intervienen en distintos procesos fisiológicos, desde la germinación de las semillas, en las que intervienen las giberelinas para contrarrestar el letargo, hasta la activación de resistencia sistémica del ácido salicílico y el ácido jasmónico para prevenir de infecciones por patógenos, o bien el etileno en la maduración de los frutos. Algunas hormonas influyen de manera decisiva en determinar el momento de la floración a lo largo del ciclo vital de la planta. Las giberelinas son las hormonas principales sobre el control de la floración. En un gran número de dicotiledóneas, la deficiencia en la síntesis de esta hormona impide a las células expandirse, limitando el crecimiento, o bien floreciendo tardíamente (Blázquez *et al.*,2011).

Las señales inductoras de la floración toma tres posibles rutas de señalización: la ruta dependiente del fotoperiodo, la ruta dependiente de la temperatura y la ruta que responde al estado nutricional de la planta (azúcares circulantes y en las giberelinas) (Blázquez *et al.*,2011).

Las citocininas son sustancias naturales o sintéticas que provocan división celular en ciertos tejidos vegetales, los sitios de biosíntesis de las citocininas son las partes meristemáticas o las que tienen crecimiento potencial (yemas, frutos en desarrollo y semillas) (Salisbury, 1994).

Las giberelinas y citocininas comerciales se utilizan principalmente para mejorar la producción en algunos cultivos, para forzar la producción fuera de temporada, como el thidiazurón (TDZ) usado para romper el letargo y adelantar la brotación de yemas florales en durazno y ciruelo (Calderón-Zavala y Rodríguez-Alcazar, 2000), eficaz

para promover la brotación de ciruelo japonés (Almaguer Vargas et al., 2000) y utilizado en la producción forzada de frutillas para estimular las yemas de zarzamora y arándano (López , 2009).

El TDZ favoreció la actividad citocínica, rompió el paraletargo y redujo el número de unidades frío para lograr la brotación de manzano (Faust et al., 1991) y adelantó la floración en ciruelo japonés (*Prunus salicina Lindl.*) en dosis de 50, 150 y 200 mg L<sup>-1</sup> (Alvarado et al., 2000).

Las giberelinas poseen la capacidad única entre las hormonas vegetales reconocidas de estimular el crecimiento generalizado de las plantas de muchas especies en la fase de rosetas, se utilizan principalmente para a incrementar el tamaño de las bayas de uva sin semillas de la variedad Thompson y la distancia entre racimos de uvas. Las giberelinas (en especial AG<sub>4</sub> y AG<sub>7</sub>) provocan el desarrollo de frutos partenocarpicos (sin semilla) en algunas especies, lo que sugiere su participación normal en el crecimiento del fruto. Otro efecto es la detención del envejecimiento en hojas y frutos de cítricos y sus efectos sobre las formas de las hojas (Salisbury, 1994).

En *Opuntia ficus*, la concentración de giberelinas endógenas han sido relacionadas con la floración, niveles altos fueron encontrados en las flores en pleno desarrollo (200ng Kg<sup>-1</sup> de peso fresco), contra 100 ng Kg<sup>-1</sup> de giberelinas por peso fresco antes de la floración. Las concentraciones de giberelinas en los cladodios, disminuyeron al remover, emascularlas o aplicarles paclobutrazol en las flores, e inhibieron el rebrote. Flores emasculadas antes de la antesis, no formaron pulpa ni semillas, pero el receptáculo quedó adherido, sin cambiar de tamaño. El desarrollo de órganos vegetativos inhibió la refluoración cuando éstos no fueron removidos, causando una inhibición correlativa para la producción de nuevas yemas florales en las areolas (Inglese et al., 1994).

### 3.4 Materiales y Métodos

El experimento se llevó a cabo en el huerto de fruticultura del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos, Edo de México, en un invernadero tipo túnel, ubicado geográficamente en las coordenadas 19°27.508' LN y 98°54.208' LW, a 2250 msnm. Los datos fueron registrados en un GPS modelo GARMIN serie 3853442541, y con formato de posición hddd°mm.mmm'.

Se estableció durante el 2013, un módulo de pitahaya solferina (*Hylocereus sp.*) con material vegetal colectado en la comunidad de Huitziltepec y Molcaxac, Puebla. Al genotipo de pulpa solferina se le denominó como S1, y es autoincompatible. A las plantas establecidas, se les brindaron las condiciones adecuadas para su crecimiento y desarrollo, así como las prácticas agronómicas de poda, conducción o tutoreo, cuidado de luz con manejo de malla sombra, fertilización y riego, desde febrero 2013 a agosto 2014. A partir de febrero 2014, las plantas presentaban brotes vegetativos de 6 a 12 meses, tejidos maduros del tallo que pueden expresar floración.

**Objetivo:** Promover brotación floral y/o vegetativa en tallos de pitahaya, utilizando TDZ y AG<sub>3</sub> como promotores de la brotación.

Se estableció un Diseño Completamente al Azar, completo y balanceado, con un factorial 3<sup>2</sup>, expresado con 2 factores de estudio, promotores de la brotación AG<sub>3</sub> (Ácido giberélico) y TDZ (Thidiazurón) y 3 niveles cada uno 0-50-200 ppm para TDZ y 0-50-150 ppm para AG<sub>3</sub>. De lo anterior se generan 9 tratamientos, con 3 repeticiones. Los tratamientos se realizaron en dos aplicaciones, la primera el 7-03-2014 y una segunda el 01/05/2014, con los siguientes productos y dosis (CUADRO 3.1)

**CUADRO 3.1. Diseño de los tratamientos y productos comerciales utilizados en plantas de pitahaya cultivadas en invernadero.**

Tratamientos	Promotores		Productos comerciales y dosis		
	TDZ ppm	AG <sub>3</sub> ppm	Revent® 500 g.i. de TDZ (ml l <sup>-1</sup> )	Gibermax® 300 ppm de AG <sub>3</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	Citrolina 10%
T1	0	0	0.00	0.00	0.0 ml L <sup>-1</sup>
T2	0	50	0.00	0.16	10 ml L <sup>-1</sup>
T3	0	150	0.00	0.50	10 ml L <sup>-1</sup>
T4	50	0	0.10	0.00	10 ml L <sup>-1</sup>
T5	50	50	0.10	0.16	10 ml L <sup>-1</sup>
T6	50	150	0.10	0.50	10 ml L <sup>-1</sup>
T7	100	0	0.20	0.00	10 ml L <sup>-1</sup>
T8	100	50	0.20	0.16	10 ml L <sup>-1</sup>
T9	100	150	0.20	0.50	10 ml L <sup>-1</sup>

Las dos aplicaciones se realizaron en las tarde, considerando que la pitahaya es una planta con metabolismo CAM y sólo abre sus estomas en las noches, esto con la finalidad de tener mayor absorción y asimilación de los productos.

### **Variables Respuestas evaluadas**

Para conocer el efecto de los tratamientos, se evaluaron las siguientes variables: número de brotes vegetativos (bv), longitud de los brotes vegetativo (lbv) y número de botones florales (bf) emitidos, días después de la aplicación.

### **MODELO ESTADÍSTICO LINEAL**

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

Dónde:

$Y_{ij}$  representa la variable respuesta

$\mu$  es la media general si no se hubiese aplicado ningún tratamiento

$T_i$  es efecto del tratamiento  $i$

$e_{ij}$  es el error experimental

Hipótesis

Hipótesis nula  $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = \mu_7 = \mu_8 = \mu_9$

Hipótesis alternativa  $H_a$ : Al menos una media de los tratamientos es diferente

Comparación de medias LSD Fischer con un  $\alpha .05$

### 3. 5 Resultados

Las aplicaciones de los productos promotores de la brotación, indujeron en las plantas de pitahaya solferina menor número de botones florales (bf) (CUADRO 3.2) y mayor número de brotes vegetativos (bv) (CUADRO 3.3) y tuvieron efecto significativo, principalmente sobre la longitud de los brotes vegetativos (lbv)(CUADRO 3.4), días después de la aplicación (dda).

#### Número de botones florales (bf)

Normalmente en campo, el comportamiento de la etapa reproductiva de la pitahaya solferina (S1), que emite una gran cantidad de botones florales, tiene su primera floración a mediados o finales de abril.

En condiciones de invernadero, al momento de la primera aplicación se notaban los primeros botones florales en la mayoría de las plantas, y con la aplicación de los productos por el efecto de los tratamientos, en general, se inhibió la brotación floral (CUADRO 3.2).

**CUADRO 3.2. Número de botones florales emitidos, días después de la primera aplicación (dda), en plantas de pitahaya solferina.**

TRATAMIENTOS (TDZ + AG <sub>3</sub> )	n	23/03/2014 16 dda	01/04/2014 25 dda	09/04/2014 33 dda
T1 (00 + 00)	3	3.00 a	2.67 a	2.00 a
T8 (100 + 50)	3	1.33 a b	1.33 a	1.00 a
T6 (50 + 150)	3	1.00 b	2.00 a	1.33 a
T2 (00 + 50)	3	1.00 b	0.67 a	1.00 a
T9 (100 + 150)	3	1.00 b	0.67 a	0.67 a
T4 (50 + 00)	3	0.67 b	0.67 a	0.33 a
T3 (00 + 150)	3	0.67 b	0.67 a	0.00 a
T5 (50 + 50)	3	0.67 b	0.67 a	0.33 a
T7 (100 + 00)	3	0.33 b	0.33 a	0.33 a
E.E		0.66	0.93	2.00
DMS		1.953	2.896	5.942

Medias con una letra común no son significativamente diferente ( $p > 0.05$ )

Prueba LSD Fisher  $\alpha = 0.05$

Solo a los 16 dda, hubo diferencia estadística significativa, siendo el T1 (3) y T8 (1.33), que tuvieron mayor número de botones.

Los botones se abortaron en las etapas iniciales, cuando tenían una longitud entre los 4 y 9 cm y un diámetro ecuatorial en la región del ovario no mayor a 2 cm.

Esta especie en campo, también presenta problemas de aborto, pero tiene la ventaja de que emite una gran cantidad de ellos en brotaciones consecutivas.

Los botones florales que llegaron a apertura floral fueron muy pocos y de diversos tratamientos. La floración se concentró del 20 al 25 de abril y después de la segunda aplicación, ya no hubo más botones florales, al menos en esta especie y bajo estas condiciones.

Algunos de los tratamientos, mostraron efectos negativos sobre los botones florales, tales como deformaciones, amarillamiento, aborto, detención del desarrollo, coloraciones rojizas y emisión de botones florales en tallos muy jóvenes.

Esto impidió que la mayoría de los botones florales no llegaran a formarse en flor. Algunas anomalías se presentan en la figura 3.1.



FIGURA.3.1. Daños de botones florales en plantas de pitahaya solferina.

El T3, T6 y T9 que tuvieron solo o adicionado el AG<sub>3</sub> en la dosis más alta de 150 ppm, se notaron los mayores efectos en la inhibición del crecimiento y malformación del botón floral. Las dosis de TDZ, se distinguieron por las coloraciones rojizas en tallos jóvenes, en yemas y botones en las etapas iniciales, que terminaron con la caída de los mismos.

### **Número de brotes vegetativos (bv)**

En cuanto al crecimiento vegetativo de los nuevos brotes, en campo, se inicia una vez que se establece el período de lluvia a partir de junio y se detiene en octubre, cuando las temperaturas disminuyen y ya no hay más precipitaciones o si las hay, son con menor frecuencia.

Bajo las condiciones de invernadero, la inducción del crecimiento vegetativo de los nuevos brotes se inició en marzo, coincidiendo con la aplicación de los tratamientos.

El número de brotes vegetativos, se comparó en las diferentes fechas de muestreo. Inicialmente a los 16 dda, el número de (bv) tuvo diferencias significativas con el T1 (1) en T3(3.67), T8(1.33), T2(2.0) Y T9(1.33), pero ningún tratamiento tuvo diferencias a los 47, 67 y 96 dda, sólo a los 148 dda, se observó mayor número de (bv) en el T7 (12) y fue diferente estadísticamente de T2 (5.67), que tuvo al final, el menor número de (bv). (CUADRO 3.3)

**CUADRO 3.3. Comparación de medias del número de brotes vegetativos, días después de la aplicación (dda).**

Tratamientos (TDZ + AG <sub>3</sub> )	n	1° Aplicación (07/03/2014)		2° Aplicación (01/05/2014)		
		16 dda	47 dda	67 dda	96 dda	148 dda
T3 (00 + 150)	3	3.67 a	6.00 a	7.33 a	8.67 a	9.00 a b
T8 (100 + 50)	3	1.33 a b	2.33 a	4.33 a	10.00 a	10.00 a b
T2 (00 + 50)	3	2.00 a b	3.00 a	3.33 a	5.00 a	5.67 b
T9 (100 + 150)	3	1.33 a b	2.00 a	7.00 a	9.33 a	9.33 a b
T6 (50 + 150)	3	1.00 b	2.00 a	4.00 a	9.00 a	9.00 a b
T1 (00 + 00)	3	1.00 b	2.67 a	4.67 a	7.00 a	9.33 a b
T5 (50 + 50)	3	1.00 b	2.67 a	4.33 a	11.33 a	11.33 a b
T4 (50 + 00)	3	0.67 b	4.00 a	5.00 a	10.00 a	10.00 a b
T7 (100 + 00)	3	0.67 b	4.67 a	6.33 a	12.00 a	12.00 a
E.E		0.81	1.82	2.00	2.37	2.08
DMS		2.403	5.404	5.942	7.049	6.167

Medias con una letra común no son significativamente diferente ( $p > 0.05$ )

Prueba LSD Fisher  $\alpha = 0.05$

Se observaron algunas anomalías en la emisión de brotes vegetativos, principalmente con el T6 y el T8, tales como un mayor número de yemas hinchadas o brotadas, pero poco o nulo crecimiento de los brotes vegetativos (Fig. 3.2).



FIGURA. 3.2. Tallos jóvenes con emisión de un gran número de yemas hinchadas.

**Crecimiento longitudinal de los brotes vegetativos (lbv)**

Con respecto al crecimiento en la longitud (cm) de los nuevos brotes, se observó mayor efecto de algunos tratamientos, día después de la aplicación (CUADRO 3.4).

Existieron diferencias significativamente a los 16, 47, 67, 96 y 148 dda en todos los tratamientos. Inicialmente la (lbv) fue mayor en los T3 (26 cm), T9 (19 cm), T6 (18.67 cm), que tuvieron la dosis más alta de 150 ppm de AG<sub>3</sub>, y no fueron diferentes de T2 (16 cm) aunque tuviera la dosis más baja de 50 ppm de AG<sub>3</sub>.

Entre los 47 y 96 dda, hubo diferencia en (lbv) entre tratamientos, pero destacó el T3, por mayor longitud de sus brotes. Finalmente a los 148 dda, el mejor tratamiento para (lbv) fue el T3 (107.0 cm), diferente estadísticamente del resto. Los T6 (37.67 cm) y T8 (35 cm), tuvieron la menor (lbv), aunque sin diferencias estadísticas del T4, T1, T7, T5, y T2 respectivamente. En la dinámica del crecimiento vegetativo del 23 de marzo al 23 de julio del 2014, se aprecia mayor longitud de los brotes vegetativos, con la aplicación de 150 ppm de AG<sub>3</sub>(FIGURA 3.3).

**CUADRO 3.4 Comparación de medias en la longitud de los brotes vegetativos, emitidos en plantas de pitahaya solferina, (dda).**

Tratamientos (TDZ + AG <sub>3</sub> )	n	1° Aplicación (07/03/2014)		2° Aplicación (01/05/2014)		
		16 dda	47 dda	67 dda	96 dda	148 dda
T3 (00 + 150)	4	26.00 a	51.03 a	66.00 a	87.75 a	107.00 a
T9 (100 + 150)	4	19.00 a b	39.75 a b	42.25 b	58.00 b	64.00 b
T4 (50 + 00)	3	5.50 c d	22.50 c d	33.50 b c	47.00 b c	52.33 b c
T1 (00 + 00)	4	4.63 d	22.25 c d	32.00 c	38.75 c	49.75 b c
T7 (100 + 00)	4	1.50 d	18.63 d	30.25 c	39.25 c	49.50 b c
T5 (50 + 50)	4	2.75 d	19.75 c d	30.50 c	36.00 c	45.25 b c
T2 (00 + 50)	3	16.00 a b c	22.83 c d	24.33 c	31.00 c	39.33 b c
T6 (50 + 150)	3	18.67 a b	31.00 b c	33.30 b c	35.67 c	37.67 c
T8 (100 + 50)	4	15.50 b c	27.50 c d	28.25 c	30.50 c	35.00 c
DMS		10.384	12.005	15.444	18.094	24.006

Medias con una letra común no son significativamente diferente ( $p > 0.05$ )  
Prueba LSD Fisher  $\alpha = 0.05$

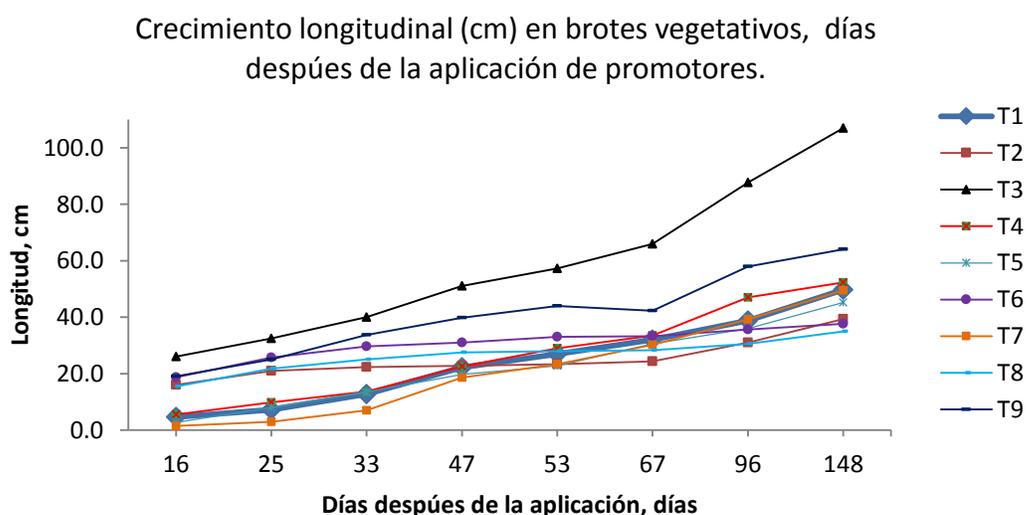


FIGURA. 3.3. Dinámica del crecimiento en tallos de pitahaya solferina

## ENSAYO EN CAMPO

### APLICACIÓN DE AG<sub>3</sub> PARA AMARRE DE FRUTOS DE PITAHAYA SOLFERINA S1, POLINIZADA CON FLORES DEL MISMO GENOTIPO PERO DE DIFERENTES PLANTAS.

Algunas especies tienen incompatibilidad sexual, que impide la formación de frutos. En una plantación de pitahaya en Huitziltepec, Pue, se realizó un ensayo con la polinización manual de flores del mismo genotipo pero de diferentes plantas, asperjando una dosis de 100 ppm de AG<sub>3</sub> (producto Progibb® 10), en la región del ovario al momento de la antesis, entre las 9:00 y 10:00 de la noche.

En la noche del 17-06-2014, se polinizaron 30 flores del genotipo S1 y se les aplicaron 100 ppm de AG<sub>3</sub>, asperjado directamente a la región del ovario de la flor. A otras 30 flores solo se les aplicó AG<sub>3</sub> y con polinización libre.

Se evaluó el porcentaje de amarre, longitud y diámetro ecuatorial a la cosecha de los frutos formados y revisión de formación de pulpa a los 24 días después de la aplicación.

## RESULTADOS

Se indujo amarre de frutos en flores polinizadas con la misma especie y con la aplicación de 100 ppm de AG<sub>3</sub>. Se logró amarre de frutos en el 76.6 % de las flores polinizadas, además de que al revisar algunos frutos a los 24 días después de la aplicación, se confirmó la formación de pulpa y semillas. En esta etapa aún no presentaba coloración de la pulpa. Se compararon internamente con aquellas flores a las que solo se les aplicó AG<sub>3</sub> y con polinización libre (falsos frutos) (FIGURA 3.4)



FIGURA 3.4. Frutos con pulpa y “falsos frutos” de pitahaya solferina, a los 24 ddp.

Al momento de la cosecha los frutos presentaron una longitud y diámetro ecuatorial promedio de 8.5 x 6.8 respectivamente, siendo frutos pequeños (con esas dimensiones su peso estimado no fue mayor a los 250 g).

A los 66 días después de la polinización cruzada entre flores de la misma especie y de diferentes plantas, se formaron frutos pequeños y con pocas semillas, presentaban coloración solferina de la pulpa y tuvieron un pericarpelo muy grueso y duro (FIGURA 3.5)



FIGURA 3.5. Amarre de frutos por efecto de polinización y AG<sub>3</sub>

Los falsos frutos que se desarrollaron aparentemente después de la aplicación de AG<sub>3</sub>, y con polinización libre, a los 66 días tenían externamente la coloración roja del pericarpelo, indicador de un fruto maduro, pero internamente, no presentaron formación de pulpa ni de semillas (FIGURA 3.6).



FIGURA 3.6 Aparente maduración de frutos solferinos en campo e internamente

### 3.6 Conclusiones

La aplicación de TDZ y AG<sub>3</sub>, en los tallos, días antes de la formación del botón floral inhibieron la brotación y causaron deformaciones de los botones presentes, al menos en estas dosis y en estas condiciones.

La inhibición de los botones florales fue inversa a la promoción de brotes vegetativos. Se obtuvieron mayor longitud de los tallos con aplicaciones solo de AG<sub>3</sub> a 150 ppm. Las dosis y el número de aplicaciones fueron excesivas, para promover floración, es indispensable, establecer fechas de aplicación, dosis más adecuadas y conocer internamente los cambios en la formación de yemas florales.

El AG<sub>3</sub> que indujo el mayor crecimiento vegetativo, puede ser la base para mejorar el crecimiento en los primeros meses de plantación, que son críticos en campo por las condiciones adversas de suelos pobres y sequía prolongada.

Si en la pitahaya solferina se inhibiera la primera brotación floral pero se indujera la segunda, tendría más probabilidades de sincronizar la floración con su polinizador, la pitahaya de pulpa blanca.

En campo, resultó alentador el amarre de frutos en el genotipo autoincompatible, polinizadas con flores del mismo genotipo y AG<sub>3</sub>, lo que significa disminuir el trabajo de coleccionar polen de otro genotipo para inducir el amarre, aunque se obtuvieron frutos pequeños.

### 3.7 Literatura citada

- ALMAGUER-VARGAS, G., J.R ESPINOSA-ESPINOSA, A. LUNA –CONTRERAS, AND J.C PAZ-SOLORZANO.2000. Chemical bud break sprays in Japanese plum (*Prunus salicina Lindl.*) “Shiro” and “Santa Rosa”. Revista- Chapingo-Serie- Horticultura. 6: 111-115.
- ALVARADO-RAYA, H., J. RODRIGUEZ- ALCAZAR, G. CALDERON- ZAVALA, AND E. CARDENAS-SORIANO. 2000. Thidiazuron, flower budbreak and ovary

- dimensions in Japanese plum (*Prunus salicina* L.) "Shiro". *Agrociencias*. 34:321-327.
- BLÁZQUEZ M.A; PIÑERO M; VALVERDE F. 2011. Bases moleculares de la floración. *Investigación y Ciencia, Edición española de Scientific American*. No. 416, mayo 2011.
- CALDERÓN-ZAVALA, G AND J.RODRIGUEZ ALCAZAR. 2000. Thidiazuron, flower budbreak and ovary dimensión in Japanese plum (*Prunus salicina* L.) "Shiro". *Agrociencias*: 34:321-327
- CALDERÓN-ZAVALA, G AND J.RODRIGUEZ ALCAZAR. 2000. Thidiazuron (n-phenil-n1-(1,2,3-thidiazol-5-yl urea) as a promoter of budbreak on peach (*Prunus pérsica* L. Batsch) and Japanese plum (*Prunus salicina* L.) *Revista – Chapingo-Serie-Horticultura*. 6:117-120
- FAUST, M.L.D.,M.M.MILLARD, AND G.W. STUTTLE.1991. Bound versus free water in dormant apple buds. A theory for endodormancy. *Hort Science*. 26: 887-890.
- INGLESE, P. BARBERA G., CARIMI,F. 1994. The effect of differents amount of cladode removal on reflowering of cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L. (Miller)) *J. HortScience*. 69:61-65.
- INGLESE, P., I. CHESSA,G. NIEDDU AND T.LA MATIA. 1997. Evolution of endogenous giberellins at different stage of flowering in relation to return bloom of cactus pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) (MILLER). *Proc III. Int. Congress on Cactus Pear and Cochinille*. Ed. P. Inglese and M.O Brutsch. *Acta Horticulture* 438 ISHS
- LÓPEZ M.J. 2009. PRODUCCIÓN FORZADA DE FRUTILLAS EN MÉXICO. *IN: II Simposium Nacional de Producción Forzada en Frutales*. Colegio de Postgraduados, México.
- SALISBURY F.B. Y ROSS C. W. 1994. *FISIOLOGIA VEGETAL*. Grupo editorial Iberoamérica, S.A de C.V. México, D.F 756 p.

## CONCLUSIONES GENERALES

Existen tres genotipos de pitahayas en la Mixteca Poblana, tienen características morfológicas diferentes en tallos, flores y frutos, además del comportamiento reproductivo específico.

La caracterización morfológica, permite decidir el establecimiento y arreglo del cultivo de especies autoincompatibles con autocompatibles.

Las pitahayas solferinas de la Mixteca Poblana son autoincompatibles y compatibles parcialmente entre ellas. La pitahaya de pulpa blanca es autocompatible y autofértil, resultó muy efectiva para polinizar las pitahayas solferinas.

Los mejores frutos de solferina en tamaño, se obtuvieron cuando las flores se polinizaron con flores de pitahaya de pulpa blanca.

Los tres genotipos muestran poca sincronía de la floración, se requiere de colecta previa de polen y su conservación mínima en refrigeración.

El polen se colecta muy bien en la noche, antes de las 10:00 pm, con frascos de plástico, ubicados justo al centro de la flor antes de que las anteras liberen el polen y agitando suavemente la mano, el polen colectado de una flor rinde aproximadamente para polinizar 10 flores.

El polen se puede conservar de una a dos semanas en refrigeración a 7°C, en frascos cerrados herméticamente y éstos en bolsas cerradas, aislado de humedad.

Es mejor polinizar las flores manualmente con pinceles delgados No.6, de fibras sintéticas, que con fibras vegetales o de animales, estas últimas tienen el inconveniente de atrapar la humedad que dificulta el depósito del polen al estigma.

Existe mayor probabilidad de amarre en flores polinizadas en la tarde o en la noche, justo cuando la flor empieza a abrirse que en la mañana siguiente, cuando le quedan pocas horas para que se marchite.

La autopolinización (para comprobar autoincompatibilidad), con bolsas elaboradas con tela de organza, tiene ventajas en aislar a los polinizadores y permitir el intercambio de gases y luz a la flor, pero además resultó muy efectiva para proteger a los frutos de daños mecánicos causados por agua, granizo, hormigas y pájaros. Se obtuvieron frutos sin daños mecánicos que mejoran el aspecto al momento de la comercialización.

Es importante en estudios posteriores, conocer profundamente, las condiciones de preservación del polen, en cuanto a tiempo, humedad y temperatura, para conservar su poder germinativo.

Conocer los procesos de la inducción, diferenciación y desarrollo floral y sus concentraciones de hormonas, para conocer cuáles son las más importantes que se pueden utilizar para programar y sincronizar las floraciones.

Los genotipos tienen el potencial productivo para establecerse en condiciones protegidas, bajo un sistema de mallas, que permitan el paso de luz adecuada y eviten el daño por granizo, lluvia y aves, ya que son autocompatibles (caso de la pitahaya de pulpa blanca) o bien requieren de la polinización manual (pitahayas solferinas).