

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECCION ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
EXAMENES PROFESIONALES

✓ CARACTERIZACIÓN Y COMPATIBILIDAD EN PITAHAYA

Hylocereus sp.

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA:

FELIPE DE JESÚS RAMÍREZ MIRELES

Bib. 88157

C-1

ENERO DE 1999

Chapingo, Estado de México

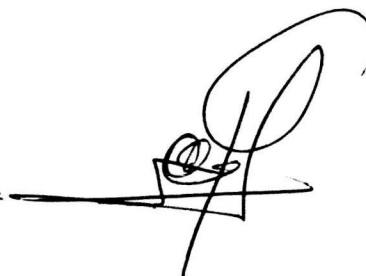


CARACTERIZACIÓN Y COMPATIBILIDAD EN PITAHAYA *Hylocereus* sp.

Tesis realizada por el Ing. Felipe de Jesús Ramírez Mireles bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA.

DIRECTOR: M. C. José Pablo Cruz Hernández.



ASESOR: DR. Edilberto Avitia García.



ASESOR: DRA. María Teresa Colinas de León.

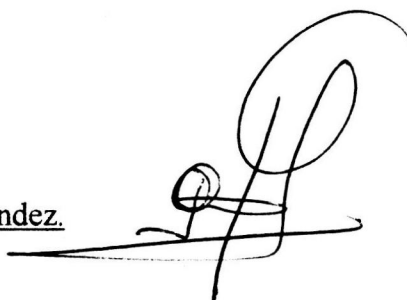


33824

CARACTERIZACIÓN Y COMPATIBILIDAD EN PITAHAYA *Hylocereus* sp.

El jurado que revisó y aprobó el examen de grado del Ing. Felipe de Jesús Ramírez Mireles autor de la presente tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura estuvo constituido por:

PRESIDENTE: M. C. José Pablo Cruz Hernández.



ASESOR: DR. Edilberto Avitia García.



ASESOR: DRA. María Teresa Colinas de León.



DEDICATORIA

Con todo mi cariño para mis padres, que durante toda mi vida me han apoyado en mis estudios, su amor incondicional y un ejemplo a seguir.

Clemente Ramírez

Amparo Mireles

A mi tierra, que sigue creyendo en sus hijos:

MÉXICO.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo, por brindarme un hogar durante los dos años de mis estudios de postgrado y los conocimientos que me han formado como profesional y preparado para la resolución de los problemas del campo mexicano.

Al Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACyT), por brindarme su apoyo económico por medio de su beca durante la realización de mis estudios de Maestría.

Al Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México, por su apoyo brindado en la realización de los estudios de microscopio Electrónico de Barrido y por el asesoramiento brindado mediante sus profesores y técnicos.

A todos los profesores de la Universidad Autónoma Chapingo que contribuyeron en mi formación durante mi estancia en la Maestría; en especial al M. C. Pablo Cruz H, asesor de siempre y hombre dedicado a la ciencia aplicada.

A los señores: Ignacio, Anita, Petra, Francisco, Carmen, Guadalupe, Concepción; por su hospitalidad y apoyo en la fase de campo, al permitir trabajar en sus huertas y casas.

A Dios, por permitir que todo esto sucediera

DATOS BIOGRÁFICOS

Estudios de preparatoria realizados y obtención de diploma en la Escuela Nacional Preparatoria No. 7, Ezequiel A. Chávez, de la Universidad Nacional Autónoma de México entre octubre de 1995 y julio de 1988.

Estudios de licenciatura y obtención de título de Ingeniero Agrónomo especialista en Fitotecnia en la Universidad Autónoma Chapingo, entre agosto de 1989 y junio de 1994.

Asesor y revisor de la tesis de licenciatura titulada: Biología floral y amarre de frutos en pitahaya “solferina” (*Hylocereus* spp), realizada por el Ing, Luz María Páez Reyes, en el departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo y presentada en Noviembre de 1995.

Asesor y revisor de la tesis de licenciatura titulada: Biología floral, amarre y desarrollo del fruto en pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth), realizada por el Ing, María Luisa Jiménez Macías, en el departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo y presentada en Noviembre de 1995.

Presentación de las ponencias tituladas: “Respuesta de la pitahaya *Hylocereus undatus* (Haworth) a la fertilización foliar” y “Polinización entre tipos de pitahaya”, en el Congreso Internacional sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal, realizado en la ciudad de Monterrey, NL., México, entre el 10 y 15 de septiembre de 1997.

RESUMEN

CARACTERIZACIÓN Y COMPATIBILIDAD EN PITAHAYA *Hylocereus* sp

FELIPE DE JESÚS RAMÍREZ MIRELES

Enero de 1999

(Bajo la dirección de M. C. J. Pablo Cruz Hernández).

Dos tipos de pitahaya cultivada que producen frutos con color de pulpa, roja, solferina y uno de origen silvestre de pulpa blanca (*Hylocereus* sp), con deficiencias en el amarre de frutos, fueron estudiados en sus características florales para conocer las causas de la caída de las flores y se les practicó autopolinización y polinización cruzada manualmente. También se estudió un tipo cultivado de pulpa blanca sin problemas de amarre para comparar sus características. La polinización se evaluó mediante la observación del desarrollo del tubo polínico y en las características de los frutos formados.

No se encontró ninguna malformación de las estructura florales ni mal funcionamiento en su biología floral que provoque la caída de las flores después de su apertura. Se observó en los tipos roja y blanca silvestre una respuesta de auto-incompatibilidad al inhibirse el desarrollo de los tubos polínicos dentro del estigma y una respuesta de pseudo-auto-incompatibilidad en el tipo solferina al inhibirse la mayoría de los tubos polínicos dentro del estigma. Los tres tipos de pitahaya mostraron buen desarrollo de frutos con polinización cruzada.

PALABRAS CLAVE: Biología floral, Polinización, Incompatibilidad, Desarrollo de tubos polínicos, Amarre de frutos.

ABSTRACT

CHARACTERIZATION AND COMPATIBILITY IN PITAHAYA *Hylocereus* sp

FELIPE DE JESÚS RAMÍREZ MIRELES

January, 1999

(Under the direction of M. C. J. Pablo Cruz Hernández).

The reproductive biology of three materials of pitahaya, “roja”, “solferina” and wild “blanca” (*Hylocereus* sp), with problems in fruit set, was studied with the aim to know why post-opening flower shed occurs. Beside this, the flowers were hand self-pollinated and hand cross-pollinated with others. The pollination was evaluated with pollen tube growth, fruit set, fruit weight and seed count.

Research has shown that all pitahayas had normal flowers. “Roja” and wild “blanca” were self-unfruitful, and pollen tube growth inhibition occurred within the stigma (self-incompatible). “Solferina” was occasionally self-fruitful with self-pollen, pollen tube growth inhibition occurred and a few tubes arrived to the ovarian cavity (pseudo-self-incompatible). All types of pitahaya were fruitful with cross-pollination with other types which led to high fruit set.

INDEX WORDS: Floral biology, Pollination, Incompatibility, Pollen tube growth, Fruit set.

ÍNDICE.

	Página.
RESUMEN.	vii
ABSTRACT.	viii
ÍNDICE.	ix
LISTA DE CUADROS.	xiii
LISTA DE FIGURAS.	xvi
I. INTRODUCCIÓN.	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.	2
2.1. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA.	2
2.2. BIOLOGÍA FLORAL.	6
2.2.1. Estructura de la Flor.	6
2.2.2. Floración.	8
2.2.3. Apertura Floral.	8
2.2.4. Polinización.	9
2.2.4.1. Polinización natural.	9
2.2.4.2. Polinización artificial de cactáceas.	10
2.2.5. Fase Progámica.	11
2.2.6. Doble Fecundación.	12
2.2.7. Incompatibilidad Sexual.	12
2.2.8. Amarre de Frutos.	13
III. MATERIALES Y MÉTODOS.	16
3.1. UBICACIÓN DE LAS PLANTAS DE ESTUDIO.	16
3.2 MATERIAL VEGETAL.	17
3.3. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES.	18
3.3.1. Características del Tallo.	18
3.3.2. Desarrollo Floral y de Fruto.	20

	Página
3.3.3. Biología Floral.	21
3.3.3.1 Periodos de floración.	21
3.3.3.2. Características de la flor.	22
3.3.3.3. Apertura y senescencia floral.	24
3.3.3.4. Características del polen.	25
3.3.3.5. Receptibilidad del estigma, periodo de polinización efectiva (PPE) y viabilidad de óvulos.	27
3.3.3.6. Fase progámica.	30
3.3.4. Características de los Frutos.	32
3.3.5. Características de la semilla.	34
3.4. POLINIZACIÓN ENTRE LOS TIPOS DE PITAHAYA.	35
3.4.1. Experimentos de Polinización.	35
3.4.2. Evaluación de la Compatibilidad.	38
3.4.2.1. Efecto de la polinización sobre el desarrollo de los tubos polínicos.	38
3.4.2.2. Efecto de la polinización sobre el amarre de frutos.	39
3.4.2.3. Efecto de la polinización sobre las características de los frutos.	39
3.4.2.4. Efecto de la polinización sobre las características de semillas y plántulas.	40
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.	42
4.1. CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LOS MATERIALES VEGETALES.	42
4.1.1. Características del Tallo.	42
4.1.2. Desarrollo Floral y de Fruto.	45
4.1.3. Biología Floral.	47
4.1.3.1. Periodos de Floración.	47
4.1.3.2. Características de la flor.	52
4.1.3.3. Apertura y senescencia floral.	56

	Página
4.1.3.4. Características del polen.	59
4.1.3.5. Receptibilidad del estigma.	63
4.1.3.6. Duración de la fase progámica.	64
4.1.3.7. Periodo de polinización efectiva (PPE).	67
4.1.3.8. Viabilidad de los óvulos.	69
4.1.4. Características de los Frutos.	71
4.1.5. Características de la Semilla.	73
4.2. EFECTO DE LA POLINIZACIÓN EN LOS TIPOS DE PITAHAYA.	77
4.2.1. Efecto de la Polinización Sobre el Desarrollo de los Tubos Polínicos.	77
4.2.1.1. Desarrollo de tubos polínicos en la pitahaya blanca cultivada.	77
4.2.1.2. Desarrollo de tubos polínicos en la pitahaya roja.	78
4.2.1.3. Desarrollo de tubos polínicos en la pitahaya solferina.	79
4.2.1.4. Desarrollo de tubos polínicos en la pitahaya blanca silvestre.	81
4.2.2. Efecto de la Polinización Sobre el Amarre de Fruto.	83
4.2.2.1. Pitahaya blanca cultivada.	83
4.2.2.2. Pitahaya roja.	83
4.2.2.3. Pitahaya solferina.	84
4.2.2.4. Pitahaya blanca silvestre.	85
4.2.3. Efecto de la Polinización Sobre las Características de los Frutos.	86
4.2.3.1. Frutos de pitahaya blanca cultivada.	86
4.2.3.2. Frutos de pitahaya roja.	87
4.2.3.3. Frutos de pitahaya solferina.	88
4.2.3.4. Frutos de pitahaya blanca silvestre.	89
4.2.4. Efecto de la Polinización Sobre las Características de la Semilla y Plántulas.	90
4.2.4.1. Peso de semilla y porcentaje de semillas vanas.	90

	Página
4.2.4.2. Germinación de las semillas.	91
4.2.4.3. Desarrollo de Plántulas.	93
4.3. COMPATIBILIDAD ENTRE LOS TIPOS DE PITAHAYA.	94
4.4. CAUSAS DE LA CAÍDA DE FLORES DE PITAHAYA.	97
4.5. EFECTO DE LA ÉPOCA DE FLORACIÓN SOBRE LOS FRUTOS.	98
4.6. EFECTO DEL NÚMERO DE FRUTOS POR TALLO SOBRE SU TAMAÑO.	99
4.7. RELACIÓN DEL FRUTO CON LAS SEMILLAS.	100
V. CONCLUSIONES.	104
VI. LITERATURA CITADA.	105

LISTA DE CUADROS.

	Página
Cuadro 1. Valores promedio de algunas características de tallos de cuatro tipos de pitahaya, (<i>Hylocereus</i> sp), desarrollados en Zacatlalmanco, D F.	43
Cuadro 2. Características de tallos de nueve clones de pitahaya Blanca Silvestre, (<i>Hylocereus undatus</i>), provenientes de Cuetzalan, Puebla (7) y de Teapa, Tabasco (2), desarrollados en Zacatlalmanco D. F.	42
Cuadro 3. Periodos de desarrollo de yemas florales y frutos de cuatro tipos de pitahaya, <i>Hylocereus</i> sp, en Acapa, Puebla (Roja y Blanca cultivada), Xochitlán, Puebla (solferina) y Zacatlalmanco, DF (Blanca Silvestre) en dos épocas del año.	46
Cuadro 4. Coincidencia de la floración entre tres tipos de pitahaya (<i>Hylocereus</i> sp), de los periodos de floración observados entre el 19 de mayo y 15 de junio de 1997 en la región de Tehuacán, Puebla.	51
Cuadro 5. Cantidad y longitud (mm) de los elementos foliosos de las flores de cuatro tipos de pitahaya (<i>Hylocereus</i> sp), Blanca cultivada, roja y solferina, flores de la región de Tehuacán; Blanca silvestre, flores de Zacatlalmanco, D. F.	53
Cuadro 6. Número promedio y longitud de los elementos del gineceo y androceo de flores de cuatro tipos de pitahaya (<i>Hylocereus</i> sp). Blanca cultivada, roja y solferina, flores de la región de Tehuacán; Blanca silvestre, flores de Zacatlalmanco, D. F.	55
Cuadro 7. Frecuencia de visita de polinizantes diurnos en flores de pitahaya (<i>Hylocereus</i> sp), observados entre las 6:30 y 11:30 del día siguiente de la noche de apertura, durante el 20-22 de julio, en Xochitlán, Puebla.	58
Cuadro 8. Porcentaje de germinación <i>in vitro</i> de granos de polen, promedio de tres tipos de pitahaya (<i>Hylocereus</i> sp), colectados y conservados en varias temperaturas.	60

Cuadro 9. Diámetro del grano de polen y características de la exina de cuatro tipos de pitahaya (<i>Hylocereus</i> sp). Polen colectado entre el 15 y 30 de junio de 1998 en Zacatlalmanco, DF y observado entre el 15 y 30 de octubre de 1998.	61
Cuadro 10. Tiempo de realización de las etapas de la fase progámica (horas después de la polinización) en tres tipos de pitahaya (<i>Hylocereus</i> sp), basado en los primeros tubos polínicos.	65
Cuadro 11. Características generales de frutos de cuatro tipos de pitahaya, (<i>Hylocereus</i> sp). Frutos de blanca cultivada, roja y solferina, provenientes de polinización libre de Tehuacán, Puebla; blanca silvestre de polinización cruzada (polen de blanca silvestre) de Zacatlalmanco, D. F. durante junio de 1997.	72
Cuadro 12. Características generales de frutos de siete clones provenientes de Cuetzalan, Puebla y dos provenientes de Teapa, Tabasco, del tipo de pitahaya blanca silvestre (<i>Hylocereus undatus</i>), obtenidos de polinización manual cruzada en Zacatlalmanco D. F.	73
Cuadro 13. Características de la semilla de cuatro tipos de pitahaya (<i>Hylocereus</i> sp). Semillas de blanca cultivada, roja y solferina, provenientes de polinización libre de Tehuacán, Puebla; blanca silvestre obtenidas con polinización cruzada (polen de blanca silvestre) de Zacatlalmanco, D. F. durante junio de 1997.	74
Cuadro 14. Características de la semilla de nueve clones de pitahaya blanca silvestre (<i>Hylocereus undatus</i>) provenientes de polinización cruzada con polen de blanca silvestre de Zacatlalmanco, D. F., durante junio de 1997.	75
Cuadro 15. Porcentaje de amarre de frutos de acuerdo a la fuente de polen en cuatro tipos de pitahaya, (<i>Hylocereus</i> sp), solferina en Xochitlán, Pue, roja y blanca cultivada, en Acapa, Puebla y blanca silvestre en Zacatlalmanco DF.	83
Cuadro 16. Características de frutos de pitahaya blanca cultivada (<i>Hylocereus undatus</i>), de acuerdo a la fuente de polen utilizando polinización manual y en polinización libre, en la región de Tehuacán, Pue.	86
Cuadro 17. Características de frutos de pitahaya roja (<i>Hylocereus</i> sp) de acuerdo a la fuente de polen utilizando polinización manual y en polinización libre, en Acapa, Puebla.	87

Cuadro 18. Características de frutos de pitahaya solferina (<i>Hylocereus</i> sp) de acuerdo a la fuente de polen utilizando polinización manual y en polinización libre, en Xochitlán, Puebla y en Zacatlalmanco, D. F.	88
Cuadro 19. Características de frutos de pitahaya blanca silvestre (<i>Hylocereus undatus</i>), de acuerdo a la fuente de polen utilizando polinización y en polinización libre, en Zacatlalmanco, D. F.	89
Cuadro 20. Características de semillas y plántulas híbridas entre tres tipos de pitahaya cultivada, (<i>Hylocereus</i> sp), según el progenitor de su procedencia. S, solferina; R, roja; B, blanca cultivada.	91
Cuadro 21. Influencia del periodo de floración sobre las características de frutos formados en tres tipos de pitahaya (<i>Hylocereus</i> sp), en la región de Tehuacán, Puebla.	98
Cuadro 22. Influencia del número de frutos por sección de tallo sobre las características de fruto de tres tipos de pitahaya (<i>Hylocereus</i> sp), en la región de Tehuacán, Puebla.	99
Cuadro 23. Valores de correlaciones entre el peso de pulpa (PP), peso total de semillas (PS), peso de mil semillas (T), número de semillas (N) y la eficiencia de producción de pulpa (EPP) de frutos de pitahaya (<i>Hylocereus</i> sp).	102

LISTA DE FIGURAS.

	Página
Figura 1. Secciones en que se divide la flor de pitahaya (<i>Hylocereus</i> sp), y estructuras que la componen. A, corte longitudinal; B, corte transversal del pericarpelo; EG, escamas de la garganta; EM, estigma; EP, escamas del pericarpelo; ES, estilo; ET, estambres; ETR, escamas del tubo receptacular; O, ovario; PE, perianto externo; PI, perianto interno.	7
Figura 2. Características del tallo de pitahaya (<i>Hylocereus</i> sp). 1, sección constituida por un flujo de crecimiento, de perfil; 2, corte transversal del tallo; AA, altura de arco; An, ancho del tallo; DY, distancia entre yemas; FS, fin de sección de tallo; IS, inicio de sección de tallo; LA, longitud de arco; PC, parte central de la sección; Y, yema.	18
Figura 3. Tipos de arcos de la sinuosidad del borde del tallo presentes en el género <i>Hylocereus</i> . 1, Convexo; 2, Cóncavo; 3, Recto. BT, borde del tallo; E, areola; ET, eje del tallo.	19
Figura 4. Secciones en que se dividió el gineceo de pitahaya. 1, sección del estigma; 2, sección media; 3, sección del ovario. ES, estigma; ET, estilo, OV, ovario.	30
Figura 5. Seccionamiento del estilo para observar los tubos polínicos. 1, Corte de un trozo de la sección del estilo (2 cm); 2, corte longitudinal del trozo del estilo hasta el canal estilar; 3, Separación del estilo por el corte; 4, Separación del canal estilar y colocación sobre un portaobjetos para su división; 5, División longitudinal del canal estilar en cuatro secciones. CE, canal estilar; PO, portaobjetos; SCE, sección del canal estilar; SE, sección del estilo; TC, trazo del corte; TE, trozo de estilo.	31
Figura 6. Características de la forma y de la testa de la semilla de pitahaya, (<i>Hylocereus</i> sp). 1, vista de perfil; 2, vista de frente; 3, características de la testa. BA, base del ala; CT, célula de la testa; LH, longitud de hilo; LS, longitud de semilla; P, puntuación; Pc, pared celular; PCT, parte central de la testa; PI, parte intermedia de la testa; T, trabéculas; Zhm, zona hilo-micropilar.	32
Figura 7. Formas del arco del borde del tallo de cuatro tipos de pitahaya (<i>Hylocereus</i> sp), desarrollados en Zacatlalmanco, D. F. B, blanca cultivada; BS, blanca silvestre; R, roja; S, solferina; AA, altura de arco; E, areola; LA, longitud de arco. Esc 1: 1.45.	41
Figura 8. Fecha de presentación de los periodos de floración (**) y porcentaje de flores abiertas (*) de tres tipos de pitahaya, (<i>Hylocereus</i> sp) cultivadas en la región de Tehuacán, Puebla, en dos años.	48

- Figura 9. Fecha de presentación de los periodos de floración (**) y porcentaje de flores abiertas (*) de pitahaya solferina y blanca silvestre (*Hylocereus* sp), en Zacatlalmanco, D. F. 49
- Figura 10. Distribución de las flores abiertas de tres tipos de pitahaya (*Hylocereus* sp), en el periodo de floración (19 de mayo al 15 de junio de 1997), en la región de Tehuacán, Pue. 51
- Figura 11. Forma predominante de los elementos foliosos de la flor de cuatro tipos de pitahaya (*Hylocereus* sp). 1, Solferina; 2, blanca cultivada; 3, roja; 4, clon C-2, de blanca silvestre. EG, escama de la garganta; EP, escamas del pericarpelo; ET, escamas del tubo receptacular; PE, perianto externo; PI, perianto interno. 1, 2, 3, flores de Tehuacán, Puebla; 4, de Zacatlalmanco, D F. Esc. 1: 3. 54
- Figura 12. Periodos de duración de los eventos de la biología floral de tres tipos de pitahaya, (*Hylocereus* sp). BF, bulbo floral; DA, inicio de dehiscencia de anteras; IRE, inicio de receptibilidad de estigma; IAF, inicio de apertura floral; FAF, fin de apertura floral; FC, flor cerrada; FRE, disminución de receptibilidad de estigma. 56
- Figura 13. Porcentaje de granos de polen germinados de tres tipos de pitahaya *Hylocereus* sp, en Zacatlalmanco, D. F. A, flores cortadas y conservadas en cuarto cerrado; B, tomados de la flor en su ambiente natural. 59
- Figura 14. Características del grano de polen de pitahaya (*Hylocereus* sp), vistas bajo Microscopio Electrónico de Barrido (S-2460N Hitachi). 1, Vista superior; 2, vista ecuatorial. AC, abertura del colpo; M, microespinas, P, poro. 1 y 2, polen del tipo solferina 1250 X; 3, polen de roja 3500 X; 4, polen de blanca cultivada 11000 X. 62
- Figura 15. Receptibilidad de estigma de dos tipos de pitahaya (*Hylocereus* sp), expresada en porcentaje de granos de polen germinados en el tejido del estigma. Blanca cultivada, en Xochitlán, Puebla (X); solferina, en Xochitlán, Puebla y Zacatlalmanco, D. F. (Z). 64
- Figura 16. Desarrollo del tubo polínico en el gineceo de la pitahaya (*Hylocereus* sp) con polinización compatible. 1, Grano de polen 1 hora después de la polinización; 2, Granos de polen germinados en el estigma; 3, Punta de tubo polínico en el estilo; 4, Formación de tapón de callosa en el tubo polínico; 5, Grano de polen 90 horas después de la polinización; 6, Óvulo penetrado por el tubo polínico 90 horas después de la polinización. CTP, citoplasma del tubo polínico; GP, grano de polen; F, funículo; O, óvulo; PTP, punta del tubo polínico; TC, tapón de callosa; TE, tegumento externo; TI, tegumento interno; TP, tubo polínico. 1 a 5, bajo microscopio óptico en 40 X; 6, bajo microscopio electrónico de barrido a 600 X. 66

- Figura 17. Porcentaje de amarre de frutos durante el periodo de polinización efectiva de dos tipos de pitahaya (*Hylocereus* sp). A, autopolinización; C, polinización cruzada; Z, en Zacatlalmanco; X, en Xochitlán. El tipo solferina es semi-auto-compatible. 67
- Figura 18. Porcentaje de semillas formadas en el fruto con respecto del número promedio de óvulos, durante el periodo de polinización efectiva de dos tipos de pitahaya (*Hylocereus* sp). A, autopolinización; C, polinización cruzada; Z, en Zacatlalmanco; X, en Xochitlán. El tipo solferina es semi-autocompatible. 68
- Figura 19. Periodo estimado de viabilidad de óvulos de dos tipos de pitahaya (*Hylocereus* sp), expresada en porcentaje de óvulos viables con respecto al número total promedio por ovario; Z, en Zacatlalmanco; X, en Xochitlán. 70
- Figura 20. Diferencias en el periodo de polinización efectiva y viabilidad de óvulos en la pitahaya solferina (*Hylocereus* sp) en dos localidades; PPE, periodo de polinización efectiva; FP, fase progámica; LO, Longevidad de óvulos. 71
- Figura 21. Características de la testa de la semilla de 4 tipos de pitahaya (*Hylocereus* sp), de frutos de polinización libre. 1, 3 y 5, tomadas de la base del ala de la testa; 2 y 4, tomadas en la parte intermedia; 6, tomada en la parte central; 1, Blanca cultivada; 2-3, Roja; 4-6, Solferina. Pn, puntuaciones; Tr, travéculas. Fotografías tomadas a 800 X. 76
- Figura 22. Velocidad de desarrollo de tubos polínicos en el estilo de la flor de pitahaya blanca cultivada (*Hylocereus* sp). PC, polinización cruzada; AP, autopolinización. VP, velocidad promedio. Polinización realizada en Acapa, Puebla. 77
- Figura 23. Longitud de los tapones de calosa de los tubos polínicos desarrollados en el estigma de cuatro tipos de pitahaya (*Hylocereus* sp). AP, autopolinización; PC, polinización cruzada. Roja y blanca cultivada en Acap, Puebla; solferina en Xochitlán; Blanca silvestre en Zacatlalmanco. (**) Mismas letras son estadísticamente similares, Tukey $\alpha \leq 0.05$. 78
- Figura 24. Velocidad de desarrollo de tubos polínicos en el estilo de la flor de la pitahaya roja (*Hylocereus* sp). PC, polinización cruzada; AP, autopolinización. VP, velocidad promedio. Polinización realizada en Acapa, Puebla. 79

- Figura 25. Velocidad de desarrollo de tubos polínicos en el estilo de la flor de pitahaya solferina (*Hylocereus* sp). PC, polinización cruzada; AP-1, autopolinización, tubos polínicos que llegaron al ovario; AP-2, autopolinización, tubos polínicos que se inhibieron en la entrada del estigma; VP, velocidad promedio. En Xochitlán, Puebla. 80
- Figura 26. Velocidad de desarrollo de tubos polínicos en el estilo de la flor de pitahaya blanca silvestre (*Hylocereus* sp) PC, polinización cruzada; AP, autopolinización. VP, velocidad promedio. Polinización en Zacatlalmanco, D. F. 82
- Figura 27. Grado de desarrollo de tubos polínicos compatible e incompatible, en el estilo de flores de pitahaya (*Hylocereus* sp). AI, área de inhibición de tubos polínicos en el canal estilar; CE, canal estilar; ES, lóbulo del estigma; ET, estilo; OV, ovario; P, pericarpelo; TPC, tubo polínico compatible con el estilo; TPI, tubo polínico incompatible con el estilo. 82
- Figura 28. Porcentaje de amarre de fruto de pitahaya solferina (*Hylocereus* sp) en dos comunidades. AP, auto polinización; PC, polinización cruzada, utilizando polen de solferina de diferente clon. 85
- Figura 29. Esquema de rompimiento de la testa durante la germinación de la semilla de pitahaya (*Hylocereus* sp). 1, rompimiento inicial por el lado de la zona hilo-micropilar; 2, formación del opérculo; 3, rompimiento dorsal, al emerger la radícula. O, opérculo; R, radícula; Zhm, zona hilo-micropilar. 92
- Figura 30. Anatomía, proceso de germinación y emergencia de la semilla de la pitahaya, (*Hylocereus* sp). A, corte longitudinal; B, vista lateral; C, vista frontal; 1, emergencia de la radícula; 2, desarrollo del hipocotilo; 3, ramificación de la radícula; 4, levantamiento de la plántula. 5-8, expansión de los cotiledones; 9, inicio del desarrollo del tallo; Co, cotiledón; Ho, hipocotilo; Me, meristemo del tallo; Mi, micrópilo; R, radícula; T, testa; Zhm, zona hilo-micropilar. A-C, Esc 1: 0.1; 1-4, Esc 1:0.2; 5-9, Esc 1: 0.6. 94
- Figura 31. Correlación entre el peso total de semillas y el peso del fruto de tres tipos de pitahaya (*Hylocereus* sp). Solferina $r = 0.69881$, $\alpha = 0.0001$; Roja $r = 0.67160$, $\alpha = 0.0001$; Blanca cultivada $r = 0.76419$, $\alpha = 0.0001$. 100
- Figura 32. Correlación entre el número total de semillas y el peso de fruto de tres tipos de pitahaya *Hylocereus* sp. Solferina $r = 56234$, $\alpha = 0.0001$; Roja $r = 0.39474$, $\alpha = 0.0001$; Blanca cultivada $r = 0.048292$, $\alpha = 0.0001$. 101

I. INTRODUCCIÓN.

Los mercados nacional e internacional están demandando nuevos productos. Algunas cactáceas productoras de frutas comestibles han cobrado importancia como cultivos potenciales en zonas semiáridas sin problemas serios de bajas temperaturas, ya que cuentan con características anatómicas, morfológicas y fisiológicas que les permiten hacer un uso eficiente del agua. En México tres géneros han sido objeto de mayor investigación; estos son *Opuntia* (tunas), *Stenocereus* (pitayas) e *Hylocereus* (pitahayas), de los cuales, el último, por las características de sus frutos, han tomado relevancia en el ámbito nacional e internacional. En países como Nicaragua, Colombia y Guatemala se han dedicado importantes extensiones de terreno a su cultivo, haciéndolos destacar como productores. El mercado de consumo está representado por los mismos países productores y otros como Japón, E. U. A. y la Comunidad Económica Europea. En México existe una considerable superficie dedicada a su producción; sin embargo, ésta se encuentra en su mayoría como cultivo de traspatio. La especie de mayor importancia en nuestro país es *H. undatus*, conocida comúnmente como pitahaya blanca (debido al color de su pulpa), y se produce principalmente a pequeña escala en zonas calientes del centro y sur del país. En estas mismas zonas se puede encontrar otros tipos del género *Hylocereus*, que producen frutos con algunas características similares a las del tipo blanca, y que son potencialmente comerciables; sin embargo, presentan la desventaja de tener bajos porcentajes de amarre de frutos y mucha variabilidad en su tamaño.

En el presente trabajo se planteó estudiar las causas probables de la falta de amarre de fruto de pitahaya, conocer las relaciones de compatibilidad genética entre diferentes clones y encontrar posibles plantas polinizadoras para los tipos de baja producción. Además, con el fin de ganar precisión en los resultados observados y por la falta de información existente, se planteó caracterizar los clones mediante la descripción de algunas de sus características vegetativas y florales.

II. REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA.

El género *Hylocereus*, de acuerdo a Bravo-Hollis (1978), presenta las siguientes características:

Plantas trepadoras, por lo común epífitas, tallos triangulares o trialados, con costillas más o menos onduladas y a veces cornificadas; las ramas emiten raíces aéreas. Areolas provistas de espinas cortas, cuando jóvenes con pelos cetosos. Flores muy grandes, nocturnas, infundibuliformes, limbo tan largo como el tubo o más; el ovario y el tubo presentan grandes escamas foliáceas, con las axilas provistas de fieltro, lana o cerdas, pero sin espinas; segmentos exteriores del perianto semejantes a las escamas del tubo, pero más largos; segmentos internos del perianto, angostos, agudos o acuminados, generalmente blancos, rara vez con tintes rosas; los estambres son muy numerosos, en dos series, igual o más cortos que el estilo; estilo grueso, lóbulos del estigma lineares, numerosos, simples o ramificados. Fruto grande, con grandes escamas foliáceas persistentes sin espinas, comestibles. Semillas pequeñas con testa negra y brillante y con ornamentación celular; cotiledones grandes, agudos, gruesos, aplanados arriba, unidos en la base. Al fruto se le llama vulgarmente "pitahaya". En México crecen varias especies de este género, algunas de ellas aún no bien determinadas, pero tres se encuentran ampliamente distribuidas *H. purpusii*, *H. ocamponis* e *H. undatus* (Bravo-Hollis, 1978).

H. purpusii. Plantas epífitas o con tallos trepadores, azulados. Costillas 3 o 4 con márgenes cornificados y ligeramente ondulados. Areolas pequeñas. Espinas 3 o 6, cortas, cónicas, morenas. Flores de 25 cm de largo y de ancho cuando están bien abiertas; segmentos exteriores del perianto angosto, color rosa, acuminados, los intermedios amarillentos y los interiores blancos con la punta amarillenta; estilo grueso, amarillo; lóbulos del estigma 20, amarillentos (Britton and Rose, 1963). Esta especie se encuentra distribuida en los estados de la costa del Pacífico: Nayarit, Jalisco, Colima y Michoacán (Bravo-Hollis, 1978).

H. ocamponis. Tallos triangulares, al principio verdes, después glaucos con la edad. Costillas onduladas con margen cornificado, color café amarillento. Areolas distantes entre sí 2 a 4 cm, situadas al principio de cada ondulación, con fieltro blanco. Espinas 5 a 8, de 5 a 12 mm de longitud, aciculares, delgadas amarillentas o blanco amarillentas. Flores de 25 a 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, acrecentes hacia el ápice, de 1 a 2 cm de largo y 2.5 cm de ancho; pulpa abundante. Semillas negras (Britton and Rose, 1963). Esta especie se encuentra distribuida en los estados de la costa del Pacífico: Sinaloa, Jalisco, Colima y Michoacán (Bravo-Hollis, 1978).

H. undatus. Plantas terrestres o epífitas. Tallos triangulares, verdes, a veces, con la edad, más o menos glaucos, que trepan por los árboles o por los muros, 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. Areolas distantes entre sí de 3 a 4 cm. Espinas 1 a 3, pequeñas, de 2 a 4 mm de largo. Flores de cerca de 30 cm de largo o más; segmentos exteriores del perianto verde amarillentos, encorvados hacia atrás; segmentos interiores blancos, erectos, oblanceolados, anchos, enteros, crema. Fruto oblongo, de 10 a 12 cm de diámetro, rojo purpúreo, con grandes escamas foliáceas más o menos caducas al madurar, es comestible y tiene pulpa blanca. Semillas pequeñas, negras (Britton and Rose, 1963). En México se encuentra distribuida en casi todas las selvas tropicales deciduas y subdeciduas de manera silvestre. La población rural de las zonas calientes y secas, la cultiva en empalizadas cerca de los muros o las hacen trepar por los troncos de los árboles (Bravo-Hollis, 1978)

En la zona de La Mixteca, Tres clones de pitahaya se encuentran distribuidos y se han denominado de acuerdo al color de la pulpa de los frutos que producen y presentan las siguientes características:

Blanca (*Hylocereus undatus*). Tipo cultivado y muy distribuido en la región cálida central del país y hacia el sur, originado probablemente por selección desde épocas precolombinas; tiene frutos ovalados de cáscara color rosa-rojo, rodeado de escamas alargadas verde-amarillas; pulpa de color blanco-translúcida de sabor suave y poco dulce con numerosas semillas diminutas; su peso varía de entre 280 a 600 g. Las plantas son vigorosas, de tallos largos, resistentes al manipuleo, susceptibles a quemaduras por sol y con espinas pequeñas en las areolas; presentan una gran sincronización en la brotación, siendo muy compactas las floraciones, dando de 3 a 5 periodos distribuidos entre los meses de mayo y septiembre; desde la brotación a la floración tarda de 25 a 30 días y de la apertura a la maduración entre 26 y 34 días; presenta además un 100 % de flores amarradas (Ramírez y Cruz, 1998).

Roja (*Hylocereus* sp.). Tipo cultivado, poco distribuido en la región de Tehuacán, Puebla y de la Mixteca, originado por selección; tiene frutos alargados de cáscara color rosa-rojo con numerosas escamas verde-rosáceas; la pulpa es de color roja, muy dulce, con numerosas semillas pequeñas; su peso varía entre 200 a 750 g; las plantas son muy vigorosas, de tallos largos, resistentes al manipuleo y medianamente a quemaduras por sol y con de espinas pequeñas en las areolas; entre la brotación y la floración pasan de 28 a 30 días y entre la floración a la madurez del fruto entre 32 a 38 días; presenta tres periodos de floración algo compactos, entre los meses de mayo y agosto; presenta bajos porcentajes de amarre de fruto, entre 20 y 40 % (Ramírez y Cruz, 1998).

Solferina (*Hylocereus* sp.). Tipo cultivado, bien distribuido desde la región centro norte del país (S. L. P.) hasta la zona centro sur (Mixteca), originado probablemente por selección; tiene frutos redondos de cáscara delgada de color rojo, rodeada de pocas escamas cortas y anchas, de color rojo-verde; pulpa de color solferina, dulce y con numerosas semillas pequeñas; su peso varía de entre 150 a 800 g; las plantas son poco vigorosas, con mucha brotación de tallos, no muy largos, de poca resistencia al manipuleo, poca resistencia a quemaduras por sol y con una espina por areola; entre la brotación y la floración pasan de 35 a 40 días y entre la floración y la madurez

del fruto, de 39 a 45 días; presenta de 3 a 5 periodos de floración muy dispersos y distribuidos entre los meses de marzo a octubre; el amarre de frutos es menor del 10 % de las flores abiertas (Ramírez y Cruz, 1998).

La descripción de las especies de pitahaya no es muy amplia y muestran mucha similitud entre ellas y algunas de sus características son poco consistentes (diámetro de tallo, longitud de flor, posición del perianto, tamaño y forma del fruto), ya que pueden variar de acuerdo al lugar donde se desarrollen, o bien son imprecisas (color de tallo y escamas de la flor), que dificulta la identificación de algunos clones localizados en zonas productoras de pitahaya o en zonas selváticas de México.

En diversos casos de plantas como las cactáceas, existe poca especialización y diferenciación anatómica y morfológica entre especies de un mismo género e incluso entre algunos géneros, por lo que la descripción de sus características macro-estructurales, debe asociarse a las características micro-estructurales de algunas partes vegetativas (espinas, gloquídeas, esclereidas, estructura de mucílago, cristales, epidermis), de la testa de la semilla y del grano de polen (Gibson and Nobel, 1986). Se considera además, que los órganos reproductores son particularmente más útiles desde el punto de vista botánico para la taxonomía, que los órganos vegetativos, debido a que los primeros se ven menos influenciados por las condiciones ecológicas (Tsukada, 1964; Nowicke and Skvarla, 1979).

Los estudios de la estructura de la semilla y polen en cactáceas son pocos, pero indican entre otros aspectos, que el género, subgénero y algunas veces las especies, pueden ser definidas por las características de polen (tamaño, escultura y estructura de exina, número y posición de aberturas, espinas) y las características celulares de la testa de la semilla (Bregman and Bouman, 1983; González, 1994; Kurtz and Leuenberger, 1976; Leuenberger, 1974; Tsukada, 1964).

2.2. BIOLOGÍA FLORAL.

En la biología floral se estudian todo cuanto atañe a las funciones florales; pero generalmente se restringe su sentido al estudio de las relaciones que se establecen entre las flores y los insectos polinizantes, así como de todas sus peculiaridades de la estructura floral (síndromes florales) con la polinización y durante el proceso de antesis (Font Quer, 1979). La antesis comprende el periodo en el cual la flor se expande completamente, desde la liberación del polen, receptibilidad del estigma, la polinización y el desarrollo de los tubos polínicos dentro del estilo hasta la fecundación (fase progámica) (Esau, 1977).

2.2.1. Estructura de la Flor.

La flor es un conjunto de partes (órganos) estériles y fértiles o reproductores dispuestos sobre un eje, el receptáculo. Las partes estériles son los sépalos que forman el cáliz y los pétalos que forman la corola; cáliz y corola en conjunto son llamados perianto. Si el perianto no se diferencia en cáliz y corola, los miembros individuales son llamados tépalos. Las partes reproductoras son los estambres (microsporofilos) y los carpelos (megasporofilos). Los estambres constituyen el androceo y los carpelos el gineceo. La disposición de las partes florales sobre el eje y la relación de las partes entre sí son muy variables y las variaciones son particularmente importantes en los estudios taxonómicos y filogenéticos de las flores. Si la flor se considera como un vástago modificado, las diferencias en la estructura floral pueden ser interpretadas como desviaciones en diversos grados a partir de la forma básica del vástago, y en este sentido, cuanto mayor es la desviación, más especializada es la flor (Esau, 1977).

Las cactáceas, a lo largo de su evolución, han desarrollado una anatomía característica de las flores, las cuales propiamente, están formadas por un tallo modificado, donde el ovario se encuentran dentro de este, formando una sección denominada “pericarpelo”; en diversos casos, el tallo se extiende mas allá del ovario y forma una sección denominada “tubo receptacular”; en la parte más distal, este tallo se extiende y se ensancha en forma de copa, formando otra sección denominada “garganta”, donde se encuentran insertados los elementos del perianto (figura 1).

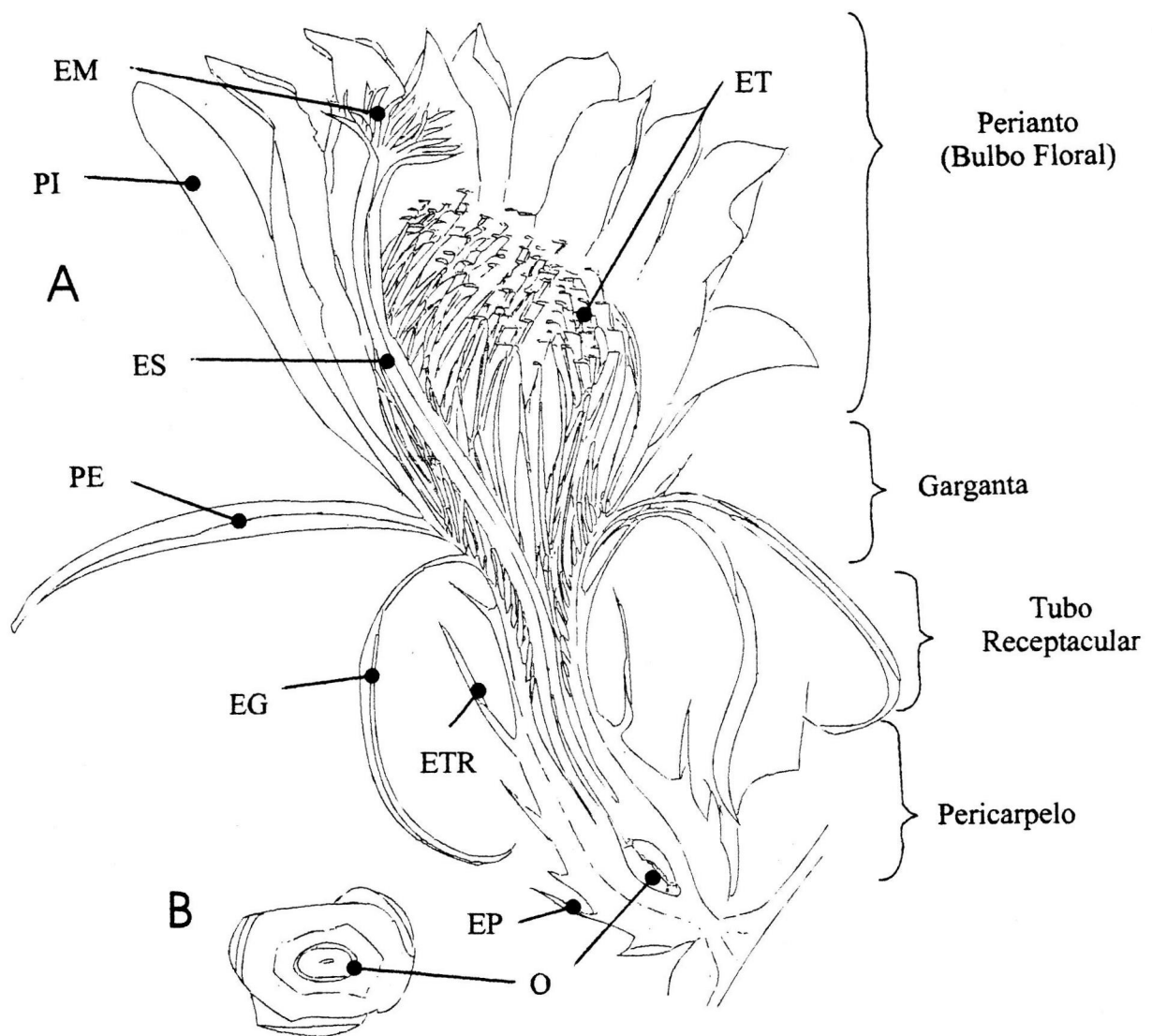


Figura 1. Secciones en que se divide la flor de pitahaya *Hylocereus* sp, y estructuras que la componen. A, corte longitudinal; B, corte transversal del pericarpelo; EG, escamas de la garganta; EM, estigma; EP, escamas del pericarpelo; ES, estilo; ET, estambres; ETR, escamas del tubo receptacular; O, ovario; PE, perianto externo; PI, perianto interno.

El pericarpelo, tubo receptacular y garganta se encuentran cubiertos de elementos de naturaleza foliosa y carnosa que se denominan “escamas”, y de esta misma naturaleza proviene el perianto, el cual se divide en externo, que se encuentra constituido por petaloides de semejanza a las escamas, e interno, que se encuentra constituido en su mayoría por pétalos y por elementos petaloides (figura 1). Entre las escamas localizadas en el pericarpelo, tubo receptacular y garganta, no existe una clara división, siendo gradual el cambio, variando solo en su longitud; los del pericarpelo son más cortos y los de la garganta más largos. Entre las escamas de la garganta y el perianto externo también existe un cambio gradual (Bravo-Hollis, 1978).

2.2.2. Floración.

Dentro de la familia de las cactáceas existe una gran variedad en cuanto al número de periodos de floración, ya que algunas especies pueden presentar desde uno hasta varios en un solo año. Estos periodos de floración pueden ser compactos (en unos días abrirse una gran cantidad de flores) o dispersos. Castillo y Ortiz (1994), en *H. undatus*, observaron tres periodos de floración bien definidos, esto en Zaachila, Oax (mayo-julio), mientras que Ramírez (1995) observó siete periodos de floración, donde en el 3º al 5º se abrió el 80 % del total de flores, pero para la región de Tehuacán, Pue (marzo-septiembre, y del 3º al 5º, mayo-julio). En pitahaya “solferina” (*Hylocereus* sp), en Xochitlán, Pue, los periodos de floración no son compactos, aunque si están algo definidos y se presentan desde marzo hasta agosto (Páez, 1995). En Nicaragua, en la Meseta de Carazo, Maltez (1994), ha observado varios periodos de floración, dispersos entre los meses de abril y septiembre. Bajo invernadero, en Negev, Israel, *Hylocereus* spp presentó tres periodos definidos de floración de mayo a octubre (Weiss *et al.*, 1994).

2.2.3. Apertura Floral.

Las flores de cactáceas pueden abrirse por la mañana (diurnas) o al anochecer (nocturnas) y permanecer así desde unas horas hasta algunos días (Bravo-Hollis, 1978). En pitahaya, la apertura floral y la duración de este evento puede variar de acuerdo a la temperatura y humedad ambiental, pero en general se inicia al final de la tarde, entre las 7 y 8 horas de la noche y finaliza

de 3 a 8 horas después de la salida del sol (Castillo y Ortiz, 1994; Jiménez *et al.*, 1997; Páez y Ramírez, 1997; Ramírez, 1995; Weiss *et al.*, 1994).

2.2.4. Polinización.

En general dentro de las cactáceas, se lleva a cabo la polinización cruzada, que garantiza una variación genética en la progenie (Gibson and Nobel, 1986). Sin embargo, algunos miembros de la familia pueden presentar otros sistemas de polinización, como es la autogamia en *Lophophora*, *Arthrocereus* (Rowley, 1980), *Fraylea* (Taylor, 1976), *Hylocereus undatus* (Jiménez *et al.*, 1997) y *Rebutia* (Ganders, 1976). En *Fraylea* y en *Melocactus* se presenta debido al fenómeno de cleistogamia, forzándose la autopolinización (Rowley, 1980; Gibson and Nobel, 1986).

La polinización cruzada en parte es fomentada por la presencia del fenómeno de hercogamia o heterodistilia ginoica (mayor longitud del estilo con respecto a las anteras, donde las anteras no tocan el estigma) en estas especies, que además pone de manifiesto una marcada dependencia de polinizantes bióticos para la dispersión de polen (Cota, 1994); este fenómeno presente en *Hylocereus* sp (Páez y Ramírez, 1997), *H. costaricensis*, *H. polyrhizus* (un clon por cada especie) e *H. undatus* (dos clones) (Weiss *et al.*, 1994) es un factor que influye sobre el bajo amarre de frutos.

2.2.4.1. Polinización natural.

En las cactáceas los agentes polinizantes pueden variar de acuerdo a las características de las flores, pudiendo ser: abejas, aves (colibríes y pichones), mamíferos (murciélagos) y/o lepidópteros; dentro de cada género o grupo, generalmente un tipo de polinizante es el principal dispersor de polen, sin llegar a excluir la presencia de algún otro de los agentes polinizantes (Rowley, 1980). En el género *Hylocereus* Castillo y Ortiz (1994) y Páez y Ramírez (1997), mencionaron la presencia de abejas en las flores, a la mañana siguiente de abrirse, que en apariencia contribuyen en la polinización de las mismas.

Dentro de poblaciones de cactáceas compuesta de diferentes especies, es frecuente que lleguen a compartir polinizantes; sin embargo, las polinizaciones interespecíficas difícilmente llegan a ser viables, debido a la presencia de barreras de aislamiento floral; estas pueden ser: variaciones en la anatomía floral y fenología de la floración; variaciones en el comportamiento de los polinizantes; y cambios en el número y estructura de los cromosomas (Cota, 1994).

Entre algunas cactáceas que comparten polinizantes y presentan periodos de floración paralelas se ha observado intercambio de polen sin que se realicen hibridaciones por la falta de compatibilidad, ya sea a nivel subfamilias (Opuntioideae y Cereoideae, Del Castillo, 1994); entre géneros de la misma tribu (*Lemaireocereus* y *Carnegiea*, Alcorn *et al.*, 1962) o entre el mismo género (entre *Echinocereus enneacanthus*, *E. reichenbachii* y *E. papillosus*; Beckenridge and Miller, 1982). Sin embargo, en complejos del género *Echinocereus* se ha observado un cierto grado de intercambio de polen entre especies (xenogamia) con un 50 a 80 % de formación de semillas (Beckenridge and Miller, 1982; Leuck and Miller, 1982).

Cruz (1994b), mencionó que de los materiales sobresalientes de México, *H. undatus*, *H. purpusii* y una especie denominada regionalmente como “solferina” (*Hylocereus* sp), presentan porcentajes de amarre de frutos de 100, 25 y menores de 1 % en polinización libre, respectivamente.

2.2.4.2. Polinización artificial de cactáceas

En diversas especies de cactáceas cultivadas en invernaderos se han realizado hibridaciones; entre los años de 1824 y 1881, se obtuvieron híbridos entre *Heliocereus speciosus*, *Nopalxochia phyllanthoides*, *N. ackermanii*, *Aporocactus flagelliformis*, *Selenicereus gandiflorus* y *Epiphyllum crenatum* (pertenecientes a la misma tribu de *Hylocereus*); a partir de estos trabajos se realizaron retrocruzas entre híbridos y especies (Backeberg, 1962). Haselton (1946), mencionó que en algunos de los híbridos ornamentales más difundidos del género *Epiphyllum*, se usó *Hylocereus undatus* como progenitor.

Weiss *et al.* (1994) con el propósito de obtener frutos, realizaron cruzamientos mutuos entre *Hylocereus polyrhizus*, *H. costaricensis* e *H. undatus*, observando 100 % de prendimiento en todos los casos.

2.2.5. Fase Progámica.

El proceso de la fase progámica se inicia con la llegada de los granos de polen a la superficie del estigma y su germinación en el mismo, continúa con el desarrollo del tubo polínico sobre la superficie del estigma, la penetración y desarrollo del mismo dentro del estilo y de la cavidad ovárica y finaliza con la penetración del óvulo a través del micrópilo, en donde ocurre la penetración del saco embrionario (Knox *et al.*, 1986). Una característica específica del tubo polínico desarrollado en el estilo, es la formación regular de tapones de calosa, un polisacárido, a diferentes intervalos en la sección más madura del tubo polínico (la más cercana al grano de polen), que utilizando azul de anilina y el microscopio de fluorescencia pueden ser fácilmente detectadas (Williams and Knox, 1982; Weller and Ornduff, 1989)) o con lacmoide y microscopio óptico con luz blanca (Currier, 1957; Ramming and Hinrichs, 1973).

La duración de la fase progámica varía de acuerdo a la especie que se trate, y depende directamente de la longitud del estilo, es decir, de la distancia que debe de recorrer el gameto masculino para fecundar el saco embrionario, y en cualquier caso, debe durar menos que la viabilidad de los óvulos. Generalmente la viabilidad de los óvulos es de mayor duración que la fase progámica y generalmente por un periodo de tiempo muy superior que le sirve como protección para garantizar la fecundación del saco embrionario, aun cuando la polinización no se efectúe en el momento de la apertura floral (Knox *et al.*, 1986). Este periodo de mayor oportunidad de fecundación, originado por la diferencia en la duración de tiempo entre la viabilidad de los óvulos y la fase progámica, se conoce como periodo de polinización efectiva (PPE) (Williams, 1965).

El desarrollo del tubo polínico de varias especies con polen binucleado se ha observado con dos fases diferentes; Primero presenta un periodo de desarrollo lento, probablemente

sustentado con la reserva del grano del polen y posteriormente se desarrolla más rápidamente, quizás, involucrando una nutrición heterotrófica mediante las células del tejido estilar (Mulcahy and Mulcahy, 1983). El polen trinucleado, aparentemente presenta una sola fase de desarrollo, rápida y uniforme (Knox *et al.*, 1986).

2.2.6. Doble fecundación.

Después de haberse llevado a cabo la fase progámica, con la penetración del tubo polínico en el saco embrionario, se lleva a cabo la doble fecundación del gameto femenino. De acuerdo a los estudios realizados por Jensen (1974), el tubo polínico penetra el saco embrionario a través de una de las células sinérgidas que se ha degenerado y los gametos masculinos son liberados dentro de ésta célula, y posteriormente entran en el espacio periplásmico, entre las membranas de la célula huevo y la célula central. Momentos después, ocurre la fusión de las dos células espermáticas con la célula huevo y la célula central, y consecuentemente se unan los núcleos de estas células.

2.2.7. Incompatibilidad Sexual.

En diversas especies de plantas la polinización ocurre normalmente, pero los granos de polen no germinan, o bien, si llegan a germinar, los tubos polínicos después de un periodo de desarrollo inhiben su crecimiento y no llegan a fecundar los óvulos; cuando se presenta cualquiera de estos fenómenos, se dice que existe incompatibilidad sexual. La incompatibilidad puede ser de dos tipos: gametofítica o esporofítica, dependiendo del sitio en donde se manifiesta la reacción de incompatibilidad (Shivanna and Mohan, 1993).

El sistema de incompatibilidad más común, es el sistema gametofítico multialélico de un locus. Los alelos son determinados por un locus S. Un alelo es expresado por el estigma y el estilo, y otro es expresado por el grano de polen haploide. Si el alelo S del polen es igual al alelo S del gineceo, la fecundación no ocurre. La incompatibilidad ocurre con la inhibición del desarrollo del tubo polínico dentro del estilo. Este sistema es típico de granos de polen binucleados con gran periodo de viabilidad y papilas del estigma húmedas. En el sistema de

incompatibilidad esporofítico, la antera diploide confiere sustancias al grano de polen, responsables de la reacción de incompatibilidad. Los granos de polen en una flor exhiben el mismo genotipo que el del estigma, por lo que son incompatibles. La reacción de incompatibilidad ocurre comúnmente con la inhibición del grano de polen a nivel del estigma. Este sistema es característico de especies con granos de polen trinucleados, de corta viabilidad y estigmas secos, cubierto por una cutícula (Richards, 1986). Ganders (1976) mencionó la probable existencia de este sistema de incompatibilidad en las cactáceas, ya que estas presentan granos de polen trinucleados.

De ocurrir este fenómeno, se hace necesaria la polinización cruzada, por lo que es fundamental que los agentes polinizantes se encuentren en el número necesario para realizarla y que exista la disposición de polen compatible con el estigma receptivo (Dumas *et al.*, 1985).

En el género *Hylocereus* se han encontrado diferentes respuestas de compatibilidad. Jiménez *et al.* (1997), observaron a un clon cultivado de *H. undatus* como autocompatible., Páez (1995), en el tipo solferina, encontró una respuesta variable de semi-autocompatibilidad, ya que obtuvo desde 0 hasta 40 % de amarre al realizar autopolinización, dependiendo de la hora (desde 4 h antes de la apertura floral y hasta 8 h después de su apertura) y época de realizadas (seca, inicio de lluvias y lluvias), siendo el mayor amarre cuando más cerca fue hecha la polinización de la apertura floral y en el periodo de lluvias. Weiss *et al.* (1994), un clon de *H. polyrhizus* y un clon de *H. costaricensis* los observó como autoincompatibles y a dos clones silvestres de *H. undatus* como semi-autocompatibles, ya que obtuvo de 50 a 79.6 % de amarre de frutos al autopolinizarlos.

2.2.8. Amarre de Frutos.

Las causas que influyen sobre la cantidad de frutos amarrados a partir de las flores abiertas, pueden dividirse en dos grandes grupos: los relacionados con la polinización o transferencia de polen y los relacionados con la planta madre o formadora de frutos.

En casi todas las especies vegetales, el amarre de frutos, esta directamente influenciada por la polinización de las flores. En estos casos es necesario que los granos de polen lleguen al estigma de las flores, germinen y se desarrollen dentro del estilo hasta llegar a los óvulos para fecundarlos; este proceso, en la mayoría de las plantas ocurre de manera natural, sin ningún problema y en apariencia parece sencillo de realizarse. Sin embargo, para que se realice estos procesos debe existir una perfecta coordinación entre los elementos que intervienen en la polinización y que funcionen adecuadamente. Durante el periodo de receptibilidad del estigma, debe de haber polen liberado, ya sea de la misma flor o bien, de otra; este polen debe llegar hasta el estilo en la cantidad necesaria, pudiendo ser por factores bióticos como animales y/o insectos, o por factores abióticos como el viento o el agua (Shivanna and Mohan, 1993).

Una vez que el polen llegó al estigma, para que se obtenga el amarre del fruto, la fase progámica se debe llevar a cabo normalmente, es decir, el polen debe de tener la capacidad de germinación (que no presente esterilidad o muerte prematura) y que el estigma presente la capacidad de hacerlo germinar (que este receptivo) (Pimienta, 1987).

En otros casos en donde ocurre la caída de las flores, no solo es debido a la falta de polinización o porque esta sea deficiente, sino a otros factores propios de la planta que recibe el polen. Puede ser que la polinización y el desarrollo de los tubos polínicos ocurran adecuadamente, pero los óvulos, al llegar los tubos, no presenten viabilidad. También puede presentarse el caso de que si exista fecundación de los óvulos, y el inicio del desarrollo de los frutos, por competencia entre estos y la poca disposición de la planta para proveer de carbohidratos a tal demanda, induzca el aborto de frutos aparentemente normales (Shivanna and Mohan, 1993).

Otro factor que influye sobre el amarre de los frutos es la condición nutrimental, ya que una adecuada cantidad de nitrógeno, provee una buena capacidad receptiva de las flores y de formación de fruto, debido a que se alarga la viabilidad de los óvulos. También, cuando existen deficiencias de boro y/o calcio, la capacidad germinativa del grano de polen y el desarrollo del tubo polínico disminuyen. En ambos casos, al alterarse el periodo de viabilidad

de los óvulos o de la fase progámica, se altera la duración del periodo de polinización efectiva, afectando directamente el amarre de fruto (Williams, 1970). En las cactáceas, estos factores no suelen ser determinantes sobre el amarre de los frutos, ya que después de que ocurre una polinización compatible, se forma el 100 % de las flores polinizadas (Gibson and Nobel, 1986).

El efecto de la temperatura ambiental durante el proceso de polinización y fecundación puede ser determinante, ya que temperaturas extremas disminuyen la capacidad del grano de polen para germinar, la capacidad receptora del estigma, el desarrollo del tubo polínico y la viabilidad de los óvulos; en cualquiera de estos casos, se altera el periodo de polinización efectiva, lo que puede disminuir la proporción de frutos amarrados (Pimienta, 1987).

III. MATERIALES Y METODOS.

3.1. UBICACIÓN DE LAS PLANTAS DE ESTUDIO.

Debido a la poca disposición de plantas de pitahaya con características homogéneas de desarrollo, los diferentes tipos de pitahaya con que se realizó el estudio, se ubicaron en diferentes localidades.

En la localidad de Santa Cruz Acapa, Pue, (en lo siguiente se referirá a esta comunidad como Acapa, Pue) se trabajó con dos clones: el tipo blanca cultivada y el tipo roja. Estas plantas se encontraron como cultivo de traspatio, de más de 10 años de establecidos y no tienen ningún manejo de cultivo. Santa Cruz Acapa se encuentra en la coordenada 18° 23' latitud norte y 97° 19' longitud oeste, a 1, 238 msnm. tiene un clima de tipo BS1 hw (w)(i') gw", de precipitación anual promedio de 356.4 mm y una temperatura media anual de 23.0° C (García, 1988).

En la localidad de Xochitlán de Todos los Santos, Pue, (en lo siguiente se referirá como Xochitlán, Pue) se trabajó con dos clones: el tipo blanca cultivada y el clon solferina XO. Estas plantas se encontraron como cultivo de traspatio de más de 15 años de establecidos, que no tienen ningún manejo propio de cultivo. Esta comunidad se encuentra en la coordenada 18° 42' latitud norte y 97° 46' longitud oeste, a 1, 925 msnm. Presenta un clima de tipo BS1 kw (w)(i') gw", de precipitación anual promedio de 615.4 mm y una temperatura media anual de 17.3° C (García, 1988).

En la localidad de Zacatlalmanco Huehuetl, D. F. (en lo siguiente se referirá a esta localidad como Zacatlalmanco, D. F.) se trabajó con el clon del tipo blanca cultivada (5 plantas), los dos clones del tipo solferina (7 plantas por clon), el clon del tipo roja (cuatro plantas) y los 9 clones del tipo blanca silvestre (por lo menos cuatro plantas por clon). Estas plantas son materiales de entre 5 y 7 años de establecidos con fines experimentales. Cada planta se desarrolló en envases

de polietileno de 15 l. de capacidad con sustrato constituido por tierra de monte y composta de hojarasca (3:7), dejándose desarrollar libremente. Se aplicaron podas de saneamiento, eliminando tallos amarillos o enfermos y se suministraron riegos hasta humedecer totalmente el sustrato, desde marzo, cada 15 días y hasta que se presentó el periodo de lluvias (mayo a junio). Las plantas se fertilizaron con 15 g de urea y 10 g de superfosfato de calcio triple, por envase al iniciar los riegos y con fertilizante foliar (Bayfolan forte) cada 30 días durante todo el año. Esta localidad se encuentra en las coordenadas 19° 24' latitud norte y 97° 07' longitud oeste, a 2, 257 msnm. Presenta un clima de tipo BS1 kw (w)(i') g, de precipitación anual promedio de 596.7 mm y una temperatura media anual de 16.1° C (García, 1988).

3.2. MATERIAL VEGETAL.

Se utilizaron trece clones de pitahaya (subrayados), agrupados en cuatro tipos:

Blanca cultivada, conocido en la región de Tehuacán, Puebla, como pitahaya blanca (en el presente trabajo se referirá a este clon como “tipo blanca cultivada”).

Roja, clon cultivado y conocido en la región de Tehuacán, Puebla, como pitahaya roja (en el presente trabajo se referirá a este clon como “tipo roja”).

Solferina XO y solferina TP, clones cultivados conocidos en la región de Tehuacán, Puebla, como pitahaya solferina; el primero se localizó en la comunidad de Xochitlán, Puebla y el segundo en Tepetzingo, Puebla (en el presente trabajo se referirá a estos clones como “tipo solferina” y solo se referirá a cada clon cuando sea necesaria la distinción).

Cuetza-B1, Cuetza-B2, Cuetza-B3, Cuetza-B7, Cuetza-B10, Cuetza-B11 y Cuetza-B12, clones colectados en la región selvática aledaña a la localidad de Cuetzalan, Puebla, durante 1991; y Teapa-B2 y Teapa-B3, colectados en estado silvestre en la región de Teapa, Tabasco, durante 1993 (en el presente trabajo se referirá a estos nueva clones como “tipo blanca silvestre” cuando se hable de ellos en forma general y se referirá a cada clon cuando sea necesario distinguirlos).

3.3. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES.

Debido a la falta de información existente sobre estas plantas, por cada uno de los clones estudiados, mediante diferentes variables, se realizó la caracterización de la planta en cuatro niveles: 1) características del tallo; 2) desarrollo floral y de fruto; 3) biología floral; 4) características del fruto y 6) características de la semilla.

3.3.1. Características del Tallo.

En los trece clones, de los cuatro tipos de pitahaya desarrollados en Zacatlalmanco, D F, entre abril y mayo de 1998, se tomaron las siguientes variables:

(1) Número de yemas. Se obtuvo contando las yemas presentes en las tres costillas de una sección de tallo. La sección de tallo de pitahaya se constituyó por la porción de tallo desarrollada en un periodo de crecimiento; esta sección se delimitó por las porciones de tallo que no presentaron tejido fotosintético de reserva, por lo que su diámetro en esta porción es menor, a modo de ahorcamiento, sin color verde y de cutícula cornificada (figura 2). El promedio se obtuvo de una muestra de 30 secciones de tallo.

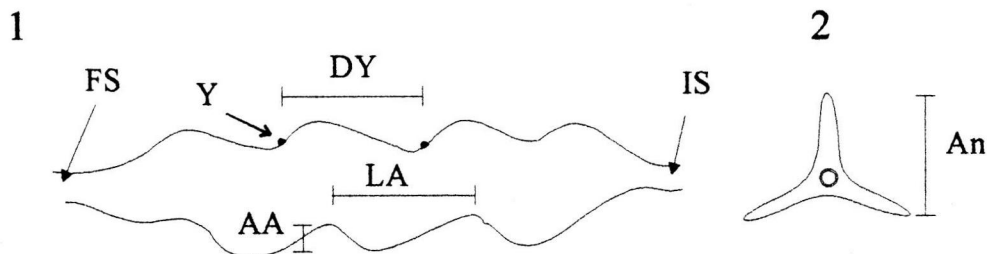


Figura 2. Características del tallo de pitahaya *Hylocereus* sp; 1, sección constituida por un flujo de crecimiento, de perfil; 2, corte transversal del tallo; AA, altura de arco; An, ancho del tallo; DY, distancia entre yemas; FS, fin de sección de tallo; IS, inicio de sección de tallo; LA, longitud de arco; PC, parte central de la sección; Y, yema.

(2) Distancia entre yemas. Se midió la distancia entre las yemas de una misma costilla y tomando solo en cuenta las yemas de la parte central de una sección de tallo (figura 2). Su promedio se calculó de una muestra de 10 secciones de tallo.

(3) Ancho del tallo. Se tomó en la parte central de la sección del tallo y desde el borde de la costilla superior y hasta la parte intermedia de las costillas inferiores (figura 4). Se seleccionaron 25 tallos de entre 6 meses a 1 año de haber cesado su crecimiento y de la parte más expuesta a la luz (parte superior de la planta).

(4) Vigor del tallo. Se consideraron más vigorosos los que presentaron mayor número de yemas, mayor diámetro y mayor distancia entre yemas por sección.

(5) Tipo de sinuosidad. Tomando como vértices del arco de la ondulación del borde del tallo a las areolas, se clasificó de acuerdo al tipo de curva con respecto al eje del tallo en tres categorías: cóncavo, convexo y recto (figura 3).

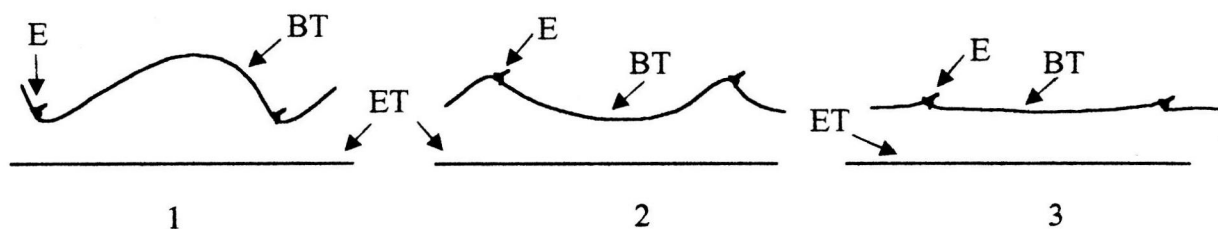


Figura 3. Tipos de arcos de la sinuosidad del borde del tallo presentes en el género *Hylocereus*. 1, Convexo; 2, Cóncavo; 3, Recto. BT, borde del tallo; E, areola; ET, eje del tallo.

(6) Altura de arco. Se midió con un vernier (Scala) la distancia entre la cresta y la base del arco (figura 2) formado en el borde del tallo de la parte central de la sección del tallo, tomando como base del arco a la línea recta resultante entre los vértices del arco. El promedio se obtuvo de 20 arcos medidos en 5 tallos.

(7) Índice de sinuosidad. Se calculó dividiendo la altura del arco entre la distancia entre yemas (figura 2):

$$\text{Índice de Sinuosidad} = \text{Altura de Arco} / \text{Distancia Entre Yemas.}$$

El índice de sinuosidad, mientras más se acerca al valor 1, es más pronunciado. El promedio se obtuvo de 20 arcos medidos en 5 tallos.

(8) Número de espinas. Se tomó contando el número de espinas presentes en una areola. El promedio se calculó del total de areolas de diez secciones de tallo.

(9) Longitud de espina. Con la ayuda de un vernier se midieron las espinas de 30 areolas, desde su base hasta el ápice y se obtuvo su promedio.

(10) Intensidad de coloración. En los brotes vegetativos en desarrollo de la pitahaya se clasificó la coloración púrpura del meristemo. Se consideró intensidad de coloración muy fuerte cuando el ápice estaba de color rojo y la porción de tallo más próximo al ápice, presentaba predominancia del color rojo sobre el verde. Se considero intensidad de coloración baja cuando el ápice casi no presentaba coloración roja y el tallo en desarrollo más próximo al ápice presentaba coloración verde.

Las variables 1, 2, 3, 6, 7, 8 y 9, se analizaron mediante un diseño experimental completamente al azar, y las medias se compararon por medio de la prueba Tukey. A las variables 4 y 5, por su carácter cualitativo, no se les realizó análisis estadístico.

3.3.2. Desarrollo Floral y de Fruto.

El desarrollo, tanto de las flores como de los frutos, se caracterizó de acuerdo a la duración de cada evento y se expresó mediante las variables:

(11) Días entre el rompimiento de yema floral y la apertura floral.

(12) Días entre la apertura floral y el inicio de maduración de fruto.

(13) Días entre el inicio y el fin de la maduración de fruto.

En cada uno de los cuatro tipos de pitahaya se marcaron 20 yemas y se anotó la fecha del día de su rompimiento, de la noche de apertura de la flor, del inicio de maduración del fruto (aparición de coloración rojiza en la parte inferior del fruto) y del fin de la maduración (total coloración del fruto). Estas tres variables se observaron en el primer periodo de producción, durante la época cálida (entre abril y mayo de 1997) y en la época fresca del año (entre julio y septiembre de 1997), tomándose los datos de temperatura media de la estación climática.

En los tipos blanca cultivada y roja se observaron las yemas florales en Acapa, Pue; las yemas del tipo solferina se observaron en Xochitlán, Pue; y las yemas del tipo blanca se observaron en Zacatlalmanco, D. F.. Los frutos del tipo blanca cultivada se obtuvieron autopolinizando las flores; los frutos de los tipos roja y solferina se obtuvieron polinizando las flores con polen de blanca cultivada; los frutos del tipo blanca silvestre se obtuvieron polinizando las flores con polen de diferente clon del mismo tipo blanca silvestre. Los datos se analizaron entre los tipos de pitahaya en combinación con cada época, en un diseño factorial en completamente al azar y los promedios se compararon con la prueba de medias Tukey.

3.3.3. Biología Floral.

La biología floral de los tipos de pitahaya se describió en los puntos: a) periodos de floración; b) Características de la flor; c) apertura y senescencia floral; d) Características del polen; e) receptibilidad del estigma; f) periodo de polinización efectiva y g) viabilidad los óvulos.

3.3.3.1. Periodos de floración.

Número y distribución. La floración de los tipos blanca cultivada y roja se observó en Acapa, Pue, durante 1996 y 1997; la floración del tipo solferina, en Xochitlán, Pue (1996 y 1997) y en Zacatlalmanco, D. F., (1996 a 1998); y la floración de los clones del tipo blanca silvestre se observó en Zacatlalmanco, D. F., en los años de 1995 a 1998. El análisis fue comparativo sin la realización de análisis estadístico. Las floraciones se compararon entre los tipos blanca cultivada, roja y solferina de Xochitlán y entre los tipos blanca silvestre y solferina de Zacatlalmanco. En cada tipo de pitahaya se tomaron las variables:

(14) Número de periodos por año. Se contaron los periodos presentes en el año.

(15) Época y duración de cada periodo. Se anotó la fecha de apertura de las primeras flores de cada periodo y la fecha de apertura de las últimas flores.

(16) Porcentaje de flores abiertas por periodo. En cada periodo de floración, se contaron las flores abiertas y se calculó el porcentaje con respecto al total de flores abiertas en el año.

Coincidencia de flores entre tipos de pitahaya durante un periodo. En los periodos de floración de los tipos blanca cultivada, roja y solferina que se presentaron entre el 19 de mayo y 15 de junio de 1997 en Acapa y Xochitlán, Pue, se contaron diariamente las flores abiertas para conocer su distribución dentro de un periodo de floración, y se analizó la coincidencia de la apertura de las flores, mediante las variables:

(17) Porcentaje de días de la floración traslapados con la floración de otro tipo. Días de coincidencia de floración de un tipo de pitahaya con cualquiera de los otros dos.

(18) Porcentaje de flores que coincidieron con flores de otro tipo. Del número total de flores en el periodo, por cada tipo, se tomaron en cuenta las que coincidieron en su apertura con la de cualquiera de los otros dos tipos.

El análisis de las variables 43 a 47 fue descriptivo.

3.3.3.2. Características de la flor.

Se observaron 25 flores en los tipos Blanca cultivada y solferina colectadas el 23 de julio de 1997 en Xochitlán, Pue; 25 flores del tipo roja colectadas el 29 de junio de 1997 en Acapa, Pue; y dos flores por clon del tipo blanca silvestre colectadas entre mayo y junio de 1997 en Zacatlalmanco, D. F.. Las flores se describieron utilizando la metodología usada por Páez y Ramírez (1997) y Jiménez *et alii* (1997), y se evaluaron las siguientes variables:

(19) forma del brote floral. Observados a los 15 días del rompimiento de yema.

(20) Intensidad de coloración de brote. Se consideró fuerte cuando las escamas del brote floral presentaron en toda la superficie una coloración rojo púrpura, media cuando el borde de las escamas estaba coloreado y baja cuando solo el ápice de la escama presentaba coloración.

(21) Número de los elementos foliosos. Siguiendo la caracterización de la flor según Bravo-Hollis (1978), los elementos foliosos de la flor se contaron por cada uno de los cinco grupos de las secciones de la flor: Escamas del pericarpelo, escamas del tubo receptacular, escamas de la garganta, perianto externo y perianto interno.

(22) Longitud de los elementos foliosos. En cada grupo mencionado en la anterior variable, se midió la longitud de cada elemento folioso, desde su base, en el sitio de inserción sobre la flor y hasta el ápice y se obtuvo su promedio.

(23) Forma de los elementos foliosos. Observada principalmente en la parte apical y por cada grupo de las secciones de la flor.

(24) Número de estambres. Obtenido mediante el conteo del total de estambres por flor.

(25) Longitud de estambres. Tomada de 100 estambres por flor.

(26) Longitud del estilo. Desde la unión con el ovario y hasta la base del estigma.

(27) Número de lóbulos del estigma. Contados por cada estigma.

(28) Longitud de la cavidad ovárica. Medida al cortar longitudinalmente el pericarpelo.

(29) Diámetro de la cavidad ovárica. Medida al cortar transversalmente el pericarpelo.

(30) Número de hileras de óvulos por cavidad ovárica. Observadas y contadas de 15 flores con la ayuda de microscopio estereoscópico de disección (Carl Zeiss).

(31) Número de óvulos por hilera. Contados en 10 ovarios, 5 hileras por cada uno con la ayuda de microscopio estereoscópico de disección (Carl Zeiss).

(32) Número de óvulos por ovario. Estimado de acuerdo al promedio del número de óvulos por hilera y al número de hileras de óvulos por cavidad ovárica.

(33) Longitud de hercogamia. Se determino midiendo la distancia entre las anteras más cercanas al estigma y la base de los lóbulos del estigma.

Los valores de las variables 21, 22 y de 24 a 33 se analizaron mediante un diseño completamente al azar y las medias se compararon mediante la prueba Tukey.

3.3.3.3. Apertura y senescencia floral

Para caracterizar la biología floral, en cada uno de los cuatro tipos de pitahaya, blanca cultivada, roja, solferina y blanca silvestre, se observaron 25 flores, desde la mañana anterior a la noche de apertura y hasta el día siguiente. De acuerdo a los parámetros desarrollados por Páez (1995) y Jiménez (1995), se identificaron las etapas de la apertura floral siguientes, anotándose la hora en que se observaron:

(34) Bulbo floral.

(35) Dehiscencia de anteras.

(36) Inicio de la receptibilidad del estigma.

(37) Inicio de la apertura floral.

(38) Fin de la apertura floral.

(39) Flor cerrada.

(40) Fin de la receptibilidad del estigma.

En la mañana siguiente de la noche de apertura, se observó la visita de agentes polinizantes. Los diferentes tipos de insectos se colectaron y se fijaron en alcohol al 70 %, para posteriormente identificarse.

Las flores de los tipos blanca cultivada y roja, se observaron en Acapa, Pue, entre el 2 y 3 de mayo de 1997; las flores del tipo solferina, en Xochitlán, Pue, entre el 29 y 30 de abril

de 1997; y las flores del tipo blanca silvestre, en Zacatlalmanco, D. F., entre el 7 y 12 de junio de 1997. Las características se analizaron comparativamente, sin análisis estadístico, entre los diferentes tipos de pitahaya.

Posteriormente, en Xochitlán, Pue, entre el 20 y 22 de julio de 1997, se observó la frecuencia de visita de los agentes polinizantes identificados en las flores de pitahaya. A la mañana siguiente de la noche de apertura de las flores, a partir de las 6:30, a intervalos de 1 h y hasta las 12:30 h se observaron 938 flores (182, 289 y 390 del tipo blanca cultivada y 25, 21 y 31 del tipo solferina). La relevancia de cada uno de los agentes polinizantes observados se determinó mediante las variables:

(41) Porcentaje de flores visitadas. Se contó el número de flores que fueron visitadas y se calculó su porcentaje con respecto del total de flores observadas.

(42) Número promedio de polinizantes por flor. Se contó en número de individuos por cada flor del muestreo.

(43) Tiempo promedio de permanencia. Durante el muestreo, se contó con cronómetro, el tiempo de permanencia del agente polinizante, por individuo y se expresó en segundos.

3.3.3.4. Características del polen.

Para conocer el poder de germinación del grano de polen, en los tipos blanca cultivada, roja y solferina, ubicados en Zacatlalmanco, D. F., entre el 12 y 15 de mayo de 1977, se estudió la germinación, a partir de la apertura floral, en condiciones ambientales normales y de conservación en refrigeración formando los siguientes tratamientos, en un diseño completamente al azar:

1. Flores en su ambiente normal (a la intemperie) como testigo.
2. Flores cortadas y conservadas a temperatura ambiente en cuarto cerrado (18° C).
3. Polen colectado en el momento de la apertura floral y conservado en cinco temperaturas diferentes: a) 18°, b) 5°, c) 0°, d) -5° y e) -10° C.

El polen colectado (punto 3) se depositó en tubos de ensaye de 30 ml tapado con algodón y dentro de frascos con un sobre con 16 g de cloruro de calcio (Sigma Chemical Co. C 1016) como desecante (30 % de HR, medida con un termómetro húmedo-seco de mercurio Widder). Los tratamientos de conservación en las temperaturas de 5°, 0°, -5° y -10°, se aplicaron mediante refrigeración (General Electric).

Por cada tratamiento y tipo de pitahaya, se sembró el polen (tres repeticiones) en un medio de cultivo semi-sólido, a intervalos de tiempo de cuatro horas, desde el momento de la apertura floral, 0 hdaf (horas después de la apertura floral), y hasta 72 hdaf. El medio de cultivo se formuló con ácido bórico a 100 ppm (Sigma Chemical, Co B 0252, 99.9 de pureza), sacarosa al 12 % (azúcar común) y agar 0.7 % (Sigma Chemical, Co A 6549, 99.8 de pureza), ajustado a un pH de 5.5, en cajas petri.

Después de realizada la siembra, las cajas petri se colocaron a temperatura ambiente (entre 18 y 20° C) en cuarto cerrado, con iluminación normal. Dos horas después de la siembra, las cajas petri sembradas se observaron en un microscopio estereoscópico de disección (Carl Zeiss) con aumento de 4.5 X y se contó el número de granos germinados y el total por campo focal (10 muestreos por caja petri).

El poder de germinación del polen, en cada uno de los tratamientos, se evaluó mediante las variables:

(44) Porcentaje de germinación. Tomado del polen colectado en el momento de la apertura floral.

(45) Longevidad de los granos de polen. Determinada, según el tiempo en que los granos de polen aun germinaron.

Los granos de polen colectados anteriormente, se estudiaron estructuralmente, por medio de microscopio electrónico de barrido (MEB), entre el 15 y 30 de octubre de 1998.

Para observar los granos de polen en el MEB, se colocaron sin ninguna preparación previa, sobre un portaobjetos de aluminio, sujetándolos con cinta de carbón de adhesivo por

ambos lados. Cada muestra se cubrió con oro para proteger y hacer a la muestra conductiva con una Ionizadora EMITECH K 550 por 90 segundos a 15 mA.

Las muestras se observaron en un microscopio S-2460N Hitachi en alto vacío con aceleración de voltaje de 10 KV y detector de electrones secundarios. El grano de polen completo se observó a 1 250 X y las estructuras de la exina en 3 500 X, tomándose fotografías en cada una de las observaciones. El polen se caracterizó mediante las variables:

(46) Diámetro ecuatorial.

(47) Longitud y (48) diámetro de microespinas.

(49) Densidad de microespinas. Por 100 μm^2 .

(50) Diámetro de poros.

(51) Densidad de poros. Por 100 μm^2 .

Estas variables se calcularon utilizando un vernier (Scala 4761) y basándose en la unidad de medida impresa en la fotografía. Los datos de las variables 46 a 51 se analizaron mediante un diseño experimental completamente al azar y los promedios se compararon con la prueba de medias Tukey.

3.3.3.5. Receptibilidad del estigma, periodo de polinización efectiva (PPE) y viabilidad de los óvulos.

Estas características se estudiaron en los tipos blanca cultivada y solferina. En 39 flores del tipo blanca cultivada se llevaron a cabo autopolinizaciones en los siguientes intervalos de tiempo: 0, 1, 2, 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36 y 40 hdaf (horas después de la polinización), cada una repetida tres veces. Este ensayo se realizó en Xochitlán, Pue, entre el 20 y 22 de julio de 1997. En el tipo solferina se llevaron a cabo autopolinizaciones (en 42 flores) y polinizaciones cruzadas (PC), utilizando polen de blanca cultivada (en 42 flores), a las 0, 1, 2, 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36, 40 y 48 hdaf (tres repeticiones en cada intervalo). El ensayo se realizó en dos ocasiones, una en la localidad de Xochitlán, Pue, (20 a 22 de julio de 1997) y la otra en la localidad de Zacatlalmanco, D. F., (24 a 26 de julio de 1997). En la

polinización de las flores se utilizó la metodología desarrollada por Páez y Ramírez (1997) y Jiménez *et alii* (1997).

Receptibilidad del estigma. En las flores del tipo blanca cultivada y en las de PC del tipo solferina, de Xochitlán, Pue, y Zacatlalmanco, D. F., se colectó la mitad de tres lóbulos por estigma, tres horas después de realizada la polinización y se fijaron en una solución FAA. Esta solución estuvo constituida con formaldehído al 37 % (J T Baker, 2106-02, 36.6 % de pureza), ácido acético glacial (J T Baker, Co. 9507-02, 99.7 de pureza), etanol al 50 % (J T Baker, Co 9000-18, 99.9 de pureza), en una proporción de 5:5:90 v/v.

Después de 24 h, los tejidos fijados en FAA se lavaron en agua corriente, después en etanol al 50 % y etanol al 70 % por un periodo de 24 h en cada una de las soluciones y se conservaron en una solución GAA, compuesta de glicerina (J T Baker, Co. 2136-02, 99.8 de pureza) agua destilada y etanol al 50 % en la proporción 25:25:50 v/v, hasta su observación.

Para su observación, cada lóbulo se colocó en un portaobjetos y se aplicó la técnica de tinción con azul de anilina acidificada. Después se colocó el cubreobjetos, se aplasto el tejido y se observó en microscopio óptico (Carl Zeiss) con luz blanca y un filtro azul, a 10 X (Kearns and Inouye, 1993). En cada lóbulo del estigma se realizó la cuantificación de los granos de polen germinados y el total de granos por campo visual (10 muestreos). la receptibilidad del estigma se determinó mediante la variable:

(52) Periodo de receptibilidad del estigma. Establecido de acuerdo al periodo en que se observó germinación en los lóbulos del estigma.

Azul de anilina acidificada: se preparó una mezcla de dos colorantes: una solución de 0.1 % de azul de anilina (J T Baker, B362-03) con unas gotas de ácido clorhídrico (J T Baker, 98.9 de pureza) hasta que se tornó oscura (solución 1) y una solución de acetocarmín al 1 %, formulada con ácido acético al 40 %, la cual se hirvió agregándole carmín (Certistain, Merck) y dejándose en el hervor por 30 minutos (solución 2); se agregó una gota de cada solución en

el tejido y se dejó reposar por 10 minutos (Cruzan, M; citado por Kearns and Inouye, 1993); con este colorante se tiñó el citoplasma del tubo polínico de color azul oscuro.

Periodo de polinización efectiva. Se determinó tomando en cuenta hasta cuando se presentó el amarre de frutos de las flores polinizadas, según el intervalo de tiempo en que se llevó a cabo la polinización y se determinó por medio de las variables:

(53) Porcentaje de amarre. Calculado con el número de frutos amarrados con respecto a las flores polinizadas.

(54) Porcentaje de semillas formadas. Calculado con el número de semillas por fruto y con respecto al número promedio de óvulos por ovario de la flor (estimado en la variable 24). Las semillas se extrajeron utilizando la metodología descrita en la variable 35.

Viabilidad de los óvulos. Se determinó con la variable:

(55) Porcentaje de óvulos viables. Se determinó basándose en el porcentaje de semillas formadas (variable 54) del periodo de polinización efectiva, tanto del tipo blanca cultivada y del tipo solferina con PC, de Xochitlán, Pue y Zacatlalmanco, D. F., en los diferentes intervalos de tiempo, para lo cual se aplicó el concepto:

$$\text{Viabilidad de óvulos} = \text{periodo de polinización efectiva} + \text{fase progámica.}$$

Por lo que al tiempo en que se realizó la polinización, con respecto de la hora de apertura floral, se le sumó el tiempo en que se llevó a cabo la fase progámica, en cada caso (tipo blanca cultivada o tipo solferina), estimándose el porcentaje de óvulos viables, después de la hora de apertura floral.

Los datos obtenidos en la receptibilidad del estigma, PPE y viabilidad de los óvulos se analizaron comparativamente sin la realización de análisis estadístico.

3.3.3.6. Fase progámica.

En los tipos blanca cultivada, roja y solferina se observó con el desarrollo de los tubos polínicos *in vivo*, hasta que estos llegaron a la penetración de los óvulos. Para poder observar esta fase, se polinizaron flores en el momento de su apertura (30 por cada tipo), anotándose la hora exacta de su realización. Para el tipo blanca cultivada se utilizó polen de solferina y para los tipos solferina y roja se utilizó polen de blanca cultivada; en ambos casos se siguió la metodología de polinización utilizada por Páez y Ramírez (1997) y Jiménez *et al.* (1997). Las flores de los tipos blanca cultivada y roja se polinizaron en Acapa, Pue, durante el 4 y 5 de mayo de 1997, y las del tipo solferina se polinizaron en Xochitlán, Pue, durante el 29 y 30 de abril de 1977.

Después de realizadas las polinizaciones, se fueron colectando los gineceos de las flores a las 1, 2, 6, 12, 24, 36, 48, 60, 72 y 94 hdp (horas después de la polinización) eliminando cuidadosamente el tejido del pericarpelo para no romper la cavidad ovárica, y se dividió en tres secciones de la misma longitud: sección del estigma, sección media y sección del ovario (figura 4). Inmediatamente después, se fijaron en una solución FAA y se siguió el proceso de lavado y conservación descrito para la receptibilidad del estigma.

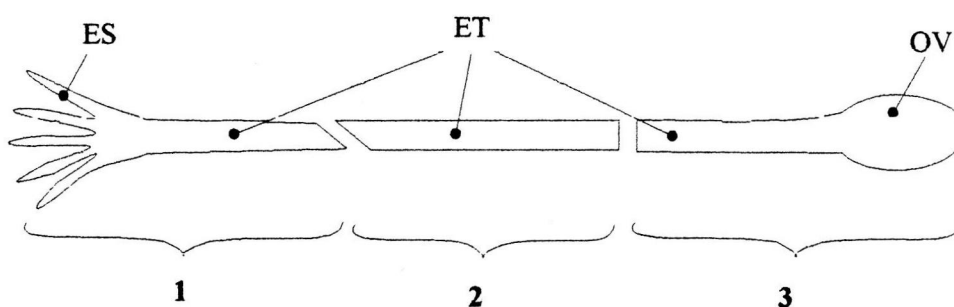


Figura 4. Secciones en que se dividió el gineceo de pitahaya. 1, sección del estigma; 2, sección media; 3, sección del ovario. ES, estigma; ET, estilo, OV, ovario.

Para observar los tubos polínicos se tomaron trozos de las tres secciones, comenzando por la sección del estigma y se cortó longitudinalmente hasta el canal estilar. Una vez dividido

longitudinalmente se separó por el corte y se extrajo el canal estilar; éste canal se dividió a lo largo en cuatro secciones y se colocaron en portaobjetos cada una por separado (Figura 5). En cada portaobjetos se agregó azul de anilina acidificada para observar las puntas de los tubos. Después se colocó el cubreobjetos y se aplastó el tejido para observarse en microscopio óptico (Zeiss) con los objetivos 10 X y 40 X. Para determinar la distancia recorrida por los tubos polínicos en los diferentes intervalos de tiempo, se tomó como referencia las puntas de los primeros tubos polínicos desarrollados en los estilos.

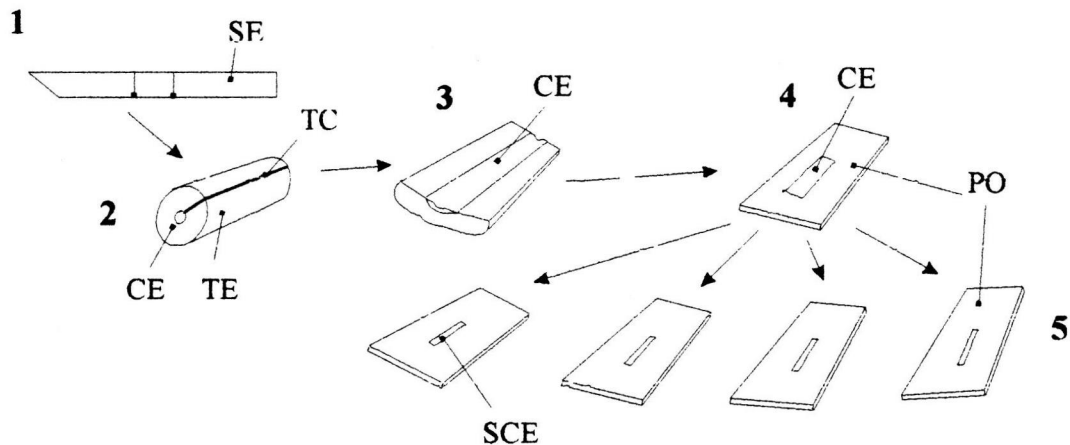


Figura 5. Seccionado del estilo para observar los tubos polínicos. 1, Corte de un trozo de la sección del estilo (2 cm); 2, corte longitudinal del trozo del estilo hasta el canal estilar; 3, Separación del estilo por el corte; 4, Separación del canal estilar y colocación sobre un portaobjetos para su división; 5, División longitudinal del canal estilar en cuatro secciones. CE, canal estilar; PO, portaobjetos; SCE, sección del canal estilar; SE, sección del estilo; TC, trazo del corte; TE, trozo de estilo.

De acuerdo a las preparaciones de tejido observadas, se tomó el tiempo (hda) en que los primeros tubos polínicos (TP) completaban las etapas de la fase progámica, como variables:

(56) Inicio del desarrollo de los (TP) entre las papilas del estigma.

(57) Entrada de los TP al canal del estilo.

(58) Llegada de los TP a la mitad del estilo:

(59) Entrada de los TP a la cavidad ovárica.

(60) Porcentaje de óvulos penetrados por los TP a las 94 hdp. Con respecto del número promedio de óvulos por ovario (estimados en la variable 24).

También se tomó la variable:

(61) Velocidad de desarrollo de TP. Expresada en mm/h.

Los tiempos registrados de las variables 73 a 78 se analizaron mediante un diseño experimental completamente al azar y los promedios se compararon por medio de la prueba de medias de Tukey.

Los granos de polen germinados en los lóbulos del estigma se observaron también mediante el uso de MEB, para lo cual se siguió la metodología de preparación de tejido descrita por Boyde (1972). Los estigmas con granos de polen se deshidrataron en una desecadora de punto crítico Mitech K850, colocándolos sobre un portaobjetos y dentro de la cámara secadora llenándola con CO₂ extraseco, manteniéndolo a 0° C. Después se llevó a punto de presión crítico de 1 250 bars y 35-40° C. durante 10 minutos. Posteriormente los lóbulos del estigma deshidratados se colocaron sobre un portaobjetos de aluminio, sujetándolos con cinta de carbón de adhesivo por ambos lados. Cada muestra se cubrió con oro para protegerla y hacerla conductiva, con una Ionizadora EMITECH K 550 por 90 segundos a 15 mA.

Las muestras se observaron en un microscopio S-2460N Hitachi en alto vacío con aceleración de voltaje de 10 KV y detector de electrones secundarios a 600 X. Para esta preparación se utilizaron 3 lóbulos del estigma del tipo solferina polinizados con polen de blanca cultivada, fijados en FAA y conservados en GAA.

3.3.4. Características de los Frutos.

La caracterización de los frutos de los tipos blanca cultivada, roja y solferina, se realizó con 25 frutos provenientes de polinización libre; los del tipo blanca cultivada y roja fueron

colectados en Acapa, Pue; los del tipo solferina en Xochitlán, Pue, durante el periodo de mayor producción (20 a 30 de junio de 1997). Para el tipo blanca silvestre se estudiaron diferente número de frutos por cada uno de los clones del grupo (Cuetza-B1= 6 frutos; Cuetza-B2= 7; Cuetza-B3= 6; Cuetza-B7= 12; Cuetza-B10= 8; Cuetza-B11= 10; Cuetza-B12= 7; Teapa-B2= 6; Teapa-B3= 10), obtenidos con polinización cruzada (con polen de diferente clon), durante mayo y cosechados en junio de 1997, en Zacatlalmanco, D. F.. Las variables evaluadas fueron:

(62) Peso. Obtenido en una balanza de precisión (Triple Beam Balance, OHAUS).

(63) Longitud y (64) diámetro de fruto. Se midieron con un vernier (Scala).

(65) Índice de redondez. Se calculó dividiendo la longitud del fruto entre su diámetro

(66) Número de escamas. Se contó el total de escamas por cada fruto.

(67) Color de cáscara. Se determinó visualmente.

(68) Porciento y (69) color de pulpa. El porciento de pulpa se calculó con el peso de la cáscara y de la pulpa y en base al peso total. El color se determinó visualmente.

(70) Grados Brix. Se obtuvo al licuar la pulpa hasta obtener jugo, y utilizando un refractómetro manual (Carl Zeiss, 114304)

(71) Número de semillas. Cada fruto por separado se sometió a un proceso de extracción de semillas que se realizó de la siguiente manera: En un envase se cortó la pulpa en trozos y con la ayuda de un procesador de alimentos (Braun Multipractic 4-172-B) de polaridad invertida para evitar el rompimiento de semillas, se licuó por espacio de 30 segundos. Las semillas se separaron de la pulpa por medio de una malla de 1 mm, se lavaron en agua corriente y se extendieron sobre papel secante. Una vez secas las semillas, se extrajeron mil y se pesaron en una balanza de precisión (Triple Beam Balance, OHAUS); el resto también se pesó de la misma forma. El número de semillas por fruto se calculó por extrapolación entre el peso de las mil semillas y el peso total de las semillas por fruto.

(72) Relación semilla-pulpa. Se determinó dividiendo el peso de la pulpa (en gramos) entre el peso total de sus semillas producidas (en gramos).

Las variables 62 a 66, 68 y 70 a 72, fueron analizadas mediante un diseño completamente al azar y las medias se compararon por medio de la prueba Tukey.

3.3.5. Características de la Semilla.

De las semillas extraídas en el punto anterior, se tomaron muestras para caracterizarlas, de acuerdo a la variable:

(73) Peso de semilla. Una muestra de mil semillas por fruto, se pesaron en una balanza de precisión (Triple Beam Balance, OHAUS); el peso se dividió entre mil, y se expresó en mg.

Mediante el uso de un microscopio electrónico de barrido (MEB), se observó la semilla y la estructura de la testa. Por cada uno de los clones de pitahaya, se tomaron 10 semillas y se lavaron por 5 minutos en los detergentes Dextran (1:20, en agua) y Twin 80 (1:20, en agua), agitando con un pincel de cerdas de hurón para evitar el rayado de la testa, se enjuagaron en agua destilada y se pusieron a secar. Posteriormente se colocaron sobre un portaobjetos de aluminio, sujetándolos con cinta de carbón con adhesivo en ambos lados. Cada muestra se cubrió con oro para proteger y hacer a la muestra conductiva con una Ionizadora EMITECH K 550, por 90 segundos a 15 mA. Las muestras se observaron en microscopio S-2460N (Hitachi) en alto vacío con aceleración de voltaje de 10 KV y detector de electrones secundarios.

La semilla completa se observó a 45 X en la posición de perfil por el lado del hilo y 40 X en la posición de lado para observar la forma. Las células de la testa se observaron en tres áreas: a) base del ala, b) parte intermedia y c) parte central; las tres áreas se observaron a 800 X. Por cada observación, se tomó una fotografía, y se tomaron las variables:

(74) Longitud de semilla y (75) longitud de hilo. Se calcularon por extrapolación, utilizándose un vernier (Scala 4761) y basándose en la unidad de medida impresa en la fotografía.

Características de las células de la testa:

(76) Forma de la célula. De acuerdo al número de lados y a la simetría.

(77) Presencia de trabéculas. En la unión entre las células, parte de la pared celular parecida a una varilla o carrete que se extiende radialmente a través del lumen de una célula (figura 6). Su presencia se clasificó visualmente en las categorías: fuerte, media, baja y nula.

(78) Presencia de puntuaciones. La puntuación es una depresión o cavidad en la pared celular donde la pared primaria no está cubierta por pared secundaria (figura 6). Su presencia se clasificó visualmente por su profundidad en las categorías: alta, media, baja y nula.

Las variables 73, 74 y 75 se analizaron mediante el diseño completamente al azar y las medias se compararon por medio de la prueba Tukey.

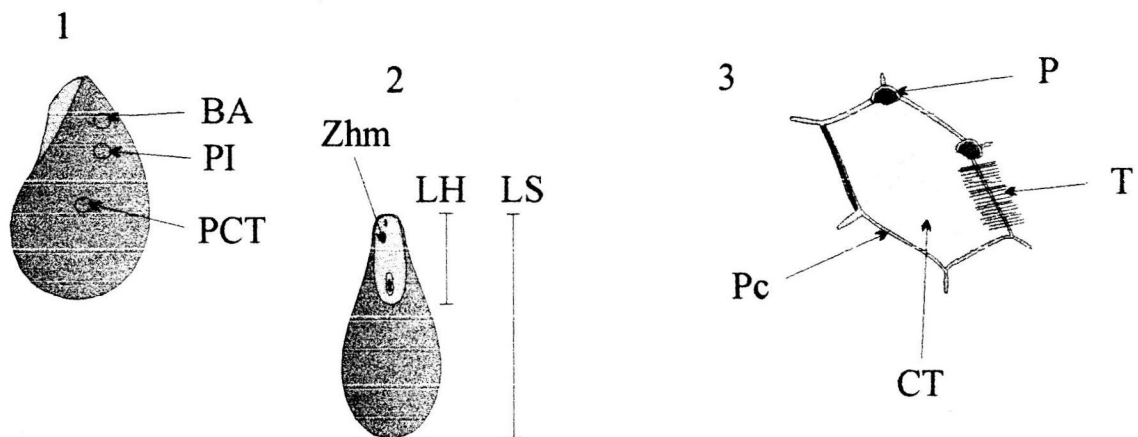


Figura 6. Características de la forma y de la testa de la semilla de pitahaya, *Hylocereus* sp. 1, vista de perfil; 2, vista de frente; 3, características de una célula de la testa. BA, base del ala; CT, célula de la testa; LH, longitud de hilo; LS, longitud de semilla; P, puntuación de la pared celular; Pc, pared celular; PCT, parte central de la testa; PI, parte intermedia de la testa; T, trabéculas; Zhm, zona hilo-micropilar.

3.4. POLINIZACIÓN ENTRE LOS TIPOS DE PITAHAYA.

3.4.1. Experimentos de Polinización.

En los tipos de pitahaya blanca cultivada, solferina y roja, se realizaron polinizaciones entre sí de manera recíproca formándose grupos por cada tipo:

- a. Blanca cultivada x Blanca cultivada (autopolinización, AP), Blanca cultivada x Solferina (polinización cruzada, PC), Blanca cultivada x Roja (PC).
- b. Solferina x Solferina (AP), Solferina x Blanca cultivada (PC), Solferina x Roja (PC).
- c. Roja x Roja (AP), Roja x Blanca cultivada (PC), Roja x Solferina (PC).

Las polinizaciones se realizaron entre la apertura floral y hasta las 4 horas después de la misma, utilizándose la metodología de emasculación y polinización usada por Páez y Ramírez (1997) y Jiménez *et al.* (1997). Para efectuar la polinización se colectó el polen de flores que abrieron simultáneamente. La colecta se realizó en el momento de la apertura floral, colocando una caja petri por debajo de las anteras y se sacudió la flor para provocar la caída del polen, tapándose y marcándose inmediatamente con marcador permanente. La polinización se realizó con la ayuda de un pincel de cerdas finas. Para evitar la contaminación de polen con otro de un tipo diferente al tratamiento de polinización, se utilizó un pincel diferente por cada tipo de polen y se sacudió cada vez que se realizó la polinización de una flor para evitar la contaminación con polen de la flor polinizada. En cada tipo de pitahaya se polinizaron cuarenta flores por cada tratamiento y se marcaron por lo menos sesenta flores, que se dejaron intactas para utilizarse como testigo (polinización libre).

Este experimento se repitió en dos ocasiones. La primera se llevó a cabo en la época de producción baja (entre 200 y 500 frutos en la huerta por tipo, entre el 21 de abril y 5 de mayo de 1997); las polinizaciones de los tipos blanca cultivada y roja se realizaron en Acapa, Pue, y las del tipo solferina en Xochitlán, Pue. La segunda repetición se llevó a cabo en la época de producción alta (entre 1 200 y 3 500 frutos en la huerta por tipo, entre el 22 y 25 de mayo de 1997); las polinizaciones del tipo roja se realizaron en Acapa, Pue, y las de los tipos blanca cultivada y solferina en Xochitlán, Pue.

Los tratamientos de polinización de cada tipo de pitahaya se establecieron en un diseño de serie de experimentos en bloques al azar generalizado; los bloques se establecieron de acuerdo al número de frutos por tallo (uno y dos frutos por tallo). El modelo utilizado fue:

$$Y_{ijk} = M + P_i + F_j + PF_{ij} + Bk(j) + E_{ijk}$$

Donde:

Y = Variable respuesta.

M = Media muestral.

P = Tratamiento de Polinización.

F = Periodo de Producción.

Bk = Bloque (número de frutos por tallo anidado en el periodo de producción).

PF = Interacción entre tratamiento de polinización y periodo de producción.

E = Error experimental

En el tipo solferina, en la localidad de Zacatlalmanco, D. F., se realizó un ensayo de polinización entre los dos clones existentes (solferina XO y solferina TP) formando los tratamientos: a) autopolinización; b) polinización cruzada. Estos tratamientos se repitieron en dos ocasiones, entre el 9 y 15 de mayo de 1997 (12 repeticiones por tratamiento) y entre el 12 y 20 de mayo de 1998 (31 repeticiones). Ambos experimentos se realizaron con un diseño de serie de experimentos completamente al azar y se utilizó el modelo:

$$Y_{ij} = M + P_i + A_j + PA_{ij} + E_{ij}$$

Donde:

A = Año de Producción.

PA = Interacción entre tratamiento de polinización y año de producción.

Entre los nueve clones del tipo blanca silvestre, en Zacatlalmanco D. F., se realizaron los siguientes tratamientos de polinización: a) autopolinización; b) con polen de diferente clon del tipo blanca silvestre; c) con polen de blanca cultivada; d) con polen de roja; e) con polen de solferina; f) polinización libre como testigo. El experimento se repitió en tres ocasiones, en 1996 (5 repeticiones por tratamiento), en 1997 (7 repeticiones) y en 1998 (15 repeticiones). Debido a que en algunos periodos de floración, algunos clones presentaron pocas flores, las repeticiones de los tratamientos se distribuyeron en los diferentes periodos de cada año. El análisis estadístico se realizó como una serie simple de experimentos en bloques al azar de modelo:

$$Y_{ijk} = M + P_i + F_j + PF_{ij} + B_k(j) + E_{ijk}$$

3.4.2. Evaluación de la Compatibilidad.

La compatibilidad entre los tipos de pitahaya se evaluó analizando el efecto de la polinización sobre: el desarrollo de los tubos polínicos; el amarre de frutos; las características de los frutos maduros; y en la germinación de las semillas y el desarrollo inicial de plántulas.

3.4.2.1. Efecto de la polinización sobre el desarrollo de los tubos polínicos.

En los tipos blanca cultivada, roja, solferina en Xochitlán, Pue, y solferina en Zacatlalmanco, D. F., se colectó el gineceo de la flor, en cada uno de los intervalos siguientes: 6, 12, 24, 36, 48, 60 y 72 hdp (tres flores por cada intervalo). En el tipo blanca silvestre se colectó un gineceo por clon en los mismos intervalos de tiempo. Cada gineceo se fijó en una solución FAA, se lavaron, conservaron en GAA y se observó como en el punto 3.3.5.4. (fase progámica). Esta etapa se evaluó observando el desarrollo del tubo hasta su llegada a los óvulos y se evaluó mediante las variables:

(79) Velocidad de desarrollo del tubo polínico. Expresada en mm/h.

(80) Longitud de los tapones de calosa. En los mismos estilos fijados para la variable anterior se observó la formación de tapones de calosa en los tubos polínicos. Siguiendo la misma metodología de la variable anterior, se observaron secciones de tejido del canal estilar, variando solo en la tinción. En esta variable se utilizó la tinción de lacmoide. La longitud de los tapones de calosa se determinó en un aumento de 40 X del microscopio óptico (Zeiss), utilizando un ocular con graduación. La transformación de las unidades se realizó usando un micrómetro objeto, dividido en unidades equidistantes a 1/100 de mm (10 micras), que al observarse en el microscopio óptico se anotó la correspondencia de una unidad ocular a μM .

Los datos de las variables 79 y 80 se analizaron mediante un diseño experimental completamente al azar y los promedios de la variable 80 se compararon con la prueba de medias de Tukey.

Lacmoide. Se preparó una solución de lacmoide (Sigma, Co. L-7512) al 0.5 % en 2-propanol (J T Baker, Co 9084-02, 99.9 de pureza) al 30 % (solución a) y una solución con bicarbonato de sodio (J T Baker, Co. 3506-01, 100 de pureza) al 5 % en 2-propanol al 30 %, con pH = 9.12 (solución b). En el momento de utilizar el colorante se mezclaron las soluciones a y b en partes iguales y se agregaron al tejido; los tapones de calosa se tiñeron de color verde-azul brillante.

3.4.2.2. Efecto de la polinización sobre el amarre de frutos.

Siete días después de la polinización, tomando en cuenta las flores restantes después de la colecta de los gineceos para la evaluación del desarrollo del tubo polínico (19 flores por tratamiento en los tipos blanca cultivada, roja y solferina en Xochitlán; 22 en los tratamientos de solferina en Zacatlalmanco; 15 en los del tipo blanca silvestre) se tomo la variable:

(81) Porcentaje de amarre. Se calculó contaron la cantidad de flores que iniciaban su desarrollo a fruto con respecto al número de flores restantes.

En las flores abortadas de los tipos roja, solferina y blanca silvestre, se observaron características como la coloración del pericarpelo y número de óvulos en desarrollo dentro de la cavidad ovárica. El porcentaje de amarre de frutos.

3.4.2.3. Efecto de la polinización sobre las características de los frutos.

En los tratamientos que formaron frutos de los cuatro tipos de pitahaya, al llegar a la madurez se cosecharon y se evaluaron mediante las siguientes variables:

(82) Peso, (83) longitud y (84) diámetro de fruto. Se obtuvieron de la misma manera como en las variables 62, 63 y 64.

(85) Peso de pulpa. Separando la cáscara del fruto, se pesó la pulpa por separado en una balanza de precisión (Triple Beam Balance, OHAUS).

(86) Número de semillas. Se obtuvo con la misma metodología utilizada en la variable 71.

(87) Peso total de semillas. Se pesó el total de las semillas por fruto en una balanza de precisión (Triple Beam Balance, OHAUS).

(88) Relación semilla-pulpa. Se determinó igual que para la variable 72.

Los datos de las variables 82 a 88 se analizaron como una serie doble de experimentos en bloques al azar generalizado y los promedios se compararon entre cada tipo de pitahaya con la prueba de medias de Tukey.

3.4.2.4. Efecto de la polinización sobre las características de semillas y plántulas.

A cada tratamiento de polinización realizado entre los tipos blanca cultivada, roja y solferina de Xochitlán, Pue, se les designó una clave de dos letras para su identificación. La primera letra correspondió a la inicial del tipo progenitor femenino y la segunda letra correspondió a la inicial del tipo progenitor masculino, estableciéndose de la siguiente manera: BB (blanca cultivada x blanca cultivada), BR (blanca cultivada x roja), BS (blanca cultivada x solferina), RB (roja x blanca cultivada), RS (roja x solferina), SS (solferina x solferina), SB (solferina x blanca cultivada), SR (solferina x roja).

Después del proceso de extracción y secado de las semillas (al aire libre) se evaluaron las siguientes variables:

(89) Peso de semilla. Se calculó igual que para la variable 73.

(90) Porcentaje de semillas vanas. Se tomaron 19 muestras formadas por 100 semillas y se contaron las semillas que presentaban menor tamaño y que estaban vacías y se calculó su porcentaje.

Con semillas recién extraídas de los frutos (sin secarse), se tomó la siguiente variable:

Germinación de semillas. Se tomaron 10 muestras de 100 semillas y se pusieron a germinar sobre un sustrato comercial de origen orgánico (peat moss) sin cubrirse las semillas. El envase germinador se colocó dentro de una bolsa de polietileno para mantener la humedad

y el calor, y se colocó al aire libre, en un área semisombreada (no más de 5 h de sol directo, antes del medio día). Se evaluó mediante las variables:

(91) Tipo de rompimiento de testa. Se identificó de acuerdo a la clasificación establecida por Bregman and Bouman (1983).

(92) Porciento de germinación. A los siete días después de la siembra (dds) se contaron las semillas germinadas y se calculó de acuerdo al número de semillas sembradas.

(93) Velocidad de desarrollo de plántulas (VDP). Se tomó midiendo la longitud del tallo con un vernier (Scala 4761), a partir de su base, en la unión con los cotiledones y hasta la punta del ápice. Se realizaron cuatro mediciones; la primera se realizó a los 50 dds, la segunda a los 80 dds, la tercera a los 110 dds y la cuarta los 140 dds. Esta variable se expresó en cm de tallo crecidos por mes.

Las variables 89, 90, 92 y 93 se analizaron mediante un diseño experimental completamente al azar y los promedios se compararon con la prueba de medias de Tukey entre todas las cruas en que se obtuvo semillas.

Para conocer el efecto de la época de floración (baja y alta) y de el número de frutos por tallo (uno o dos) sobre las características de los frutos, se analizaron las variables: 82 a 86 y 88, tomando en cuenta solo los tratamientos en que se realizó PC en los tres tipos de pitahaya en conjunto, como una serie doble de experimentos en bloques al azar generalizado, siendo el tipo de pitahaya la serie primaria y la época de producción como segunda serie, originándose el modelo siguiente:

$$Y_{ijkl} = M + P_i + F_j + T_k + PF_{ij} + PT_{ik} + FT_{jk} + PBl(jk) + Bl(jk) + E_{ijkl}$$

Donde:

PT = Interacción entre tratamiento de polinización y tipo de pitahaya.

T = Planta receptora de los tratamientos de polinización (tipo de pitahaya).

FT = Interacción entre el periodo de producción y tipo de pitahaya.

PB = Interacción tratamiento-bloque, anidado en periodo de producción y tipo de pitahaya.

Bl = Número de frutos por tallo, anidado en el periodo de producción y tipo de pitahaya.

En el análisis estadístico se incluyó la correlación entre las variables: 82, 86, 87 y 88, para determinar la relación entre estas variables.

Los análisis estadísticos se realizaron, mediante el software para microcomputadoras SAS versión 6.03 (Statistical Analysis System, SAS Institute Inc.).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LOS MATERIALES VEGETALES.

4.1.1. Características del Tallo.

En esta parte de la planta, se observaron diferencias estadísticas en el número de yemas por sección de tallo, distancia entre las yemas y diámetro del tallo (cuadro 1). Los valores fueron mayores en los tipos blanca cultivada y blanca silvestre, seguidos del tipo roja y menores en solferina, que proporcionan una apariencia de mayor vigor al tipo blanca cultivada y menor en el tipo solferina.

Cuadro 1. Valores promedio de algunas características de tallos de cuatro tipos de pitahaya, (*Hylocereus* sp) desarrollados en Zacatlalmanco, D F.

Variable	Tipo de Pitahaya					
	Solferina	Roja	Blanca cultivada	Blanca Silvestre	CV	DMS
Número de yemas por sección de tallo	82.25 b	102.33 ab	106.08 a	98.25 ab	18.47	21.52
Distancia entre yemas (mm)	36.81 b	40.33 ab	46.72 a	38.68 ab	16.14	15.47
Diámetro del tallo (mm)	36.67 b	34.50 b	46.12 a	39.20 ab	25.01	8.35
Tipo de sinuosidad	Convexo	Convexo	Convexo	Convexo	-	-
Altura del arco ¹ (mm)	10.34 a	5.05 b	6.20 b	4.21 b	5.24	2.45
Índice de Sinuosidad ²	0.281 a	0.125 b	0.133 b	0.109 b	4.48	0.065
Número de espinas por areola	1 b	3.84 a	4.13 a	3.14 a	2.42	1.04
Longitud de espinas (mm)	4.35 a	2.09 b	2.94 b	2.64 b	7.25	1.12
Intensidad de coloración	Media	Fuerte	Baja	Baja	-	-

1 Arco formado entre dos yemas de una misma costilla.

2 Índice de sinuosidad = Altura del arco / Longitud del arco.

Mismas letras en la misma columna son estadísticamente similares, Tukey $\alpha \leq 0.05$.

El tipo solferina, tubo mayores valores de altura del arco e índice de sinuosidad, por lo que la ondulación del borde del tallo fue más notoria (figura 7). Entre los tipos blanca cultivada, blanca silvestre y roja presentaron valores similares en la altura del arco y el índice de sinuosidad y por lo mismo, la ondulación del borde fue similar (cuadro 1). Las plantas de los tipos blanca cultivada, roja y solferina desarrolladas en Zacatlalmanco, presentaron sinuosidad convexa (figura 7), igual que las desarrolladas en la zona de Tehuacán. Sin embargo, algunos clones del tipo blanca silvestre, de origen presentaron borde recto (C-7) o sinuosidad cóncava (C-1, C-10, C-11), pero cuando se desarrollaron en Zacatlalmanco, los tallos nuevos tuvieron borde con sinuosidad convexa. Cuetzalan, Puebla y Teapa, Tabasco, lugar de origen de los clones del tipo blanca silvestre tienen un clima tropical lluvioso a diferencia de Tehuacán y Zacatlalmanco, de clima seco semiárido.

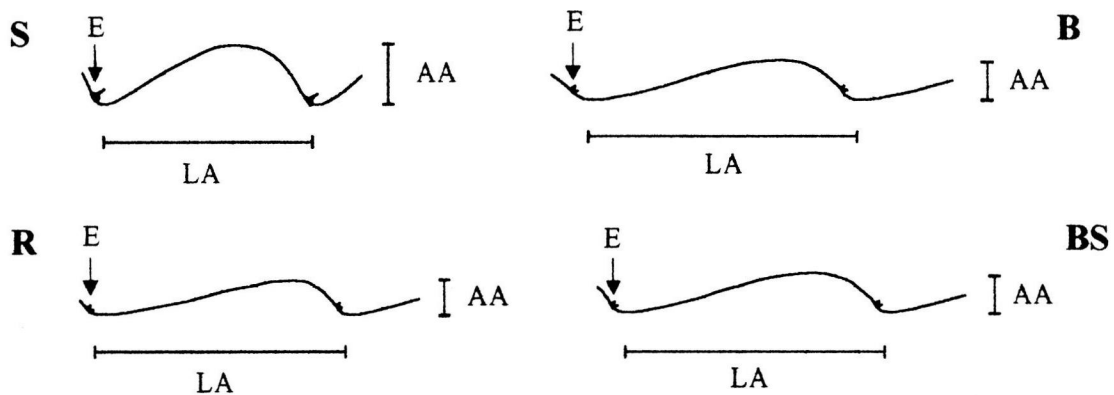


Figura 7. Formas del arco del borde del tallo de cuatro tipos de pitahaya *Hylocereus* sp desarrollados en Zacatlalmanco, D F. B, blanca cultivada; BS, blanca silvestre; R, roja; S, solferina; AA, altura de arco; E, areola; LA, longitud de arco. Esc 1: 1.45.

Las areolas de los clones del tipo solferina presentaron menor número de espinas y de mayor longitud en comparación de las areolas de los tipos blanca cultivada, blanca silvestre y roja (cuadro 1). La parte terminal de los tallos en crecimiento también presentó diferencias en su pigmentación, entre los tipos de pitahaya: la coloración fue poca en blanca cultivada y blanca silvestre y fuerte en solferina y roja (cuadro 1).

Entre los diferentes clones del tipo blanca silvestre se observó poca diferencia en las variables estudiadas, mostrándose como un grupo constante. Solo entre algunos clones se observaron diferencias en el número de yemas por sección de tallo, distancia entre yemas, número y longitud de espinas. Tales diferencias fueron principalmente entre los clones provenientes de Teapa y los que provienen de Cuetzalan, sin embargo, las diferencias no son lo suficientemente consistentes en un determinado clon (Cuadro 2).

Cuadro 2. Características de tallos de nueve clones de pitahaya Blanca Silvestre (*Hylocereus undatus*), provenientes de Cuetzalan, Puebla (7) y de Teapa, Tabasco (2), desarrollados en Zacatlalmanco D. F.

Variable	Clon del tipo Blanca Silvestre								
	C-1	C-2	C-3	C-7	C-10	C-11	C-12	T-1	T-2
Número de yemas por sección de tallo	90.2 bc	98.9 bc	79.9 c	87.3 bc	110.6 a	101.2 b	93.8 bc	106.8 ab	115.6 a
Distancia entre yemas (mm)	41.8 a	41.2 a	42.4 a	42.3 a	29.5 b	38.7 a	43.6 a	36.1 ab	32.6 ab
Diámetro del tallo (mm)	45.6 a	41.1 a	38.4 a	42.5 a	35.3 a	37.1 a	42.6 a	36.4 a	33.8 a
Altura del arco ¹ (mm)	3.29 b	6.10 a	3.95 b	3.04 b	3.08 b	3.11 b	6.09 a	5.07 ab	4.12 ab
Índice de sinuosidad ²	0.078 b	0.148 a	0.093 b	0.072 b	0.104 ab	0.080 b	0.139 a	0.141 a	0.126 a
Número de espinas por areola	3.2 ab	2.2 b	4.1 a	3.4 ab	3.3 ab	3.8 ab	3.0 ab	3.1 ab	2.2 b
Longitud de espinas (mm)	2.75 ab	2.74 ab	3.53 a	3.02 ab	3.16 ab	2.96 ab	2.38 b	1.96 bc	1.32 c
Intensidad de coloración	Baja	Muy baja	Muy baja	media	Muy baja	Baja	Baja	Muy baja	Muy baja

1 Arco formado entre dos yemas de una misma costilla.

2 Índice de sinuosidad = Altura del arco / Longitud del arco.

Mismas letras en la misma columna son estadísticamente similares, Tukey $\alpha \leq 0.05$.

4.1.2. Desarrollo Floral y de Fruto.

La duración de estos procesos varió entre los tipos de pitahaya, ya sea en la época cálida o fresca del año (Cuadro 3). Entre los tipos blanca cultivada y blanca silvestre hubo poca diferencia en la duración del desarrollo de las yemas florales y frutos, siendo ligeramente más prolongados en los clones silvestres (1 a 3 días).

En el tipo solferina, los periodos entre el rompimiento de yema floral y la apertura floral, y de esta a la maduración del fruto, fueron de mayor duración (3 a 4 y 3 a 10 días, respectivamente) con respecto a los demás tipos. El tipo roja presentó periodos de desarrollo intermedios entre los tipos blanca cultivada y solferina (cuadro 3). Los periodos de maduración de fruto fueron similares entre los cuatro tipos de pitahaya. El desarrollo de los botones florales y de los frutos, así como del inicio de su maduración se vieron influenciados aparentemente por la temperatura ambiental, ya que estos procesos fueron más cortos en el periodo cálido, entre 22° y 24° C de temperatura media (7 a 8 días en las yemas y 5 a 12 en frutos), en comparación del periodo fresco, (17.5° y 19° C de temperatura media) (cuadro 3). El proceso de maduración también se vio influenciado por la temperatura del ambiente, siendo más corto en el periodo cálido (3 a 4 días), con respecto de la época fresca (cuadro 3).

Cuadro 3. Periodos de desarrollo de yemas florales y frutos de cuatro tipos de pitahaya, *Hylocereus* sp, en Acapa, Puebla (Roja y Blanca cultivada), Xochitlán, Puebla (Solferina) y Zacatlalmanco, D. F. (Blanca Silvestre) en dos épocas del año.

Evento	Tipo de pitahaya. Época Cálida, Abril y Mayo de 1997.			
	Solferina 22° ^A	Roja 24°	Blanca cultivada 24°	Blanca Silvestre 22°
Desarrollo de botón floral	28.1 a	26.0 ab	25.4 ab	24.9 b
Desarrollo de fruto	38.0 a	35.2 b	27.8 c	30.1 c
Maduración de fruto	5.6 a	5.3 a	5.0 a	5.6 a
Evento	Tipo de pitahaya. Época Fresca., Agosto-Septiembre de 1997			
	Solferina 18.2° ^A	Roja 19.0°	Blanca cultivada 19.0°	Blanca Silvestre 17.5
Desarrollo de botón floral	35.4 a	33.7 ab	33.5 ab	32.9 b
Desarrollo de fruto	50.4 a	40.4 b	36.4 c	39.6 c
Maduración de fruto	8.6 a	8.4 a	7.0 a	9.8 a

^A Temperatura media promedio durante el evento.

Mismas letras en la misma fila son estadísticamente similares, Tukey $\alpha \leq 0.05$.

Castillo y Ortiz (1994) en *Hylocereus undatus* en Zaachila, Oaxaca, también observaron la influencia del ambiente sobre el desarrollo de las yemas florales y frutos;

durante el periodo de abril a junio las yemas florales se desarrollaron en 19 días y los frutos en 31 (20 a 25° C de temperatura media) mientras que en el periodo de junio a agosto, las yemas se desarrollaron en 31 días y los frutos en 41 (16 a 21° C de temperatura media), 10 días más que en el primer periodo.

4.1.3. Biología Floral.

4.1.3.1. Periodos de floración.

Número y distribución de los periodos. En la región de Tehuacán, el número de periodos de brotación floral, su duración y distribución en el año, presentaron diferencias entre los materiales de pitahaya, siendo menores entre los tipos roja y blanca cultivada, mientras que en el tipo de pitahaya solferina, las diferencias son mas marcadas con respecto a los dos tipos anteriores (figura 8).

Los tipos de pitahaya roja y blanca cultivada presentaron periodos de brotación compactos (de 10 a 15 días de floración por periodo) y en diversas ocasiones, un mayor número de flores coincidió entre ambas en su apertura, mientras que el tipo solferina presentó periodos de brotación extensos (de 12 a 28 días de floración por periodo) y aunque gran parte del periodo se traslapó con la floración de otro tipo, el mayor número de flores no coinciden en su apertura con los otros tipos (figura 8). En los diferentes años del experimento no se observaron fechas constantes de floración, ni en la distribución de la cantidad de las flores a lo largo del año, ya que en 1996 la floración fue más prematura, que en 1997, y el periodo de mayor floración, en algunos casos fue el segundo, el tercero o el cuarto, siendo más común el tercer periodo en el que se presentó el mayor porcentaje de flores (figura 8).

En Zacatlalmanco D. F., entre los diferentes clones de blanca silvestre presentaron sincronización en la floración entre sí, pero en los años observados las fechas de presentación de los periodos, así como el número de ellos, no fueron constantes, siendo mas temprano el inicio de la floración en 1997 y mayor número de periodos y más tardía y menor número de periodos en 1995 (figura 9).

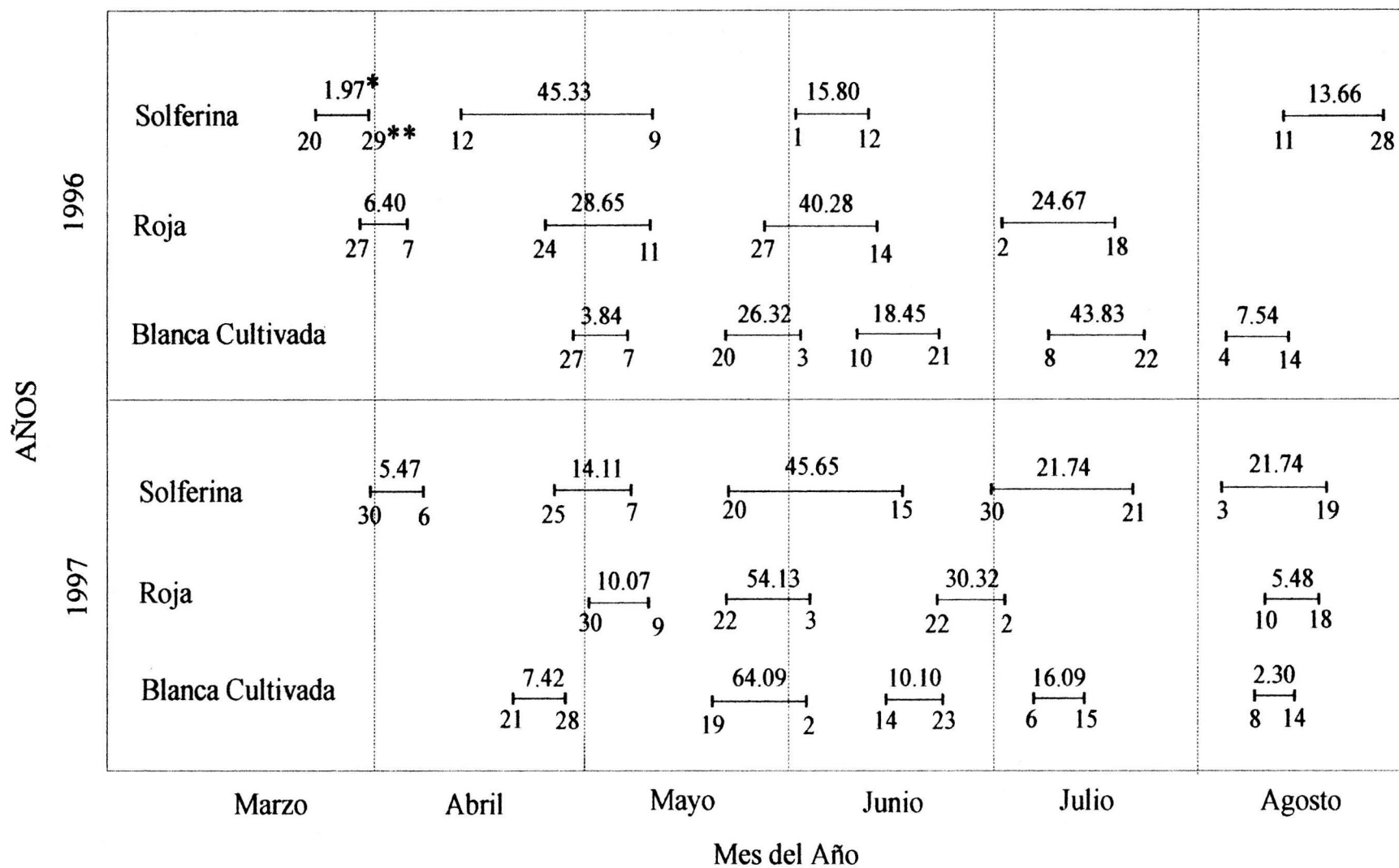


Figura 8. Fecha de presentación de los periodos de floración (**) y porcentaje de flores abiertas (*) de tres tipos de pitahaya, (*Hylocereus* sp) cultivadas en la región de Tehuacán, Puebla, en dos años.

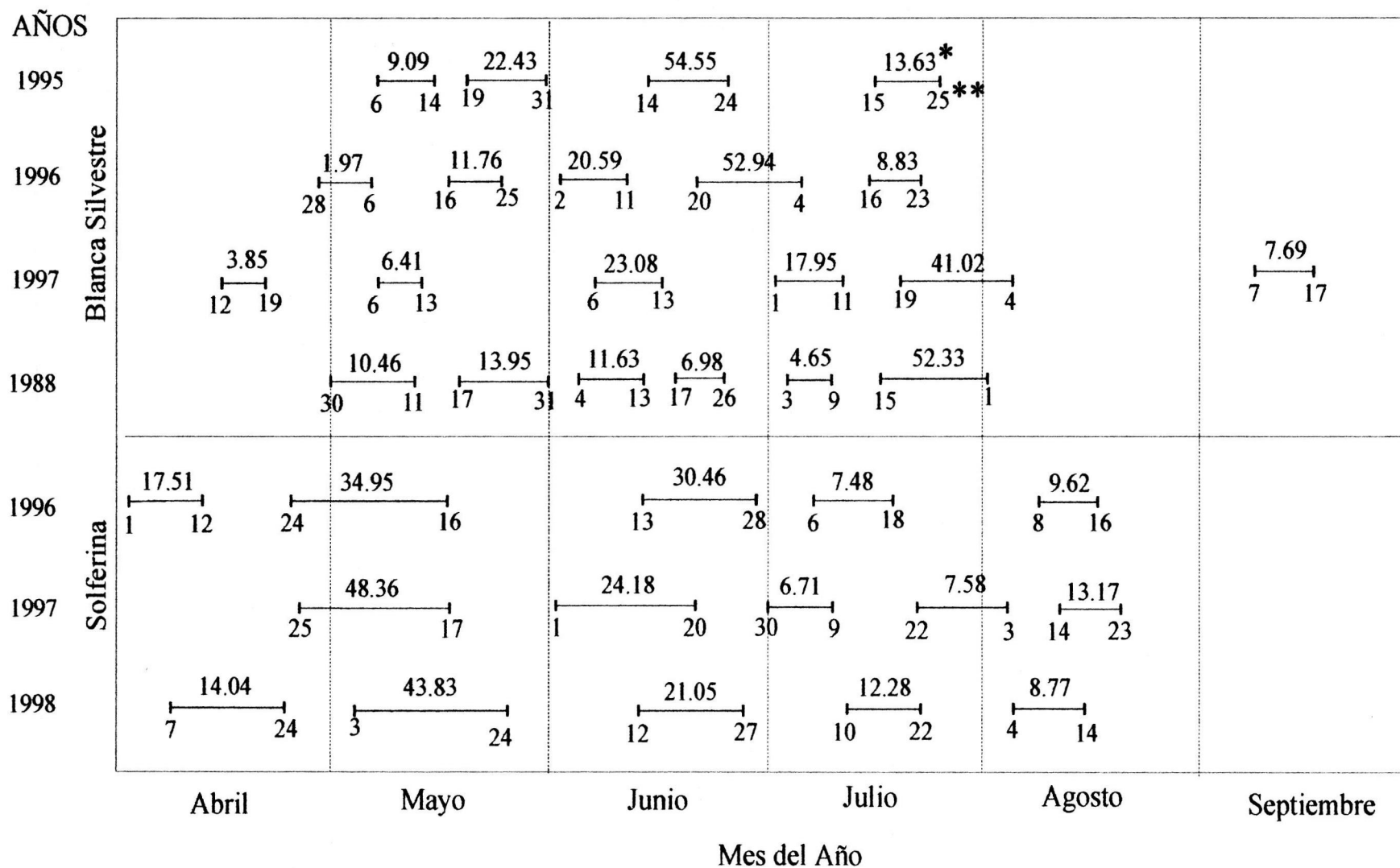


Figura 9. Fecha de presentación de los periodos de floración (**) y porcentaje de flores abiertas (*) de pitahaya solferina y blanca silvestre, (*Hylocereus* sp) en Zacatlalmanco, D. F.

En el caso de los dos clones de solferina desarrollados en esta localidad, aunque uno de ellos es dos o tres días más prematuro, la mayoría de las flores coinciden en su apertura (figura 9). Entre estas dos comunidades, la floración del tipo solferina en Tehuacán fue primera, en comparación de la presentada en Zacatlalmanco (hasta 20 días antes, en 1997), influenciada probablemente por la temperatura, ya que en esta última localidad la temperatura en los meses de desarrollo, fue menor que la de la región de Tehuacán (17.8° y 21.1° C media, respectivamente).

Aparentemente, la inconsistencia en la precisión de la fecha de la floración es normal, ya que Ramírez (1995), en 1994, en la región de Tehuacán, observó siete periodos de floración en el tipo blanca cultivado, de los cuales el primero se inició el 26 de marzo, siendo el tercer periodo el de mayor porcentaje de flores abiertas del total de la temporada (64.9 %); Castillo y Ortiz (1994), en 1991 en Zaachila, Oax., observaron el inicio de la floración del tipo blanca cultivado en mayo, siendo el segundo, de tres periodos, el de mayor número de flores.

Maltez (1994), en 1988 en San Marcos, Nicaragua, observó el inicio de la temporada de floración de *H undatus* en abril, siendo el segundo periodo el de mayor número de flores; Weiss *et al.* (1994), en Nagev, Israel, observaron en *H undatus*, *H polyrhizus* e *H costaricensis* el inicio de la temporada de floración entre mayo (*H undatus*) y julio (*H costaricensis*), variando de acuerdo al año.

Apertura de flores durante el periodo de floración. La apertura de flores en el periodo de floración, también presentó diferencias entre los tipos blanca cultivada, roja y solferina; entre el 19 de mayo y 15 de junio de 1997, la floración fue más compacta (menor número de días de duración del periodo) en blanca cultivada y roja, mientras que en solferina fue más prolongada, dando como resultado menor traslapado de la floración entre esta última con la roja y la blanca cultivada (cuadro 4; Figura 10).

Cuadro 4. Coincidencia de la floración entre tres tipos de pitahaya (*Hylocereus* sp), de los periodos de floración observados entre el 19 de mayo y 15 de junio de 1997 en la región de Tehuacán, Puebla.

Característica de Distribución de la Floración	Tipo de Pitahaya		
	Solferina	Roja	Blanca cultivada
Porcentaje de días de la floración que coincidieron con la floración de otro tipo de pitahaya	51.85	100	93.33
Porcentaje de flores que coincidieron con flores de otro tipo de pitahaya	39.72	100	99.80
Número de flores abiertas en todo el periodo	3306	151	1531

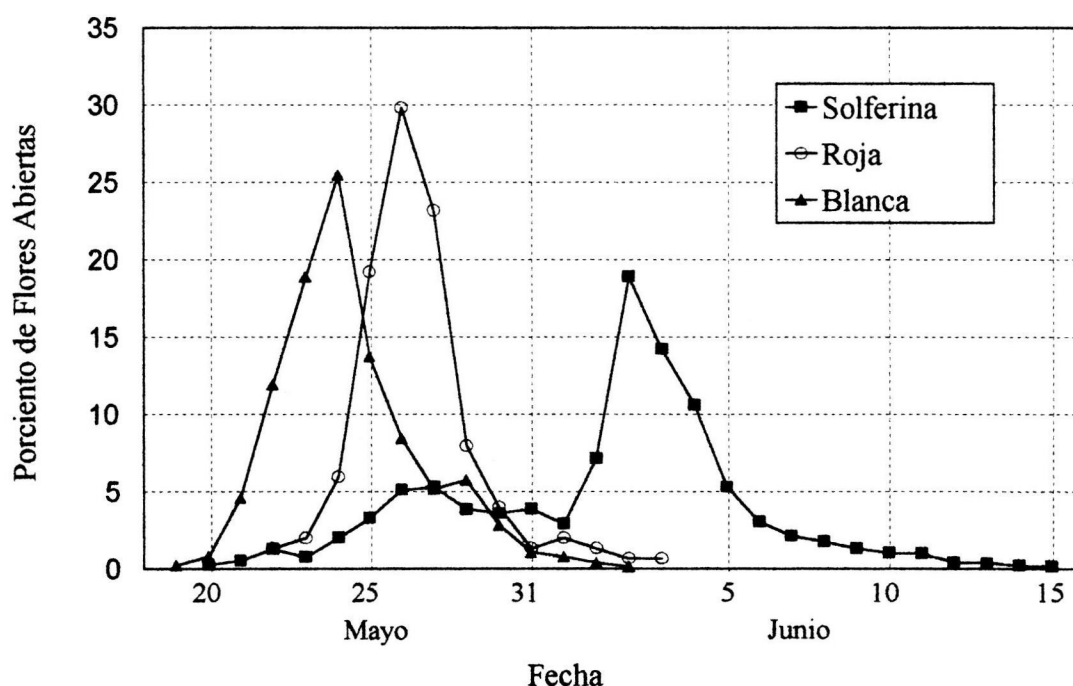


Figura 10. Distribución de las flores abiertas de tres tipos de pitahaya (*Hylocereus* sp), en el periodo de floración (19 de mayo al 15 de junio de 1997), en la región de Tehuacán, Puebla.

La falta de concordancia en el periodo de apertura de la mayoría de las flores entre los tipos blanca cultivada, roja y solferina en la región de Tehuacán, puede explicar en parte por la diferencia en la duración del periodo de desarrollo de las yemas florales (cuadro 10) ya que en cierto momento, entre el 20 y 25 de abril, coincidieron los tres tipos en el inicio de la brotación de las yemas florales, pero el tipo solferina al presentar un periodo de desarrollo de yemas florales más largo y también menos uniforme, originó que la mayoría de las flores no coincidieran en su apertura con las flores de otro tipo de pitahaya (figura 10). Esta tendencia se observó también en el tipo roja, pero debido a que en este tipo, la diferencia entre el desarrollo de las flores en comparación con el tipo blanca cultivada es menor, hubo más traslape en la floración (figura 10).

4.1.3.2. Características de la flor.

Los brotes florales, 15 días después del rompimiento de yema, variaron en la forma del ápice, desde puntiaguda en solferina, a redondead, en los demás tipos. La coloración de las escamas de los botones florales fue mayor en roja, intermedia en solferina y baja en los tipos blanca cultivada y blanca silvestre.

En el número de escamas de cada sección de la flor y en los elementos del perianto, se observó una similitud entre los diferentes tipos, a excepción de las escamas del pericarpelo y del perianto externo. En estas secciones se observó un mayor número en el tipo roja, que se refleja en el número total de los elementos foliosos (cuadro 5). En la longitud de los elementos foliosos se encontró una tendencia a ser mayor en el tipo blanca cultivada y menores en los tipos solferina y blanca silvestre (cuadro 5).

En la forma de las escamas que cubren el pericarpelo, tubo receptacular y garganta floral, así como en la intensidad de la coloración de sus bordes, se observó variación entre los diferentes tipos de pitahaya; en el tipo roja, las escamas fueron de forma recta y ápice redondeado; en el tipo solferina fueron semi-cónicos y con ápice puntiagudo y curvado; los dos tipos de blanca (cultivada y silvestre) presentaron una forma recta y con ápice semi-lanceolado (figura 11). La coloración de los bordes mostró la misma tendencia que cuando

estaban en desarrollo las flores. El perianto externo, en el caso del tipo roja fue de color amarillo y púrpuro, mientras que en los demás casos fue blanco, con una ligera coloración amarilla verdosa en los bordes; el perianto interno en el tipo roja fue de color cremoso y en los demás tipos fue de color blanco.

Cuadro 5. Cantidad y longitud promedio (mm) de los elementos foliosos de las flores de cuatro tipos de pitahaya (*Hylocereus* sp). Blanca cultivada, roja y solferina, flores de la región de Tehuacán; blanca silvestre, flores de Zacatlalmanco, D F.

Elemento Folioso	Tipo de Pitahaya							
	Solferina		Roja		Blanca cultivada		Blanca Silvestre	
	Núm ^A	Long ^B	Núm	Long	Núm	Long	Núm	Long
Escamas del Pericarpelo	19.44 b	28.76 b	42.04 a	34.90 a	19.72 b	36.43 a	18.60 b	17.56 c
Escamas del Tubo Receptacular	16.16 ab	77.75 ab	16.20 ab	68.47 b	20.16 a	85.98 a	14.32 b	54.85 c
Escamas de la Garganta	9.16 a	158.28 a	10.73 a	143.14 b	11.12 a	148.08 ab	12.96 a	116.50 c
Perianto externo	13.24 b	143.73 b	21.16 a	147.23 ab	15.60 b	156.14 a	12.44 b	139.70 b
Perianto Interno	22.36 a	124.32 b	22.04 a	134.39 ab	21.88 a	138.89 a	20.76 a	137.55 a
Total	80.36 b		112.17 a		88.48 b		79.08 b	

^A Número promedio.

^B Longitud promedio (mm).

Mismas letras son estadísticamente similares, Tukey $\alpha \leq 0.05$.

En las variables de las características internas de la flor, se encontraron diferencias entre los tipos de pitahaya (cuadro 6). En el número y longitud de los estambres, número de lóbulos del estigma y longitud del estilo, se observó una tendencia a ser mayores en el tipo blanca cultivada, intermedios en los tipos roja y blanca silvestre y menores en el tipo solferina; las mayores diferencias radican en la longitud promedio de los estambres, longitud del estilo y longitud de hercogamia (cuadro 6).

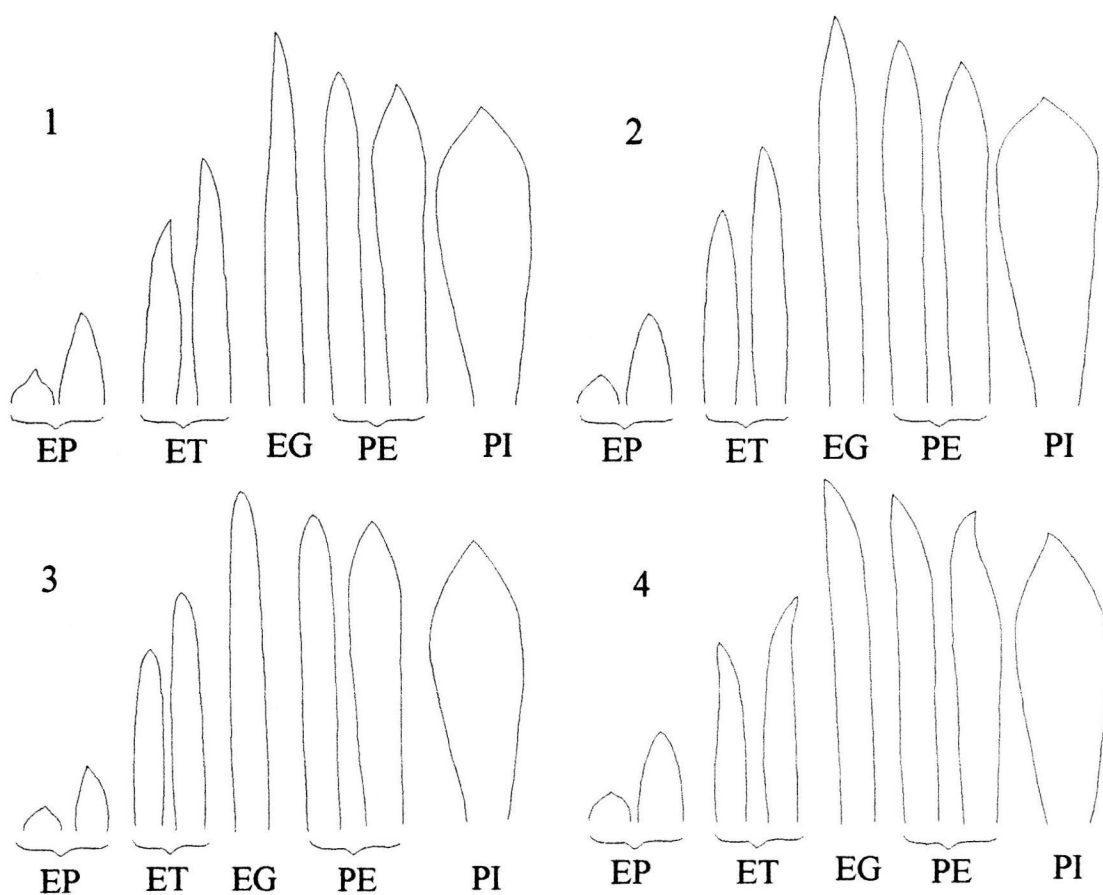


Figura 11. Forma predominante de los elementos foliosos de la flor de cuatro tipos de pitahaya (*Hylocereus* sp.). 1, Solferina; 2, blanca cultivada; 3, roja; 4, clon C-2, de blanca silvestre. EG, escama de la garganta; EP, escamas del pericarpelo; ET, escamas del tubo receptacular; PE, perianto externo; PI, perianto interno. 1, 2, 3, flores de Tehuacán, Puebla; 4, de Zacatlalmanco, D. F. Esc. 1: 3.

El ovario en su corte transversal del tipo solferina, mostró una forma ovalada, a diferencia de los vistos en los demás tipos, que mostraron una forma redonda. En el número de hileras de óvulos por ovario, se observó la tendencia a ser mayor en los tipos blanca cultivada y roja y menor en los tipos blanca silvestre y solferina. También en el número de óvulos, ya sea por hilera o por ovario se observaron diferencias entre los tipo de pitahaya; por hilera, los tipos blanca cultivada y solferina, presentaron mayor número y los tipos roja y blanca silvestre presentaron menor número; por ovario, el tipo blanca cultivada presentó mayor número, los tipos solferina y roja presentaron una cantidad intermedia y el tipo blanca silvestre presento

menor cantidad. En la coloración de las estructuras, solo se observó variación en el color del estigma, siendo verde en los tipos blanca cultivada y solferina, y amarillento en el tipo roja.

Cuadro 6. Número promedio y longitud de los elementos del gineceo y androceo de flores de cuatro tipos de pitahaya (*Hylocereus* sp). Blanca cultivada, roja y solferina, flores de la región de Tehuacán; blanca silvestre, flores de Zacatlalmanco, D F.

Variable	Tipo de pitahaya					
	Solferina	Roja	Blanca cultivada	Blanca Silvestre	CV	DMS
# de Estambres	897.52 b	987.32 a	953.16 a	803.40 c	26.40	82.47
Longitud de estambres (mm)	92.03 b	110.86 a	129.12 a	78.05 b	32.12	16.30
Longitud del Estilo (mm)	227.30 b	238.76 ab	254.11 a	227.89 b	17.25	20.75
# de Lóbulos del Estigma	23.60 b	27.24 a	28.72 a	24.60 b	8.13	2.18
Longitud de Ovario(mm)	16.47 b	20.87 a	20.43 a	13.07 b	7.56	3.57
Diámetro de Ovario(mm)	12.10 ^A a	9.72 a	10.81 a	10.24 a	8.71	2.84
# de Hileras de Óvulos	21.48 b	27.84 a	29.72 a	24.54 b	9.82	3.19
# de Óvulos por Hilera	374.20 a	276.67 b	361.33 a	240.16 c	41.18	33.41
# de Óvulos por Ovario	7962.98 b	7702.49 b	10738.73 a	5965.57 c	33.69	384.54
Hercogamia (mm)	15.9 b	9.7 c	3.0 d	22.3 a	12.24	5.89

^A En el corte transversal del ovario se observó una forma oval, mostrando diámetro mínimo y máximo, el valor se obtuvo con el promedio de los dos.

Mismas letras son estadísticamente similares, Tukey $\alpha \leq 0.05$.

De acuerdo a las características de las flores observadas en los clones de estudio, el tipo blanca cultivada presentó una ventaja estructural con respecto de los otros tipos, ya que sus flores casi no presentaron hercogamia, lo que facilita la autopolinización natural. Los tipos roja, solferina y blanca silvestre, por el contrario, presentaron una distancia de hercogamia, que no favorece la autopolinización de las flores.

4.1.3.3. Apertura y senescencia floral.

En el proceso de apertura floral, todos tipos de pitahaya iniciaron el ensanchamiento del bulbo floral entre las 14:00 y 15:00 h del día de apertura, a excepción del tipo solferina, que inició entre las 11:00 y 12:00 h (figura 12).

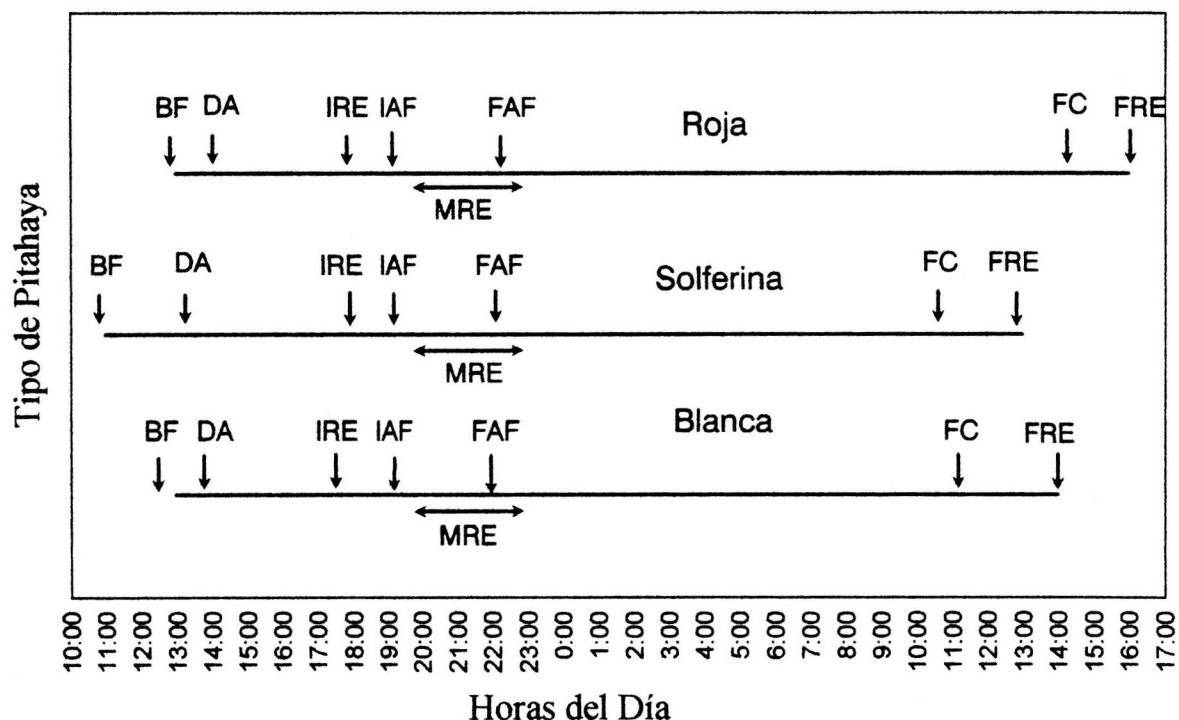


Figura 12. Periodos de duración de los eventos de la biología floral de tres tipos de pitahaya, (*Hylocereus* sp). BF, bulbo floral; DA, inicio de dehiscencia de anteras; IRE, inicio de receptibilidad de estigma; IAF, inicio de apertura floral; FAF, fin de apertura floral; FC, flor cerrada; FRE, disminución de receptibilidad de estigma.

La apertura en los tipos blanca cultivada, blanca silvestre y solferina, se observó entre las 19:30 y 20:30, comenzando por la flexión de las escamas de la garganta hacia la base de la flor a las 19:30, luego la separación de los elementos del perianto interno a las 20:00 h y después la flexión del perianto externo hacia la misma dirección a las 20:30 h. En el tipo roja el orden fue diferente: primero se observó la separación del perianto interno a las 20:00 h,

luego la flexión de las escamas de la garganta a las 20:30 y después la del perianto externo a las 21:00 h; De cualquier forma, en todos los tipos la apertura total se observó a las 23:00 y 24:00 h, cuando el movimiento de flexión de las escamas y del perianto externo cesó.

La dehiscencia de anteras comenzó entre las 14:00 y 14:30 h, cuando la flor aun permanecía cerrada y la máxima liberación de polen entre las 21:30 y 22:00 h, cuando la flor estaba a medio abrir, momento en que también se observó un brillo en las papilas de los lóbulos del estigma y finalizó entre las 9:00 y 10:00 h, cuando se observaron las anteras vacías. La presencia de aroma en la flor se hizo notar entre las 22:00 y 22:30 h, al igual que la exudación de néctar en la cavidad nectarial; en este aspecto, los tipos roja y solferina presentaron más pronunciado el aroma de la flor en comparación con el tipo blanca cultivada. En todos los eventos de la apertura floral, se observó una diferencia de una hora más tarde en su presentación, comparados con los presentados por Páez (1995) y Jiménez (1995), debido a que en dicho año todavía no se implementaba el horario de verano.

Durante la noche se observó la presencia de mariposas nocturnas y de murciélagos que deambulaban alrededor las flores, sin embargo, solo las mariposas entraban en las flores de pitahaya, permaneciendo dentro de ellas por un lapso de 10 a 15 segundos, mientras que los murciélagos libaban de las flores de pitayo xoconoxtle (*Stenocereus stellatus*); por la mañana se pudo constatar que en 85 % de las flores, mostraban evidencias de haber sido visitadas por mariposas, ya que los estigmas se observaron escamas setosas de dichas mariposas. Esto concuerda con Rowley (1980), que mencionó como polinizador principal de flores nocturnas, color blanco, y forma tubular (flores de los géneros *Echinopsis*, *Epiphyllum*, *Hylocereus* y *Selenicereus*) a las mariposas nocturnas.

En la mañana se observó la presencia de la abeja común (*Aphis mellifera*) en el total de las flores, las cuales se presentaron continuamente desde las 6:30 y hasta las 11:00; en cada flor se observaron hasta 12 abejas simultáneamente en el periodo de mayor actividad (7:20 a 9:00), las cuales, rondaban entre las anteras y el estigma; la duración de la visita por individuo fue entre 30 y 160 segundos (cuadro 7). Otras abejas (*Ashmeadiella cactorum* y *Argemone mexicana*) se observaron en una proporción menor, limitadas probablemente por la presencia

de la abeja común; se observaron además abejorros solitarios (*Bombus impatiens*) en menor proporción. Páez y Ramírez (1997), Jiménez (1995) y Weiss *et al.* (1994), también observaron la presencia de abejas en las flores de pitahaya, a la mañana siguiente de su apertura.

Aunque la anatomía de la flor de cactáceas puede determinar el tipo de insecto polinizante predominante en una especie, no se excluye la participación de otro grupo en el movimiento de polen (Rowley, 1980). De acuerdo a las características anatómicas y al periodo de apertura que presentan las flores de pitahaya, el polinizante principal puede ser alguna mariposa nocturna; sin embargo, también se ha observado la participación de abejas no específicas (*Aphis*, *Ashmeadiella* y *Argemone*), ya que estos insectos se han observado en las flores de diferentes géneros de cactáceas como *Ferocactus* y *Opuntia* (Del Castillo, 1994), y *Echinocereus* (Cota, 1994; Beckenridge and Miller, 1982).

Cuadro 7. Frecuencia de visita de polinizantes diurnos en flores de pitahaya (*Hylocereus* sp), observados entre las 6:30 y 11:30 a.m. del día siguiente de la noche de apertura, durante el 20-22 de julio, en Xochitlán, Puebla.

Polinizador	Porciento de Flores Visitadas	Número de Polinizantes por Flor	Duración de Visita (segundos)
<i>Aphis mellifera</i>	100	6.7	65.4
<i>Ashmeadiella cactorum</i>	28.25	1.6	79.7
<i>Argemone mexicana</i>	20.47	1.3	54.9
<i>Bombus impatiens</i>	3.20	1.0	35.1

La senescencia floral se observó a diferente hora de acuerdo a los diferentes tipos de pitahaya. Las flores de los tipos blanca cultivada y solferina comenzaron a marchitarse entre las 9:00 y 10:00 h del siguiente día a la noche en que abrieron, quedando cerradas entre las 12:00 y 13:00 h; mientras que en el tipo roja, comenzaron a marchitarse entre las 11:30 y 12:30 h, quedando cerradas entre las 14:30 y 15:30 h (figura 12).

La senescencia floral en diversas cactáceas no está regida por algún mecanismo de cierre floral, sino por la pérdida de agua del tejido (Gibson and Nobel, 1986), y su inicio puede variar entre diferentes especies. Scott *et al.* (1994), en varios cultivares de dos géneros de cactáceas de la tribu *Hylocereinae* (*Schlumbergera* 5 y *Rhipsalidopsis* 8 cultivares), observaron que el inicio de la senescencia, después de la apertura, fue diferente entre los dos géneros y entre los diferentes cultivares dentro del mismo género.

4.1.3.4. Características del polen.

Germinación del polen. En el momento de la apertura floral, los granos de polen presentaron altos porcentajes de germinación, desde 90 % en el tipo solferina, 97 % en roja y desde 99 % en el tipo Blanca cultivada (figura 13). Estos porcentajes de germinación fueron superiores en comparación con los observados por Weiss *et al.* (1994) en *H. undatus* (70 %), *H. polyrhizus* (65 %) e *H. costaricensis* (20 %), durante la apertura floral.

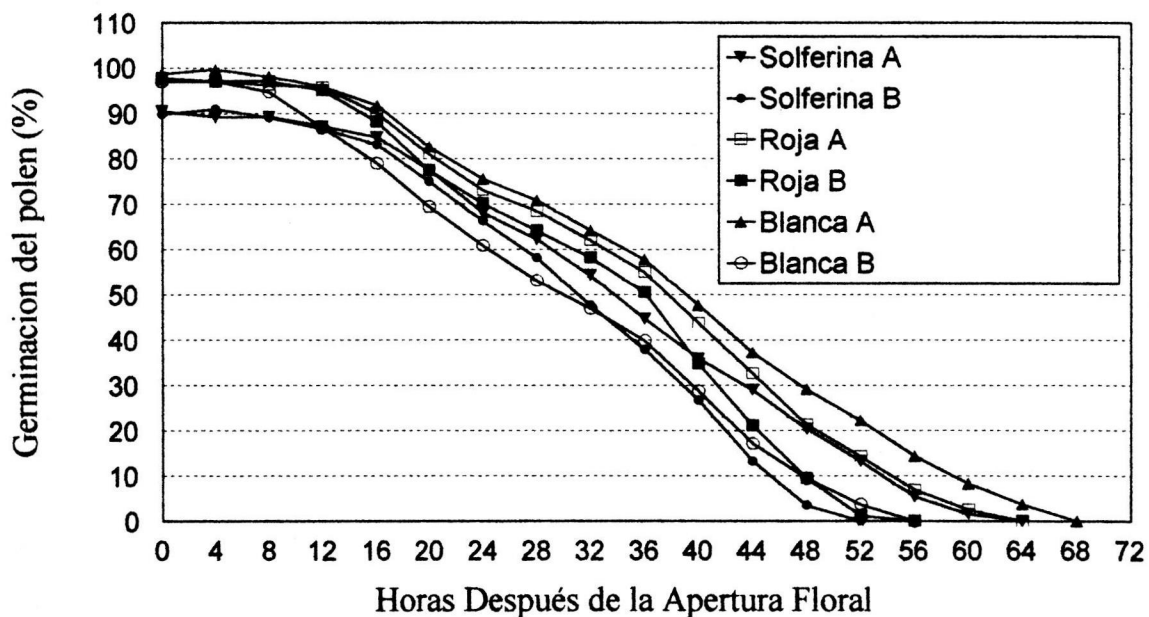


Figura 13. Porcentaje de granos de polen germinados de tres tipos de pitahaya (*Hylocereus* sp), en Zacatlalmanco, D F. A, flores cortadas y conservadas en cuarto cerrado; B, tomados de la flor en su ambiente natural.

Después de 12 hdaf, la germinación comenzó a disminuir (figura 13) y 20 hdaf el porcentaje bajo rápidamente. Posteriormente, a 68 hdaf, ya no se observó germinación de algún grano de polen (polen tomado de las flores en su ambiente normal y de las flores cortadas y conservadas bajo techo). Weiss *et al.* (1994) también observaron una corta vida de los granos de polen en *H. undatus*, *H. polyrhizus* (germinación hasta 60 hdaf) y *H. costaricensis* (hasta 24 hdaf).

Aunque los granos de polen germinaron en un porcentaje alto y presentaron una longevidad mayor a especies como el algodón, *Gossypium hirsutum* (8 a 10 h) y el melón, *Cucumis melo* (12 h), esta fue corta en comparación con los frutales caducifolios, que mantiene su germinación hasta 10 días en condiciones ambientales naturales (Pimienta, 1990).

El polen colectado y conservado a temperatura ambiente (18° C) comenzó a disminuir su germinación posterior a su colecta, y 20 hdaf ya no germinó. El polen conservado en refrigeración, no germinó después de haberse guardado (cuadro 8).

Cuadro 8. Porcentaje de germinación *in vitro* de granos de polen, promedio de tres tipos de pitahaya (*Hylocereus* sp), colectados y conservados a varias temperaturas.

Conservación	Temperatura de conservación. (° C).				
	- 10	- 5	0	5	18
4 h	0	0	0	0	75.5
8 h	-	-	-	-	69.5
12 h	-	-	-	-	53.8
16 h	-	-	-	-	28.0
20 h	-	-	-	-	0.0

A diferencia de otras especies de frutales, que habitualmente se conserva el polen a bajas temperaturas para conservar por más tiempo su germinación, como sucede en el caso de durazno (0 a 2° C, en frascos cerrados, por 1 a 2 años; Werner and Chang, 1981), fresa (-18° C,

por 1 año; Galleta, 1981), ciruelo (-18° C, por 1.1 a 1.2 años; Norton, 1966) y arándano azul (1.6 a 7° C, en recipiente sellado por 1 año; Cockerham and Galleta, 1976) los granos de polen aparentemente fueron sensibles a la baja temperatura, como sucede con las especies de origen tropical (Galleta, 1988).

Tamaño del polen y estructura de la exina. El diámetro ecuatorial del grano de polen no presentó diferencia entre los tres tipos de pitahaya evaluados (cuadro 9). Los granos de polen presentaron una tendencia a ser de menor diámetro en solferina, intermedio en blanca cultivada y mayor en roja. Los granos de polen de cactáceas pueden variar mucho de tamaño, incluso dentro de una misma especie (Tsukada, 1964).

Cuadro 9. Diámetro del grano de polen y características de la exina de cuatro tipos de pitahaya (*Hylocereus* sp). Polen colectado entre el 15 y 30 de junio de 1998 en Zacatlalmanco, D. F. y observado entre el 15 y 30 de octubre de 1998.

Variable.	Tipo de pitahaya.		
	Solferina	Roja	Blanca cultivada
Diámetro Ecuatorial del grano de Polen (μm)	74.4 a	77.1 a	75.6 a
Longitud de Microespinas (μm)	1.44 a	1.42 a	1.39 a
Diámetro de Microespinas (μm)	1.23 a	1.25 a	1.29 a
Densidad de Microespinas (por 100 μm^2)	3.43 a	3.24 a	3.46 a
Diámetro de Poro (μm)	1.18 a	1.20 a	1.09 a
Densidad de poros (por 100 μm^2)	6.73 b	7.68 a	7.12 ab

Mismas letras en la misma fila son estadísticamente similares, Tukey $\alpha \leq 0.05$.

Entre los granos de polen de los tipos blanca cultivada, roja y solferina, no se observó diferencia entre las estructuras de la exina estudiadas (cuadro 9). Sin embargo, se observó una ligera tendencia a ser más largas y angostas las microespinas en la exina del tipo solferina y más cortas y anchas en blanca cultivada (figura 14). Los poros de la exina fueron de menor diámetro en el tipo blanca cultivada con respecto de los de solferina y roja.

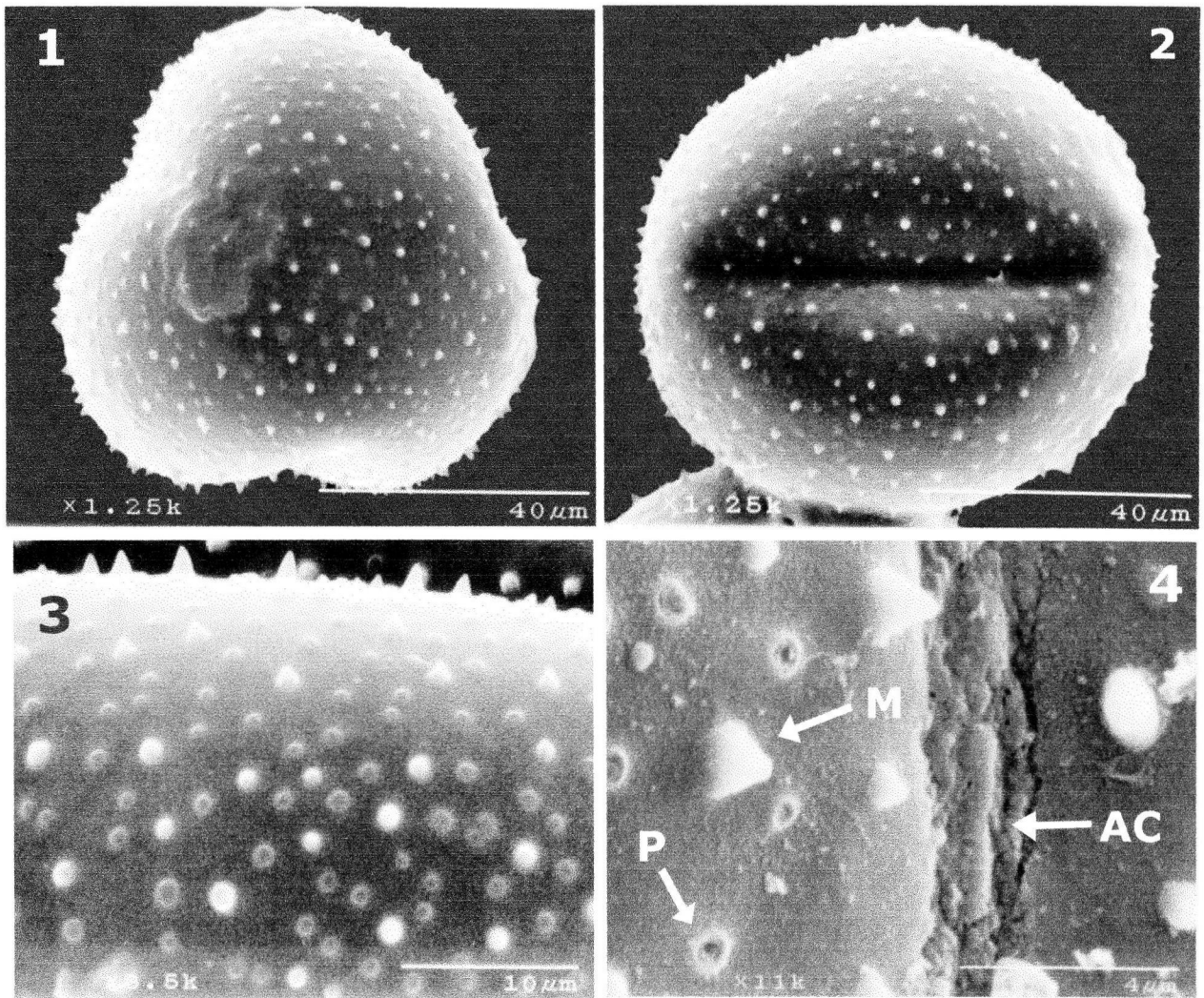


Figura 14. Características del grano de polen de pitahaya (*Hylocereus* sp), Vistas bajo Microscopio Electrónico de Barrido (S-2460N Hitachi). 1, Vista superior; 2, vista ecuatorial. AC, abertura del colpo; M, microespina; P, poro. 1 y 2, Polen del tipo solferina 1250 X; 3, polen de roja 3500 X; 4, polen de blanca cultivada 11000 X.

En la densidad de microespinas por 100 μm^2 , no se observó diferencia entre los tres tipos estudiados, pero hubo una tendencia a ser menor en el tipo roja con respecto de solferina y blanca cultivada. La densidad de poros por 100 μm^2 , presentó diferencias entre los tipos solferina y roja, siendo menor en el primero (cuadro 9); la densidad de poros en el tipo blanca cultivada fue intermedia entre los otros dos tipos. Las características de la exina de cactáceas pueden ser usadas para diferenciar especies (Kurtz and Leuenberger, 1976), pero en algunos casos aun entre géneros (*Stenocactus* y *Ferocactus*) pueden presentar mucha similitud, como observó González (1994) en 5 y 3 especies de los géneros anteriores, respectivamente.

4.1.3.5. Receptibilidad del estigma.

En la localidad de Xochitlán, los estigmas de los tipos blanca cultivada y solferina indujeron la germinación en más del 90 % de los granos de polen, desde la apertura floral y hasta las 24 hda; después de este periodo, se observó menos turgente el tejido del estigma y la germinación del polen decreció rápidamente (figura 15); Cuando la polinización se realizó a 44 hda, la germinación del polen se vio reducida a menos del 50 %, y en los lóbulos del estigma se observaron secciones secas. En Zacatlalmanco, la germinación del polen sobre los estigmas del tipo solferina fue prácticamente igual a la observada en Xochitlán (figura 15).

El periodo de receptibilidad del estigma de pitahaya, aunque mayor a los periodos de receptibilidad del melón, (*Cucumis melo*) y el mango, (*Mangifera indica*, 4 a 6 h), es menor a los de especies como el manzano (*Malus pumila*, 5 a 7 días) y al nogal pecanero, (*Juglans regia*, 8 a 22 días) (Pimienta, 1990). La similitud y diferencia en la duración de este periodo con estas especies está relacionado con el periodo de apertura floral, ya que la pitahaya, al igual que las dos primeras especies, tiene un periodo de apertura floral menor a 12 horas, mientras que en el manzano y en el nogal, la apertura floral dura varios días.

De todo el periodo receptivo del estigma, las primeras 16 hda fueron las importantes, ya que es cuando existió disponibilidad de polen y es cuando se observó la actividad de los agentes polinizantes, además de los mayores porcentajes de germinación de polen. El periodo receptivo restante, en apariencia fue intrascendental, por la falta de polen y visita de

polinizantes y aunque posteriormente existió disponibilidad de polen en las flores abiertas 24 h después, los agentes polinizantes solo visitaron las flores recién abiertas.

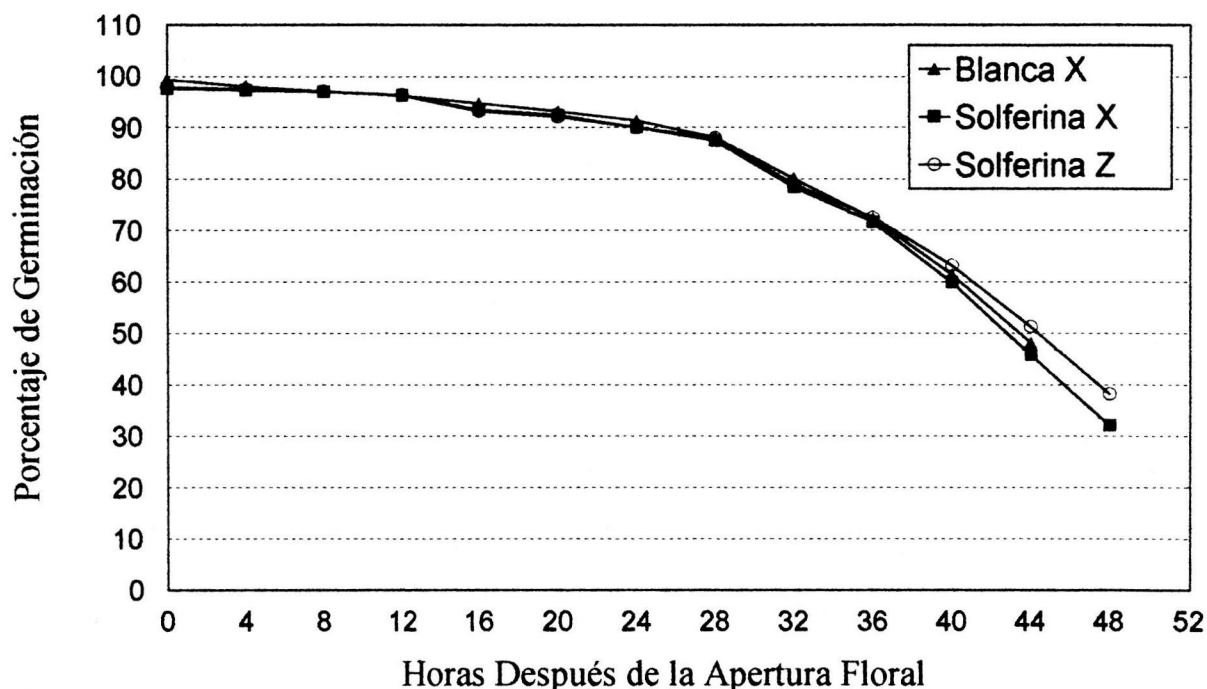


Figura 15. Receptibilidad de estigma de dos tipos de pitahaya (*Hylocereus* sp), expresada en porcentaje de granos de polen germinados en el tejido del estigma. Blanca cultivada, en Xochitlán, Puebla (X); solferina, en Xochitlán, Puebla y Zacatlalmanco, D. F. (Z).

4.1.3.6. Duración de la fase progámica.

Las primeras etapas de fase progámica en los tipos blanca cultivada, roja y solferina fueron similares en el tiempo de su realización; en los tres tipos el desarrollo de los tubos polínicos por el estigma y la entrada de estos en el estilo se llevó a cabo en el mismo tiempo. Sin embargo, el arribo de los tubos polínicos a la cavidad ovárica y la penetración a los óvulos no fue igual, pues a las 94 hdp presentaron diferentes porcentajes de óvulos penetrados (cuadro 10). En el tipo solferina se observó mayor porcentaje de óvulos penetrados y menor en el tipo blanca cultivada, debido probablemente a la diferencia en la longitud de sus estilos (de

4 a 5 cm de diferencia). De manera general, la fase progámica se cumplió entre las 86 a 90 hdp y en los tres tipos de pitahaya se observó que los tubos polínicos, en su extremo más próximo al grano de polen, presentaron mayor longitud de tapones de calosa, en comparación con el extremo más próximo a la cavidad ovárica, que fueron más cortos (figura 16).

Cuadro 10. Tiempo de realización de las etapas de la fase progámica (horas después de la polinización) en tres tipos de pitahaya, (*Hylocereus* sp), basado en los primeros tubos polínicos.

Etapa	Tipo de Pitahaya		
	Solferina ^A	Roja ^A	Blanca cultivada ^B
Inicio del desarrollo de los tubos polínicos entre las papilas del estigma	1 a	1 a	1 a
Entrada al canal del estilo	3 a	3 a	3 a
Llegada a la mitad del estilo	35.33 a	36.44 a	38.11 a
Entrada a la cavidad ovárica	62.78 b	64.67 ab	66.44 a
Porcentaje de óvulos penetrados a las 94 hdp.	38.89 a	24.33 b	12.67 c
Longitud del estilo (mm)	227.3 b	238.76 ab	254.11 a
Velocidad de Desarrollo del Tubo Polínico en el Estilo (mm/h)	3.72 a	3.76 a	3.80 a

A Estigmas polinizados con polen del tipo blanca cultivada.

B Estigmas polinizados con polen del tipo solferina.

Mismas letras en la misma fila son estadísticamente similares, Tukey $\alpha \leq 0.05$.

La fase progámica en pitahaya, tomando en cuenta la longitud del estilo (220 a 260 mm), fue relativamente rápida, ya que en especies de estilo pequeño como el aguacate (*Persea americana*, 3.5 mm), la fase se completa de 18 a 24 hdp (Sedgley, 1987) o en avellano (*Corylus avellana*), donde se completa en 10 días (Jona, 1985). Los tubos polínicos en los tres tipos de pitahaya, presentaron un crecimiento constante dentro del estilo, donde se observó una velocidad promedio de 3.76 mm/h, más del doble de la observada en Aguacate, 1.52 mm/h (Sedgley, 1977). Dentro de la cavidad ovárica se observó menor velocidad de desarrollo, 1.1 mm/h; esta disminución en el desarrollo es común en varias especies en las que se han realizado estudios (Pimienta, 1990).

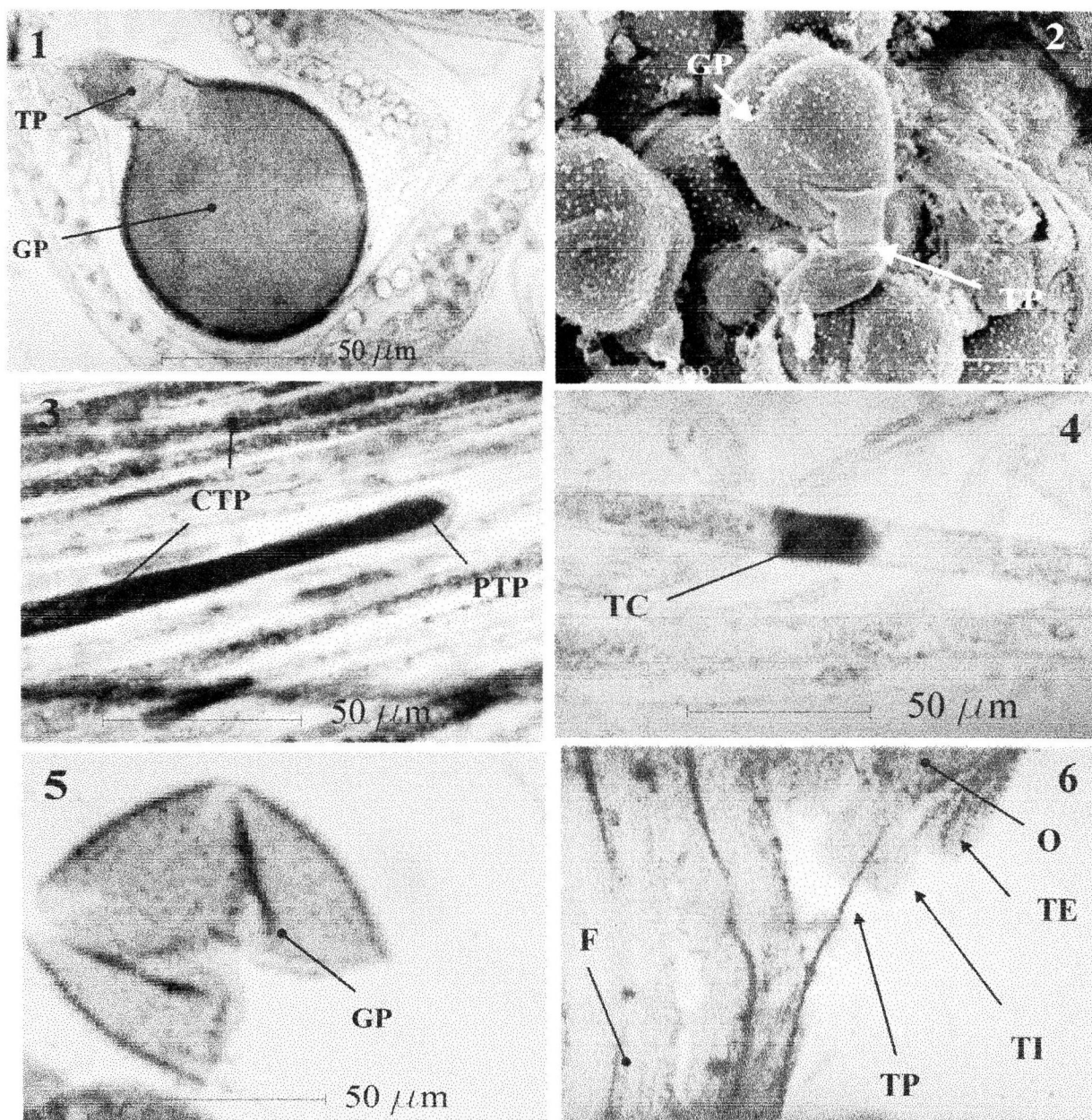


Figura 16. Desarrollo del tubo polínico en el gineceo de la pitahaya (*Hylocereus* sp) con polinización compatible. 1, Grano de polen 1 hora después de la polinización; 2, Granos de polen germinados en el estigma; 3, Punta de tubo polínico en el estilo; 4, Formación de tapón de calosa en el tubo polínico; 5, Grano de polen 90 horas después de la polinización; 6, Óvulo penetrado por el tubo polínico 90 horas después de la polinización. CTP, citoplasma del tubo polínico; GP, grano de polen; F, funículo; O, óvulo; PTP, punta del tubo polínico; TC, tapón de calosa; TE, tegumento externo; TI, tegumento interno; TP, tubo polínico. 1 a 5, Bajo microscopio óptico en 40 X; 6, bajo microscopio electrónico de barrido 600 X.

4.1.3.7. Periodo de polinización efectiva (PPE).

En la pitahaya blanca cultivada se observó amarre de frutos desde apertura floral y hasta las 40 hda (horas después de la apertura floral); sin embargo, durante este periodo, el porcentaje de amarre y de formación de semillas fue inconstante. En las primeras 32 horas del PPE se observó 100 % de amarre de frutos y posteriormente comenzó a bajar su porcentaje (figura 17). El porcentaje de semillas formadas fue similar en las primeras 4 horas del PPE, entre 83 y 84 % y conforme avanzó el PPE, se disminuyó el porcentaje (figura 18).

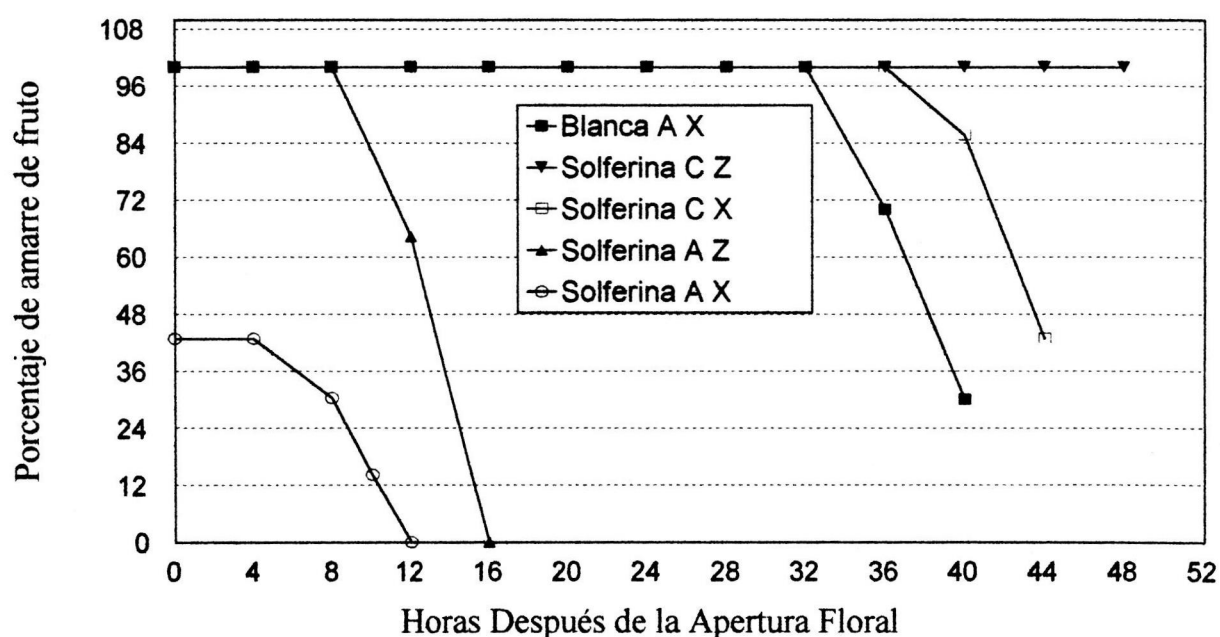


Figura 17. Porcentaje de amarre de frutos durante el periodo de polinización efectiva de dos tipos de pitahaya (*Hylocereus* sp). A, autopolinización; C, polinización cruzada; Z, en Zacatlalmanco; X, en Xochitlán. El tipo solferina es semi-autocompatible.

En la pitahaya solferina, utilizando PC, en Xochitlán, se observó amarre de frutos hasta las 44 hda. En las primeras 36 hda se observó 100 % de amarre y posteriormente comenzó a declinar el porcentaje. En la localidad de Zacatlalmanco, el amarre se observó hasta las 48 hda con 100 % de las flores polinizadas (figura 17). En las primeras 8 horas del periodo

efectivo de polinización, el porcentaje de semillas formadas se observó entre 80 y 86 en ambas regiones, disminuyendo en el resto del mismo; siendo más notoria la disminución en Xochitlán que en Zacatlalmanco (figura 18).

El periodo de polinización efectiva, tanto del tipo blanca cultivada (100 % de amarre a 32 hdaf y 30 % a 40 hdaf, en autopolinización) como del tipo solferina (100 % de amarre a 48 hdaf, en polinización cruzada) fue mayor al observado por Weiss *et al.* (1994) en dos tipos de pitahaya al realizar polinización cruzada. Estos autores observaron en *H. polyrhizus* e *H. costaricensis* 100 % de amarre de frutos hasta las 24 hdaf y 38 y 20 % de amarre a 36 hdaf; posteriormente, a 40 hdaf no presentaron amarre.

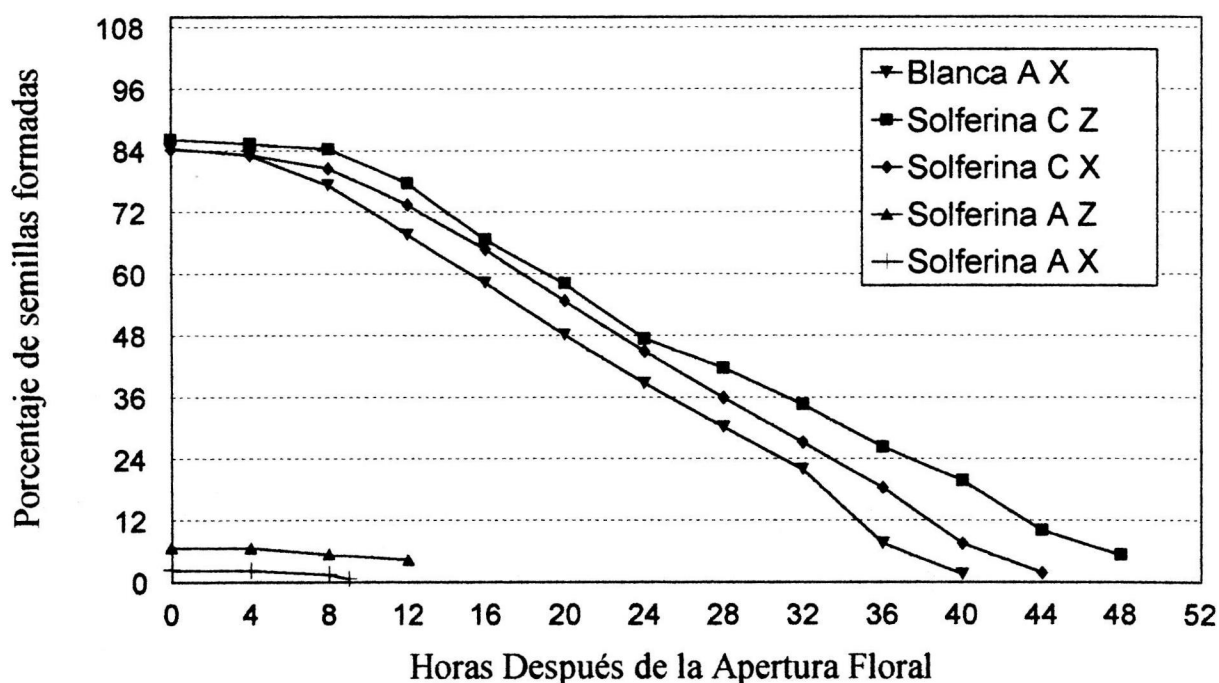


Figura 18. Porcentaje de semillas formadas en el fruto con respecto al número promedio de óvulos por ovario, durante el periodo de polinización efectiva de dos tipos de pitahaya (*Hylocereus* sp). A, autopolinización; C, polinización cruzada; Z, en Zacatlalmanco; X, en Xochitlán. El tipo solferina es semi-autocompatible.

Entre los tipos de pitahaya, blanca cultivada y solferina se observó que el PPE en Xochitlán, fue ligeramente más prolongado en el tipo solferina. Esta diferencia, probablemente es debida a la diferencia existente en la longitud del estilo (alrededor de 4 cm mas corto en solferina), que afecta directamente la duración de la fase progámica, que fue menor en el tipo solferina. Al llegar más pronto los tubos polínicos a los óvulos, se ve incrementado el periodo de oportunidad de fecundarlos (el PPE).

En las flores del tipo solferina, cuando se autopolinizaron, el PPE fue diferente en las dos localidades. En Xochitlán se obtuvo amarre de fruto hasta las 10 hdaf, mientras que en Zacatlalmanco se observó amarre hasta las 12 hdaf (figura 17). En Xochitlán solo se pudo observar un máximo de 42.86 % de amarre y entre 2.2 y 2.3 % de semillas formadas durante las primeras 4 hdaf, mientras que en Zacatlalmanco se observó 100 % de amarre y entre 5.5 y 6.7 % de semillas formadas hasta las primeras 8 hdaf (figuras 17 y 18).

4.1.3.8. Viabilidad de los óvulos.

Tomando en cuenta el PPE del tipo blanca cultivada, agregando las 90 horas de la duración de la fase progámica en este tipo y las 4 horas que permanece constante el porcentaje de formación de semillas en el PPE, se hace la suposición de que los óvulos permanecieron viables alrededor de 94 hdaf, y posteriormente comenzaron a senescer, hasta permanecer 2 % de óvulos viables a 130 hdaf (figura 19).

Para el tipo solferina, tomando en cuenta que el porcentaje de formación de semillas en el PPE se mantuvo constante por 8 h (con polen de blanca cultivada) y que la fase progámica en este tipo se realizó en 86 h (con polen de blanca cultivada), se hace la suposición de que los óvulos fueron viables hasta 96 hdaf y posteriormente comenzaron a senescer, hasta las 130 (en Xochitlán) o 134 hdaf (en Zacatlalmanco), en donde probablemente, de un 1.8 (Xochitlán) o 5.3 % (Zacatlalmanco) de los óvulos permanecieron viables (figura 19).

En la localidad de Zacatlalmanco, el PPE y la viabilidad de los óvulos del tipo solferina, fueron de mayor duración, alrededor de 8 horas, en comparación con los presentados en Xochitlán, (utilizando polen de blanca cultivada en ambos lugares) (figura 20).

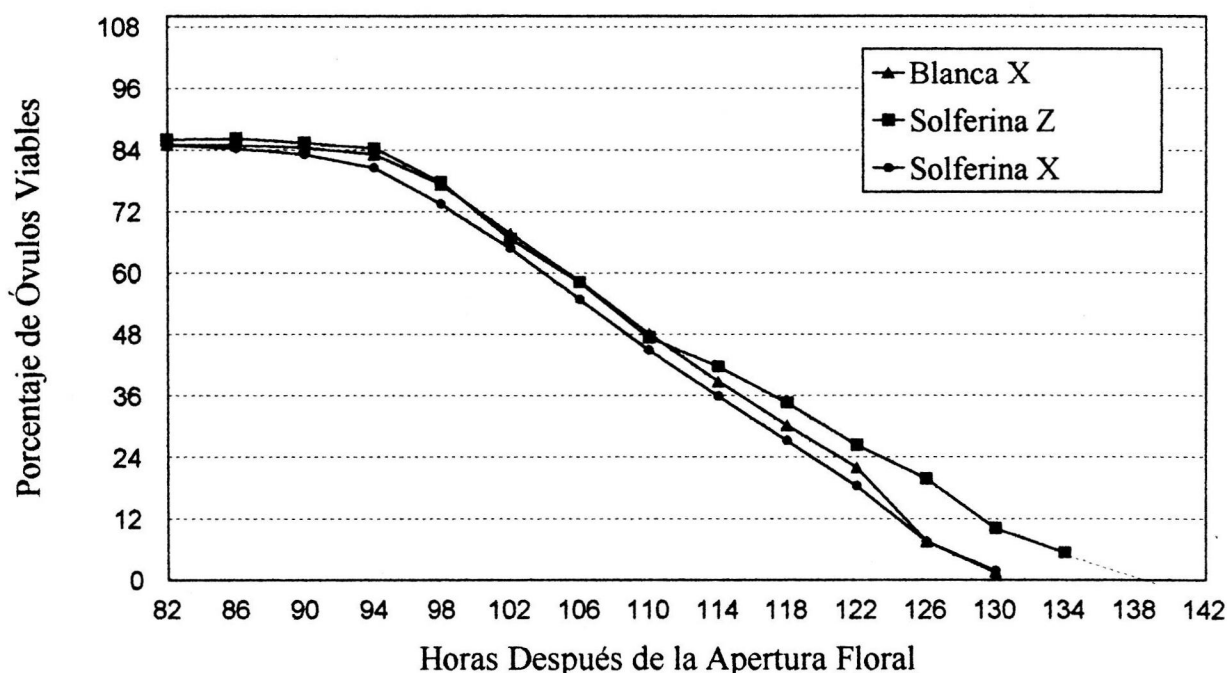


Figura 19. Periodo estimado de viabilidad de óvulos de dos tipos de pitahaya (*Hylocereus* sp), expresada en porcentaje de óvulos viables con respecto al número total promedio por ovario; Z, en Zacatlalmanco; X, en Xochitlán.

La diferencia en la duración de estos periodos, probablemente fue por efecto de la temperatura ambiental predominante, ya que en Xochitlán la temperatura media fue de 21° C, mientras que en Zacatlalmanco fue de 18° C. En climas más extremos la viabilidad de los óvulos tiende a disminuirse (Pimienta 1990). En el cultivar de peral “Doyenné du Comice” el PPE se vio reducido en un día (de 9 a 8) y los porcentajes de amarre de fruto se disminuyeron en más del 50 % cuando la floración se desarrollo a 17° C, en comparación de cuando se desarrollo a 13° C; y en el cultivar de manzano “Golden Delicious”, se presentó la misma respuesta cuando la floración se desarrolló a 13° C y 19° C, respectivamente (Tromp and Borsboom, 1994).

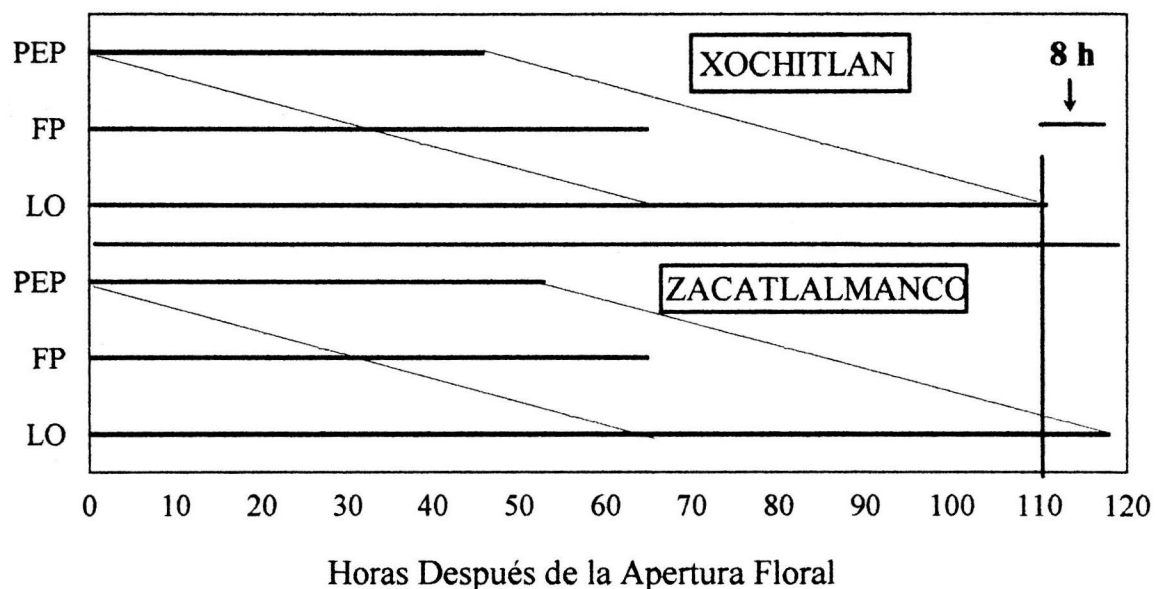


Figura 20. Diferencias en el periodo de polinización efectiva y viabilidad de óvulos en la pitahaya solferina (*Hylocereus* sp), utilizando polinización cruzada, en dos localidades; PPE, periodo de polinización efectiva; FP, fase progámica; LO, Longevidad de óvulos.

4.1.4. Características de los Frutos.

Las características de los frutos presentaron variación entre los tipos de pitahaya, encontrándose diferencias, tanto en su aspecto externo como interno (cuadro 11). Los frutos del tipo blanca cultivada fueron de mayor peso, longitud y diámetro, con respecto de los frutos de los demás tipos, mientras que los frutos del tipo solferina, fueron los de menor peso, longitud y diámetro. El tipo roja, presentó frutos de forma más alargadas (índice de redondez más alejado del valor 1), mientras que los frutos del tipo solferina fueron más redondos (con índice de redondez cercano al 1) (cuadro 11).

En el tipo roja se observó mayor número de escamas con respecto de los demás tipos. El porcentaje de pulpa fue mayor en el tipo blanca silvestre y menor en el tipo roja. El tipo solferina presentó mayor valor de la relación pulpa-semilla con respecto de los demás tipos.

Cuadro 11. Características generales de frutos de cuatro tipos de pitahaya, (*Hylocereus* sp). Frutos de blanca cultivada, roja y solferina, provenientes de polinización libre de Tehuacán, Puebla; blanca silvestre de polinización cruzada (polen de blanca silvestre) de Zacatlalmanco, D F, durante junio de 1997.

Característica	Tipo de Pitahaya					
	Solferina	Roja	Blanca cultivada	Blanca Silvestre	CV	DMS
Peso de Fruto (g)	184.45 c	263.31 bc	365.28 a	280.58 ab	16.47	89.03
Longitud (mm)	78.81 c	117.15 a	104.06 ab	89.81 bc	10.04	15.09
Diámetro (mm)	67.01 b	66.68 b	71.50 ab	76.01 a	8.57	5.34
Índice de Redondez	1.17 c	1.68 a	1.50 b	1.18 c	14.58	0.23
# de Escamas	19.70 b	42.04 a	19.46 b	22.70 b	21.84	11.78
Color de Cáscara	Roja	Rosa	Rosa	Rosa	-	-
% de Pulpa	76.50 ab	73.02 b	77.09 ab	81.37 a	4.87	5.41
Color de Pulpa	Solferina	Roja-Solferina	Blanca	Blanca	-	-
Grados Brix	12.34 a	12.00 a	11.05 a	11.43 a	6.47	2.57
# de Semillas	953.50 c	2828.37 b	6191.75 a	4391.10 b	21.87	1663.14
Relación Pulpa-Semilla	84.71 a	47.95 b	31.46 b	34.64 b	30.41	18.66

Mismas letras en la misma hilera son estadísticamente similares, Tukey $\alpha \leq 0.05$.

En general se observa que, a pesar de haberse encontrado diferencias estadísticas entre las diferentes variables estudiadas, no existió una clara tendencia de similitud o diferencia entre los frutos de los tipos blanca cultivada, roja y solferina. Solo entre los tipos blanca cultivada y blanca silvestre se presentó similitud en la mayoría de las variables estudiadas, exceptuando las variables de índice de redondez y cantidad de semillas por fruto. En los cuatro tipos de pitahaya fueron similares los grados Brix de la pulpa, sin embargo se observó la tendencia de ser mayor el valor en los tipos solferina y roja.

Entre los frutos de los diferentes clones del tipo blanca silvestre se encontró variación en sus características, principalmente en el peso de fruto, índice de redondez, porcentaje de pulpa e índice de eficiencia de pulpa (cuadro 12). Sin embargo, las diferencias no son constantes, entre determinados clones, de tal forma que los separen del tipo de pitahaya silvestre formado.

Cuadro 12. Características generales de frutos de siete clones provenientes de Cuetzalan, Puebla y dos provenientes de Teapa, Tabasco, del tipo de pitahaya Blanca Silvestre, (*Hylocereus undatus*), obtenidos de polinización manual cruzada en Zacatlalmanco D. F. durante junio de 1997.

Variable	Clones del Tipo Blanca Silvestre								
	C-1	C-2	C-3	C-7	C-10	C-11	C-12	T-1	T-2
Peso de Fruto (g)	250.7 c	256.8 bc	266.2 bc	390.9 a	275.6 bc	268.3 bc	283.6 bc	187.5 c	345.6 ab
Longitud (mm)	99.1 a	80.0 b	97.2 a	90.3 a	85.1 ab	88.1 ab	97.0 a	72.0 b	99.5 a
Diámetro (mm)	73.6 ab	74.5 ab	70.8 b	79.0 a	82.4 a	75.2 ab	81.2 a	66.1 b	81.3 a
Índice de Redondez	1.35 ab	1.07 c	1.37 a	1.14 c	1.03 c	1.17 c	1.19 b	1.09 c	1.22 abc
# de Escamas	21.4 a	22.1 a	19.3 a	24.6 a	22.1 a	22.2 a	23.6 a	25.0 a	24.2 a
Color de Cáscara	Rosa	Rosa	Rosa	Rosa	Rosa	Rosa	Rosa	rosa	Rosa
% de Pulpa	82.8 ab	82.3 ab	76.4 c	85.5 a	81.8 ab	81.1 abc	82.0 ab	79.8 b	80.7 abc
Color de Pulpa	Blanca	Blanca	Blanca	Blanca	Blanca	Blanca	Blanca	Blanca	Blanca
Grados Brix	11.2 a	11.4 a	11.2 a	11.4 a	11.1 a	12.2 a	11.5 a	12.0 a	10.9 a
# de Semillas	4826 a	3976 ab	3945 ab	4539 ab	4481 ab	4189 ab	3706 ab	4034 ab	3215 b
Eficiencia de Pulpa	26.7 bc	38.8 ab	32.2 bc	52.9 a	33.3 bc	35.8 abc	43.9 ab	19.5 c	45.57 ab

Mismas letras en una misma hilera son estadísticamente similares, Tukey $\alpha \leq 0.05$.

4.1.5. Características de la Semilla.

Entre los cuatro tipos de pitahaya se encontró diferencia en el tamaño de la semilla (cuadro 13). El tipo solferina presentó el mayor peso y longitud de semilla. Los tipos roja y

blanca silvestre fueron intermedios y similares entre sí, mientras que el tipo blanca cultivada fue el que presentó los menores pesos y longitud de semilla. La longitud del hilo fue similar en las semillas de los cuatro tipos de pitahaya, sin que se encontrara diferencia estadística (cuadro 13). Sin embargo, se observó una tendencia a ser mayor en el tipo blanca silvestre, seguida de los tipos roja y blanca cultivada y menor en el tipo solferina.

Cuadro 13. Características de la semilla de cuatro tipos de pitahaya (*Hylocereus* sp). Semillas de blanca cultivada, roja y solferina, provenientes de polinización libre de Tehuacán, Puebla; y blanca silvestre obtenidas con polinización cruzada (polen de blanca silvestre) de Zacatlalmanco, D. F., durante junio de 1997.

Variable	Tipo de Pitahaya			
	Solferina	Roja	Blanca cultivada	Blanca Silvestre
Peso de Semilla (mg)	2.18 a	1.56 b	1.25 c	1.58 b
Longitud de semilla (mm)	2.78 a	2.60 ab	2.34 c	2.58 b
Longitud de Hilo (mm)	1.41 a	1.44 a	1.43 a	1.46 a

Mismas letras en una misma hilera son estadísticamente similares, Tukey $\alpha \leq 0.05$.

Los diferentes clones del tipo blanca silvestre presentaron diferencias estadísticas en las características de la semilla (cuadro 14). Los dos clones provenientes de Teapa, Tabasco (T-1 y T-2), presentaron mayor peso y longitud de semilla en comparación de los clones provenientes de Cuetzalan, Puebla (C-n). En la longitud del hilo, se observaron pocas diferencias entre los diferentes clones del tipo blanca silvestre (cuadro 14). El clon de mayor longitud de hilo fue C-10, mientras que el de menor longitud fue el clon C-7. Los demás clones presentaron valores similares e intermedios entre los clones C-10 y C-7.

Las células de la testa de las tres áreas observadas: base del ala, parte intermedia y parte central de la semilla, presentaron una forma predominantemente hexagonal en los cuatro tipos de pitahaya. Dentro de una misma semilla, las células variaron en su simetría, siendo algunas alargadas y otras equidistantes; otras de lados irregulares y otras casi de la misma longitud.

Cuadro 14. Características de la semilla de nueve clones de pitahaya blanca silvestre (*Hylocereus undatus*), provenientes de polinización cruzada con polen de blanca silvestre de Zacatlalmanco, D. F., durante junio de 1997.

Clon del Tipo Blanca Silvestre	Variable		
	Peso de Semilla (mg)	Longitud de semilla (mm)	Longitud de Hilo (mm)
C-1	1.61 bc	2.50 b	1.46 ab
C-2	1.37 c	2.42 b	1.39 ab
C-3	1.66 b	2.74 a	1.43 ab
C-7	1.39 c	2.39 c	1.35 b
C-10	1.51 bc	2.60 ab	1.56 a
C-11	1.45 c	2.57 ab	1.48 ab
C-12	1.43 c	2.61 ab	1.50 ab
T-1	1.90 a	2.72 a	1.47 ab
T-2	1.91 a	2.70 a	1.53 ab

Mismas letras en una misma columna son estadísticamente similares, Tukey $\alpha \leq 0.05$.

También, en la testa de una misma semilla, se encontraron algunas células pentagonales y otras heptagonales. En las células de la testa de la base del ala de la semilla de todos los clones estudiados, presentaron de fuerte a media cantidad de trabéculas, a excepción de los clones de solferina (TP-1 y XO-1), que no presentaron estas estructuras (figura 21), y de alta a media profundidad de puntuaciones a excepción del clon C-7, del tipo blanca silvestre, que fueron bajas en estas células (figura 21). En la parte intermedia de la testa, entre la parte central y la base del ala, las células de todos los clones presentaron de baja a media cantidad de trabéculas y baja a nula profundidad de puntuaciones; solo en el clon T-2, se observó media profundidad de puntuación (figura 21). En la parte central de la testa, las células de todos los clones no presentaron trabéculas ni puntuaciones.

En todos los clones, se observó una tendencia a ser mayor la presencia de trabéculas y mayor la profundidad de las puntuaciones en las células de la testa de la base del ala y disminuirse en un gradiente, conforme se encontraban más cerca de la parte central de la testa, donde no se visualizó ninguna de estas estructuras.

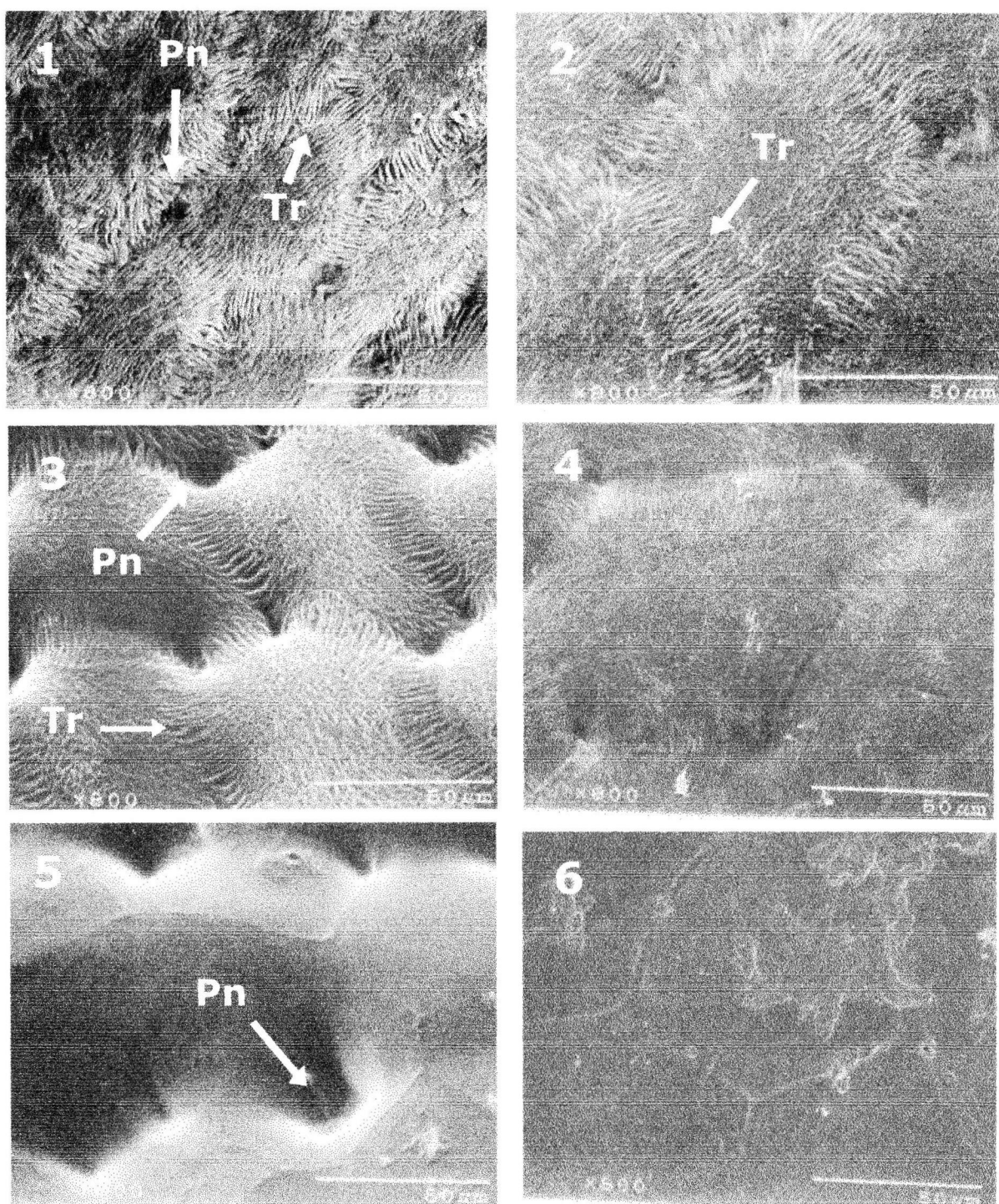


Figura 21. Características de la testa de la semilla de 4 tipos de pitahaya, (*Hylocereus* sp), de frutos de polinización libre. 1, 3 y 5, tomada de la base del ala de la testa; 2 y 4, tomada en la parte intermedia; 6, tomada en la parte central; 1, Blanca cultivada; 2-3, Roja; 4-6, solferina. Pn, puntuaciones; Tr, travéculas. Fotografías tomadas a 800 X.

4.2. POLINIZACIÓN EN LOS TIPOS DE PITAHAYA.

4.2.1. Efecto de la Polinización Sobre el Desarrollo de los Tubos Polínicos.

4.2.1.1. Desarrollo de tubos polínicos en la pitahaya blanca cultivada.

Durante la fase del desarrollo de los tubos polínicos, se observó similar respuesta entre las diferentes fuentes de polen, siendo prácticamente igual el desarrollo entre el de solferina y roja (PC), y estadísticamente similar con AP ($\alpha= 0.05$). Los tubos polínicos desarrollaron ligeramente más rápidos en la PC en comparación con los de AP (figura 22). En el desarrollo de tapones de calosa, aunque presentaron mayor longitud promedio en AP, en comparación con PC (figura 23), fueron estadísticamente similares ($\alpha= 0.05$). En los estilos de PL se observó un desarrollo de los tubos polínicos igual que en AP, que hace suponer la presencia de AP natural en la PL.

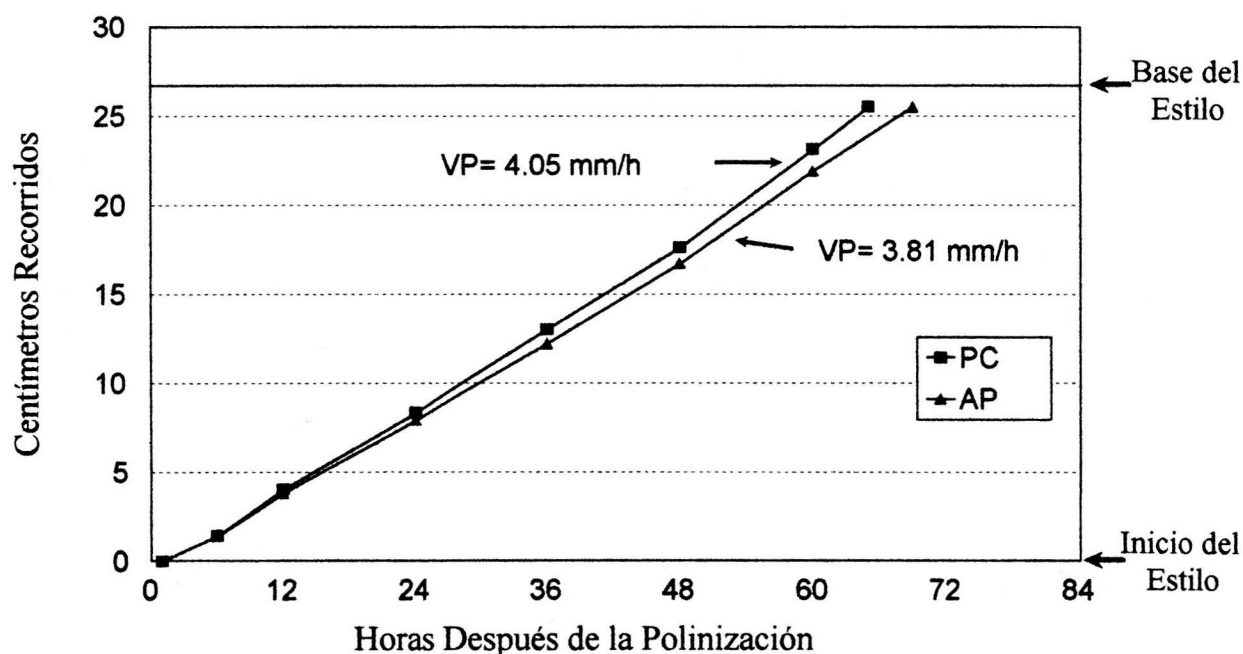


Figura 22. Velocidad de desarrollo de tubos polínicos en el estilo de la flor de pitahaya blanca cultivada (*Hylocereus* sp). PC, polinización cruzada; AP, autopolinización. VP, velocidad promedio. Polinización realizada en Acapa, Puebla.

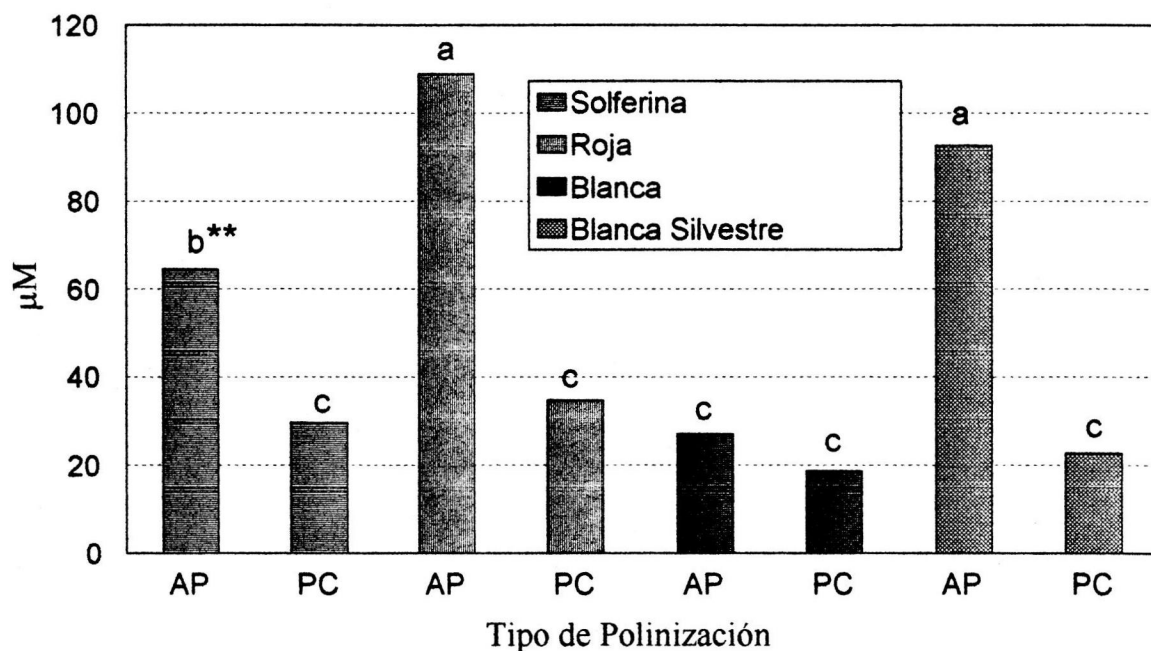


Figura 23. Longitud de tapones de calosa de los tubos polínicos desarrollados en el estigma de cuatro tipos de pitahaya (*Hylocereus* sp). AP, autopolinización; PC, polinización cruzada. Roja y blanca cultivada en Acapa, Puebla; solferina en Xochitlán; Blanca silvestre en Zacatlalmanco (**). Mismas letras son estadísticamente similares, Tukey $\alpha \leq 0.05$.

4.2.1.2. Desarrollo de tubos polínicos en la pitahaya roja.

En este tipo de pitahaya se observó una gran diferencia en el desarrollo de los tubos polínicos ($\alpha = 0.05$). En la PC se observó la fase progámica completa; es decir, los tubos polínicos se desarrollaron hasta llegar a penetrar a los óvulos, mientras que en AP, los tubos polínicos detuvieron su crecimiento en el primer centímetro del estilo y no se completó la fase progámica (figura 24). El desarrollo de los tubos polínicos fue similar entre las dos fuentes de polen de PC (solferina y blanca cultivada). En cuanto a la longitud de los tapones de calosa, se observó también una gran diferencia entre las fuentes de polen ($\alpha = 0.05$), ya que en AP fueron mucho mayores que los desarrollados en los tubos polínicos de la PC (figura 23).

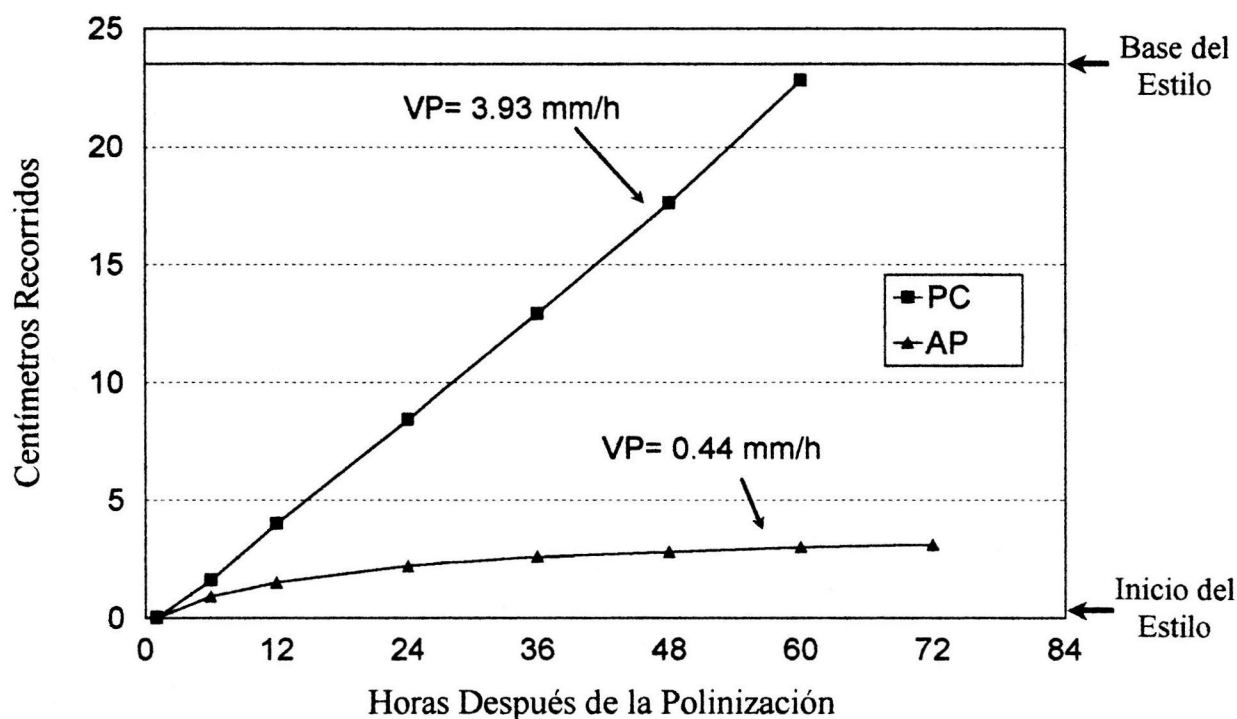


Figura 24. Velocidad de desarrollo de tubos polínicos en el estilo de la flor de la pitahaya roja (*Hylocereus* sp). PC, polinización cruzada; AP, autopolinización. VP, velocidad promedio. Polinización realizada en Acapa, Puebla.

En los estilos de las flores de PL se observó un gran número de tubos polínicos inhibidos en la entrada del estilo y otros que desarrollaron hasta los óvulos, lo que hace suponer que la mayoría del polen germinado provenía de la misma flor y la menor parte que desarrollo satisfactoriamente provino de alguna flor de otro tipo de pitahaya, trasladado por algún polinizante.

4.2.1.3. Desarrollo de tubos polínicos en la pitahaya solferina.

En este tipo de pitahaya también fue marcada la diferencia en el desarrollo de los tubos polínicos provenientes de AP y PC ($\alpha = 0.05$). En PC, el desarrollo de los tubos polínicos, tanto del generado por el polen de blanca cultivada como de roja, fue similar a los observados

en los otros tipos bajo PC y su desarrollo culminó al completar la fase progámica, mientras que en AP la mayoría de los tubos polínicos detuvieron su crecimiento al entrar en el estilo y otro tanto menor no pasó el primer tercio del estilo; solo entre 300 y 1 200 tubos polínicos llegaron a penetrar la cavidad ovárica y completar la fase progámica; sin embargo, su desarrollo fue más lento y desuniforme en comparación con la PC, provocando el alargamiento de la fase progámica (figura 25).

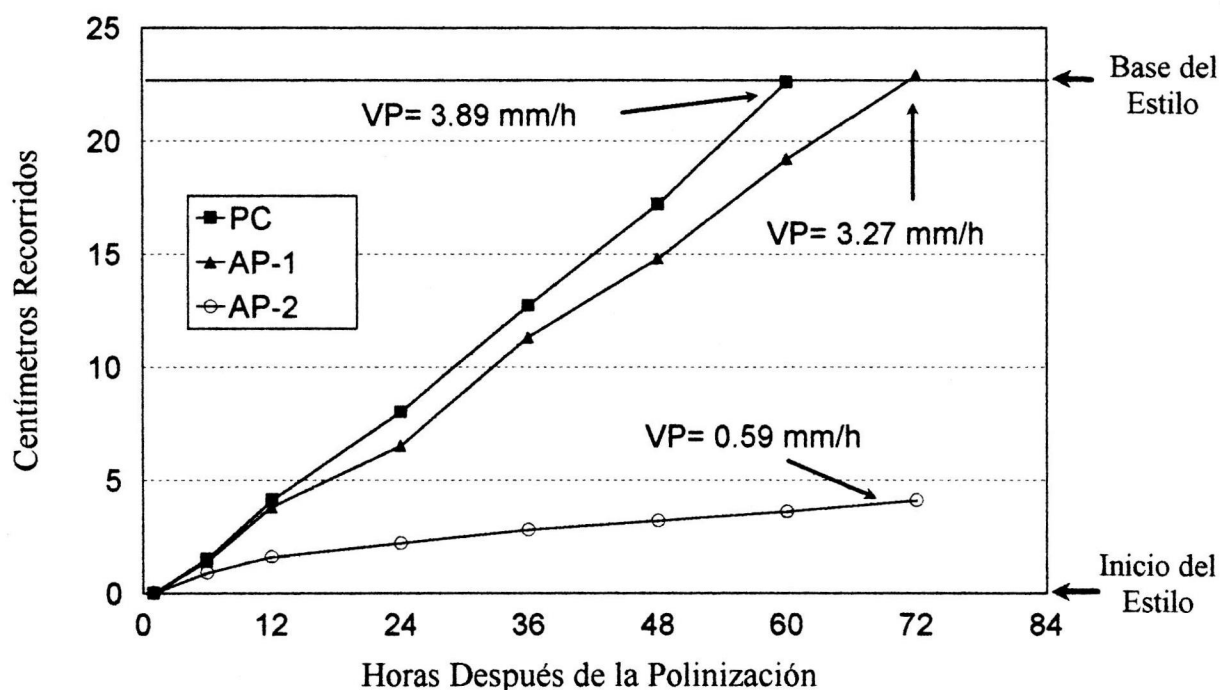


Figura 25. Velocidad de desarrollo de tubos polínicos en el estilo de la flor de pitahaya solferina (*Hylocereus* sp). PC, polinización cruzada; AP-1, autopolinización, tubos polínicos que llegaron al ovario; AP-2, autopolinización, tubos polínicos que se inhibieron en la entrada del estigma; VP, velocidad promedio. En Xochitlán, Puebla.

La formación de tapones de calosa también fue diferente entre AP y PC, siendo de mayor tamaño en AP. En los estilos colectados de flores bajo PL se observó un comportamiento similar a la AP, pero en algunos casos fue menor el número de tubos polínicos desarrollados hasta la cavidad ovárica y en otros mayor (Menos del 5 % de las flores

observadas), tomando en cuenta que algunas flores coincidieron en su apertura con flores del tipo blanca cultivada. En AP y PC realizadas entre los dos clones de solferina desarrollados en Zacatlalmanco, se observó un desarrollo de tubos polínicos similar a la AP realizada en Xochitlán, pero ligeramente mayor en el número de tubos polínicos que completaron la fase progámica (600 a 1 500). En apariencia esta respuesta muestra la probabilidad de que se trate del mismo clon.

En la formación de tapones de calosa se observó diferencia entre los tubos polínicos de PC y los de AP ($\alpha = 0.05$), siendo en promedio de mayor longitud los formados en AP, con respecto de los formados en PC (figura 23); También se encontró que entre los tubos formados en AP, había diferencia entre los tubos polínicos inhibidos y los que completaron normalmente la fase progámica; los tubos inhibidos presentaron tapones de calosa de mayor longitud y los tubos polínicos que llegaron a los óvulos presentaron tapones de calosa de menor longitud y similar a los tapones observados en tubos polínicos de PC.

4.2.1.4. Desarrollo de tubos polínicos en la pitahaya blanca silvestre.

En el grupo de pitahaya blanca silvestre se observó un desarrollo similar al observado en el tipo roja; en PC, sin influenciar la fuente de polen, se cumplió la fase progámica satisfactoriamente, mientras que en AP el desarrollo de los tubos polínicos se detuvo por completo al entrar al estilo, en los primeros dos centímetros de este (figura 26). Los tapones de calosa formados en los tubos polínicos de AP fueron de mayor longitud en comparación con los desarrollados en cualquier caso de PC (figura 23). Este comportamiento se observó en los diferentes clones del grupo.

En los tipos estudiados de pitahaya, cuando se trató de polinización compatible, se observó el desarrollo de los tubos polínicos hasta completar la fase progámica, mientras que en polinizaciones incompatibles o semi-compatibles se manifestó una inhibición del crecimiento de los tubos polínicos en la entrada al estilo, siendo pocos los tubos polínicos que llegaron a recorrer los dos primeros centímetros de la cavidad del estilo y no llegaron a completar la fase progámica (figura 27).

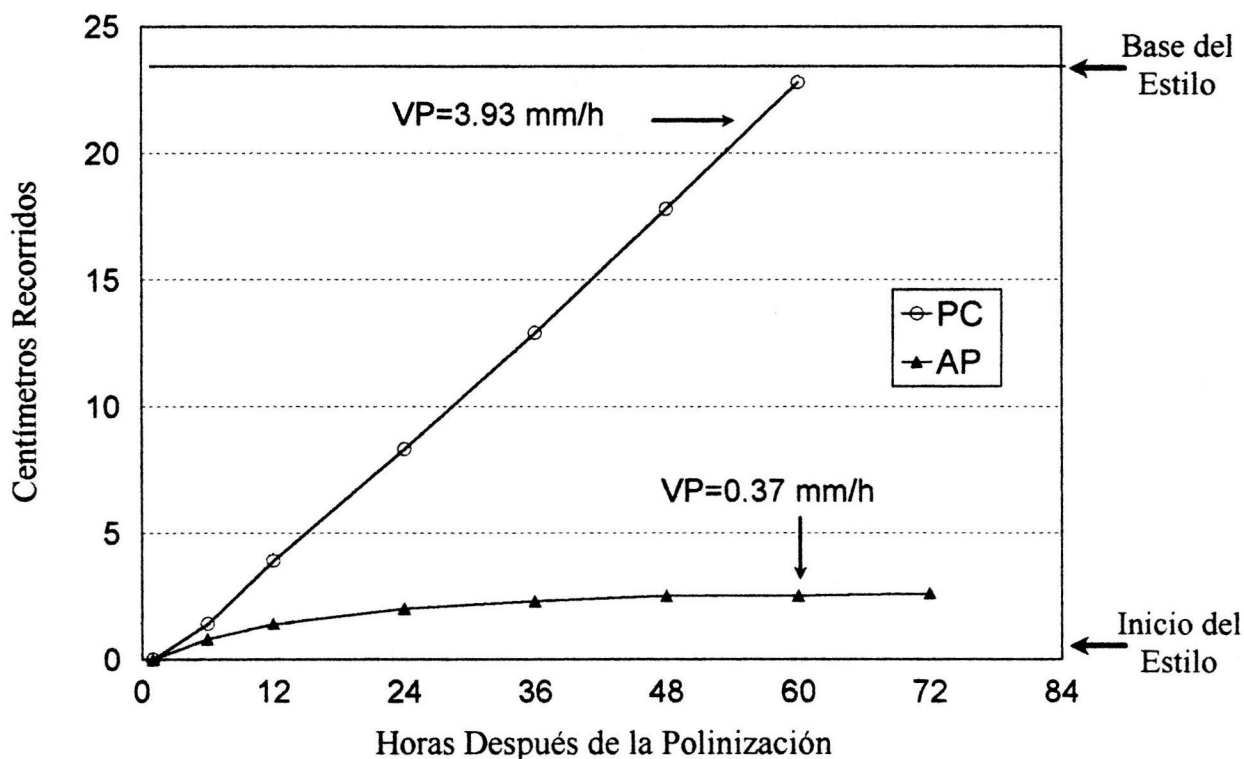


Figura 26. Velocidad de desarrollo de tubos polínicos en el estilo de la flor de pitahaya blanca silvestre (*Hylocereus* sp). PC, polinización cruzada; AP, autopolinización. VP, velocidad promedio. Polinización en Zacatlalmanco D. F.

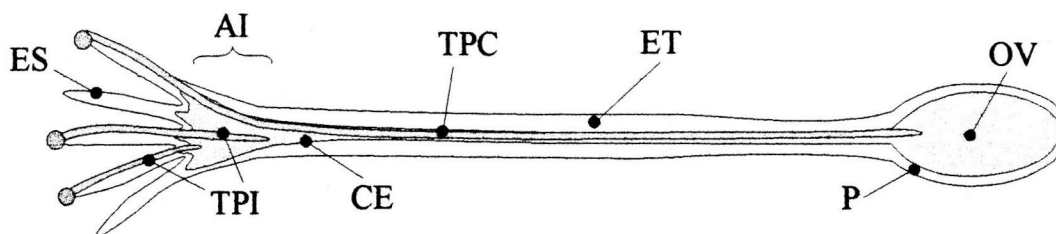


Figura 27. Grado de desarrollo de tubos polínicos compatible e incompatible, en el estilo de flores de pitahaya (*Hylocereus* sp). AI, área de inhibición de tubos polínicos en el canal estilar; CE, canal estilar; ES, lóbulo del estigma; ET, estilo; OV, ovario; P, pericarpelo; TPC, tubo polínico compatible con el estilo; TPI, tubo polínico incompatible con el estilo.

4.2.2. Efecto de la Polinización Sobre el Amarre de Frutos.

Entre 5 y 7 ddp se observó la respuesta de amarre de fruto, la cual se caracterizó por presentar una línea de abscisión entre el pericarpelo y el tubo receptacular.

4.2.2.1. Pitahaya blanca cultivada.

La respuesta de amarre se presentó sin diferencia alguna en todas las flores polinizadas de PC AP y PL y sin mostrar caída alguna de flores (cuadro 15), característica que Jiménez *et al.* (1997) ya habían observado en *H. undatus* de origen cultivado.

Cuadro 15. Porcentaje de amarre de frutos de acuerdo a la fuente de polen en cuatro tipos de pitahaya, (*Hylocereus* sp). Solferina en Xochitlán, Pue, roja y blanca cultivada en Acapa, Puebla; blanca silvestre en Zacatlalmanco D. F.

Fuente de Polen	Tipo de Pitahaya Receptora de Polen			
	Solferina	Roja	Blanca cultivada	Blanca Silvestre
Solferina	25 b	100 a	100 a	100 a
Roja	100 a	0	100 a	100 a
Blanca cultivada	100 a	100 a	100 a	100 a
Polinización Libre	1.6 c	12 b	100 a	0
Blanca Silvestre, Mismo Clon	-	-	-	0
Blanca Silvestre, Diferente Clon	-	-	-	100 a

Mismas letras en la misma columna, son estadísticamente similares. Tukey $\alpha \leq 0.05$

4.2.2.2. Pitahaya roja.

En este tipo de pitahaya cuando se realizó la PC, la respuesta de amarre se dio en el mismo lapso que en blanca cultivada, mientras que en las flores con AP y en la mayoría de las flores de PL no se observó esta respuesta. En estos dos tipos de polinización las flores perdieron su color verde y abscisionaron a los 10 ddp; estas flores caídas, en su corte longitudinal del pericarpelo mostraron los óvulos marchitos y muertos (cuadro 15). El porcentaje de amarre en PL

fue inferior al reportado por Cruz (1994b), para este tipo de pitahaya roja, en las mismas condiciones de polinización libre ($\pm 25 \%$).

4.2.2.3. Pitahaya solferina.

En esta pitahaya, en la comunidad de Xochitlán, cuando se aplicó PC, se dio la respuesta de amarre del fruto como en los demás tipos, sin mostrar alguna diferencia entre la fuente del polen, pero al aplicar AP casi en su totalidad las flores abscisionaron; una respuesta similar se observó en PL, pero con un porcentaje de amarre muy inferior (cuadro 15). Este porcentaje de amarre con AP, fue inferior al reportado por Páez (1995), cuando realizó AP en la hora de apertura floral (40 a 43 %). En las flores abscionadas de AP, al cortarlas longitudinalmente se observó el inicio de desarrollo de algunos óvulos. En el 80 % de las flores abscionadas de AP se observaron entre 5 y 50 óvulos vivos, mientras que en las flores de PL no se encontró ningún óvulo vivo. Los óvulos en desarrollo se observaron de color blanco y de mayor tamaño, mientras que los óvulos sin desarrollo estaban de color café y de tamaño reducido.

En Zacatlalmanco, al realizar AP y PC entre los clones solferina XO y solferina TP se observó una similar respuesta en el amarre; en ambos casos la caída de flores fue escasa (entre 87 y 92 % de amarre de fruto). El amarre de frutos bajo AP en esta localidad fue alto, en comparación con el de Xochitlán (figura 28), probablemente influenciado por la temperatura media durante la polinización, alrededor de 19° C en Zacatlalmanco y de 24° C en Xochitlán.

En ambas localidades la velocidad de desarrollo del tubo polínico fue similar; sin embargo, como ya se analizó anteriormente, el periodo efectivo de polinización en Zacatlalmanco fue alrededor de 8 horas más prolongado que en Xochitlán, dándole a los tubos polínicos una mayor oportunidad de fecundación de los óvulos. El desarrollo de los tubos polínicos se acelera cuando se incrementa la temperatura ambiental; sin embargo, también se acelera la senescencia de los óvulos, pero a un mayor ritmo, por lo que el PPE se disminuye (Tromp and Borsboom, 1994).

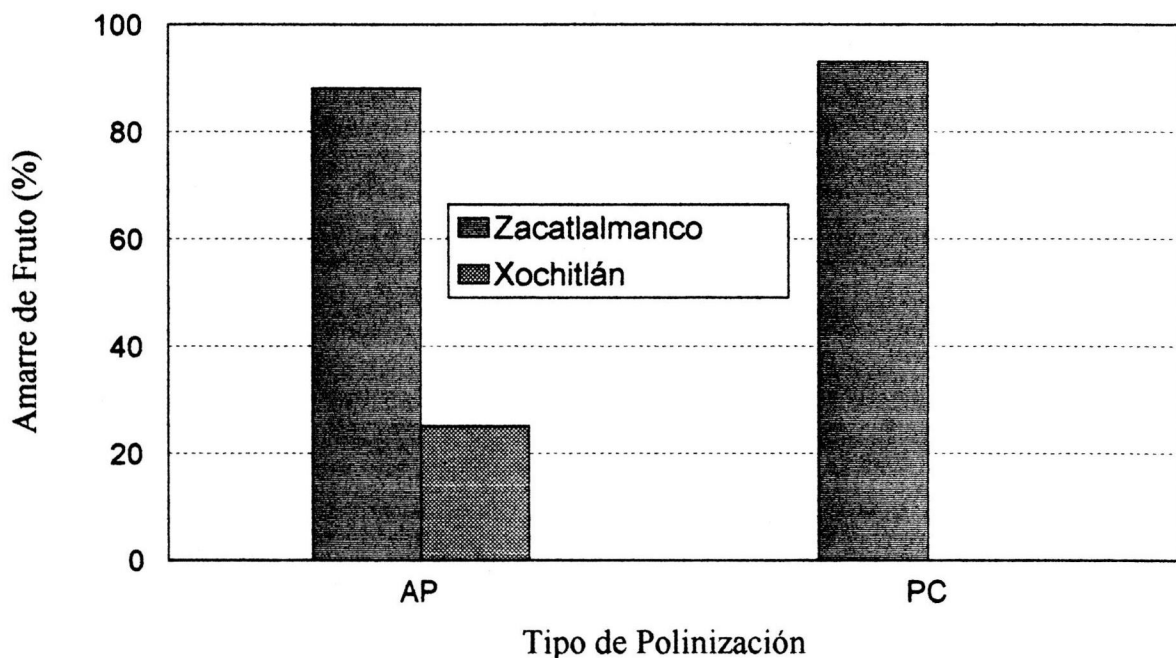


Figura 28. Porcentaje de amarre de fruto de pitahaya solferina (*Hylocereus* sp), en dos comunidades. AP, autopolinización; PC, polinización cruzada, utilizando polen de solferina de diferente clon.

4.2.2.4. Pitahaya blanca silvestre.

En los diferentes clones de este grupo la respuesta fue igual cuando se utilizó PC, sin distinción entre las diferentes fuentes de polen, dándose la respuesta de amarre a los 5-7 ddp en el total de las flores tratadas, mientras que en AP y PL no presentaron amarre de frutos (cuadro 15). En las flores abscionadas, al seccionar el pericarpelo, no se observó algún óvulo en desarrollo. Dentro de este mismo grupo, al utilizar el polen de la misma flor o del mismo clon, no se dio la respuesta de amarre de fruto, mientras que, al utilizar polen de diferente clon, se obtuvo el máximo porcentaje de amarre de fruto (cuadro 15). Weiss *et al.* (1994), en dos clones silvestres de *H. undatus*, también observó esta respuesta al utilizar AP y PC entre los clones.

4.2.3. Efecto de la Polinización Sobre las Características de los Frutos.

4.2.3.1. Frutos de pitahaya blanca cultivada.

En este tipo de pitahaya aunque no muy marcadas, se encontraron diferencias estadísticas de acuerdo a la fuente de polen, sobre las características del tamaño del fruto, mostrando en apariencia un mejor efecto de PC (polen de solferina y roja) con respecto de AP y PL. Dentro de la PC, el polen del tipo solferina generó mayores valores en la mayoría de las variables estudiadas, en comparación al polen del tipo roja. Entre las características de los frutos de AP y PL, se observó gran similitud, lo que en apariencia, muestra que la PL fue efectiva en la formación de frutos y que provengan de la autopolinización natural (cuadro 16). En cuanto al número de semillas por fruto, se observó que en AP se produjo mayor número con respecto a PC, pero muy similar entre las mismas. En PC se observó un mayor efecto sobre el peso de semilla, en comparación con las semillas formadas en AP; también se observó que el peso de las semillas fue casi igual entre AP y PL; lo que hace suponer que la totalidad de las semillas formadas en PL, o en su mayoría, provienen de AP natural.

Cuadro 16. Características de frutos de pitahaya blanca cultivada, (*Hylocereus undatus*), de acuerdo a la fuente de polen utilizado polinización manual y en polinización libre, en la región de Tehuacán, Pue.

Características	Fuente de Polen					
	Solferina	Roja	Blanca cultivada	PL	CV	DMS
Peso de fruto (g)	406.67 a	417.05 a	377.31 b	365.28 b	10.72	18.67
Longitud de fruto (mm)	117.63 bc	122.45 a	120.72 ab	114.06 c	6.22	4.78
Diámetro de fruto (mm)	80.62 a	80.13 ab	77.64 b	71.50 c	5.94	2.76
Peso de pulpa (g)	314.31 a	292.74 b	255.49 c	240.69 c	12.45	19.16
Número de semillas	7122.04 b	7366.38 ab	7878.05 a	6191.75 c	12.67	587.43
Peso total de semillas (g)	9.62 a	10.07 a	9.93 a	7.79 b	12.76	1.02

Mismas letras en la misma fila son estadísticamente similares. Tukey $\alpha \leq 0.05$

4.2.3.2. Frutos de pitahaya roja.

En este caso, las flores de AP, no formaron fruto, mientras que en PC si lo hicieron, siendo superior el efecto del polen de solferina con respecto al polen de blanca cultivada sobre el peso, longitud y diámetro del tamaño del fruto y peso de pulpa, y a su vez la PC fue superior a los frutos obtenidos en PL (cuadro 17).

Cuadro 17. Características de frutos de pitahaya roja (*Hylocereus* sp), de acuerdo a la fuente de polen utilizado polinización manual y en polinización libre, en Acapa, Puebla.

Características	Fuente de Polen					
	Solferina	Blanca cultivada	PL	Roja ^A	CV	DMS
Peso de fruto (g)	488.10 a	441.85 b	263.31 c	-	16.47	37.41
Longitud de fruto (mm)	139.44 a	132.29 b	117.15 c	-	6.81	5.03
Diámetro de fruto (mm)	82.56 a	80.02 a	66.68 c	-	6.57	3.36
Peso de pulpa (g)	360.30 a	321.44 b	179.27 c	-	19.29	31.82
Número de semillas	6756.90 a	6762.36 a	2828.37 b	-	14.49	704.25
Peso total de semillas (g)	11.71 a	10.45 b	4.22 c	-	13.96	1.19

^A No hubo formación de frutos.

Mismas letras en la misma fila son estadísticamente similares. Tukey $\alpha \leq 0.05$

El número de semillas producidas por fruto en PC, de cualquiera de las dos fuentes de polen fue superior a las producidas en PL, pero en cuanto al tamaño de éstas, las formadas con el polen de solferina fueron mayores con respecto a las formadas con el polen de blanca cultivada (cuadro 17). Además, se observó que las semillas de PL fueron casi del mismo peso que las formadas con polen de blanca cultivada. Esto muestra que los frutos obtenidos en PL probablemente provienen de PC natural con el tipo blanca cultivada. Esta suposición se refuerza con el hecho de que existió coincidencia en la apertura de las flores de roja y blanca cultivada, además de una gran actividad de polinizantes (abejas) durante la mañana siguiente de su apertura.

4.2.3.3. Frutos de pitahaya solferina.

En esta pitahaya, en la comunidad de Xochitlán se observó una marcada diferencia entre las características de los frutos obtenidos en PC, con respecto de los obtenidos en AP y PL (cuadro 18).

Cuadro 18. Características de frutos de pitahaya solferina (*Hylocereus* sp) de acuerdo a la fuente de polen utilizado polinización manual y en polinización libre, en Xochitlán, Puebla y en Zacatlalmanco, D F.

Características	Fuente de Polen						
	Roja ^A	Blanca cultivada ^A	PL ^B	Solferina ^B	Solferina ^C	CV	DMS
Peso de fruto (g)	641.49 a	547.44 b	184.45 c	139.72 d	158.43 cd	18.86	43.89
Longitud de fruto (mm)	121.90 a	110.95 b	78.71 c	68.91 c	70.83 c	10.96	10.85
Diámetro de fruto (mm)	102.52 a	96.81 b	67.01 c	57.59 d	62.12 cd	9.81	7.45
Peso de pulpa (g)	488.00 a	406.76 b	126.16 c	105.24 c	111.61 c	20.76	34.09
Número de semillas	5528.72 a	4587.07 b	953.50 c	525.06 c	607.75 c	25.40	814.16
Peso total de semillas (g)	11.62 a	9.43 b	2.08 c	1.15 c	1.33 c	26.33	1.83

^A Promedio de los frutos obtenidos en Xochitlán, Puebla.

^B Promedio de los frutos obtenidos por AP en Xochitlán, Puebla.

^C Promedio de los frutos obtenidos por PC entre diferentes clones en Zacatlalmanco, D. F.

Mismas letras en la misma fila son estadísticamente similares. Tukey $\alpha \leq 0.05$

Dentro de los frutos de PC se observó un mayor efecto del polen de roja sobre el tamaño de fruto y características de las semillas, con respecto al polen de blanca cultivada. Entre los frutos obtenidos en AP y PL se observaron similares en sus características y en las características de las semillas. Esto hace suponer que los frutos de PL provengan de la AP natural, sin embargo, la tasa menor de amarre que presenta PL con respecto a la AP, hace dudar de esta suposición, o bien, que la presencia de hercogamia en este tipo de pitahaya dificulte la AP natural.

También existe la posibilidad (más probable) de que algunos frutos de PL se hayan originado de PC natural, ya que algunos de los frutos de PL fueron de mayor tamaño que los obtenidos en AP, pues algunas flores que originaron estos frutos coincidieron en su apertura con flores de pitahaya blanca y se observó también la presencia de abejas en ambos tipos de flores. En los frutos obtenidos en la comunidad de Zacatlalmanco, entre AP y PC de diferente clon del tipo solferina, se observó una similitud en su tamaño, así como en la producción de semillas por fruto, y similares también con los frutos obtenidos de AP en Xochitlán (cuadro 18).

4.2.3.4. Frutos de pitahaya blanca silvestre.

En este grupo de clones, se observó una tendencia similar al tipo roja. Cuando se aplicó PC a las flores, utilizando polen de cualquier tipo de pitahaya o de un clon diferente del receptor del polen, hubo formación de fruto con características similares, mientras que en PL y AP no se dio la formación de frutos (cuadro 19).

Cuadro 19. Características de frutos de pitahaya blanca silvestre (*Hylocereus undatus*), de acuerdo a la fuente de polen utilizado polinización manual y en PL, en Zacatlalmanco, D. F.

Características	Fuente de Polen					
	Solferina	Roja	Blanca	Blanca Silvestre ^A	CV	DMS
Peso de fruto (g)	369.50 a	360.52 ab	301.56 bc	273.91 c	13.45	65.78
Longitud de fruto (mm)	100.70 a	95.70 a	92.89 a	91.45 a	5.81	9.57
Diámetro de fruto (mm)	87.82 a	80.73 b	81.27 ab	77.44 b	5.02	5.72
Peso de pulpa (g)	283.06 a	280.00 a	227.66 ab	208.06 b	13.84	49.25
Número total de semillas	4186.01 a	4031.85 a	3729.23 b	3621.72 b	16.48	283.47
Peso total de semillas (g)	8.62 a	8.26 a	5.78 b	5.53 b	17.01	2.21

Mismas letras en la misma fila son estadísticamente similares. Tukey $\alpha \leq 0.05$

Entre los frutos de PC presentaron diferencias de acuerdo a la fuente de polen, mostrando mejor efecto sobre el tamaño, los de otros tipos como roja y solferina, seguidos por el tipo blanca y el menor efecto se observó cuando se utilizó polen de otro clon del tipo blanca silvestre. En cuanto a las características de las semillas, se observó la misma tendencia anterior, tanto en su tamaño como en el número total por fruto. En este tipo de pitahaya no se observó amarre de fruto bajo PL, y aunque diversas flores de los diferentes clones coincidieron en su apertura, no se observó algún polinizante que promoviera el intercambio de polen entre ellas.

De manera general, tomando en cuenta todos los tipos de pitahaya, se encontró una influencia de la fuente de polen sobre el peso de fruto, sobre el peso y número de las semillas por fruto. Se observó al tipo solferina, seguido del tipo roja, como mejores polinizadores en la producción del tamaño de fruto y en el peso de las semillas, mientras que el tipo blanca produjo menor peso de fruto y semillas (cuadros 16, 17, 18 y 19). Esta influencia del donador de polen también la observaron Kahn *et al.* (1994) en chirimoya, (*Annona cherimola*), y Woodburn and Andersen (1996), en persimonia, (*Diospyros kaki*). Estos autores observaron que el polen de diferentes variedades produjeron diferente porcentaje de amarre, tamaño de fruto, peso y número de semillas en una misma variedad. Weiss *et al.* (1994), en 3 especies de pitahaya, *H. polyrhizus*, *H. undatus* e *H. costaricensis*, al realizar polinizaciones cruzadas entre estas, también observaron una influencia de la fuente de polen sobre el tamaño.

4.2.4. Efecto de la Polinización Sobre las Características de la Semilla y Plántulas.

4.2.4.1. Peso de semilla y porcentaje de semillas vanas.

Entre las diferentes cruzas hubo diferencia en el tamaño de la semilla, siendo más grandes las provenientes de las cruzas con el tipo solferina, (SS, SR, SB, RS y BS) tanto del lado materno como paterno. Las provenientes del tipo roja fueron intermedias y menores las que provinieron de las cruzas con el tipo blanca cultivada, siendo BB, la de menor tamaño (cuadro 20).

En la craza SS se observó un mayor porcentaje de semillas vanas, en comparación con los porcentajes de las demás cruzas (cuadro 20). Es probable que la naturaleza de estas semillas vanas o incompletamente formadas, sea debido a que son pocos los tubos polínicos que llegan a

la cavidad ovárica, cuando los óvulos son todavía viables y otros tubos llegan cuando la mayoría de los óvulos se encuentran en senescencia. Probablemente óvulos senescentes son penetrados por tubos polínicos iniciándose su desarrollo, pero posteriormente abortaron, y no desarrollaron en su totalidad, o solo se desarrollaron los tegumentos del óvulo; en frutales como el manzano, por factores ambientales, la viabilidad de los óvulos se acorta, disminuyéndose la cantidad de semillas viables formadas. De cualquier forma, es frecuente en diversas especies, que cuando se aplica AP, menos semillas por fruto llegan a la madurez, que cuando se lleva a cabo la PC (Schemske, 1981)

Cuadro 20. Características de semillas y plántulas híbridas entre tres tipos de pitahaya cultivada, (*Hylocereus* sp), según el progenitor de su procedencia. S, solferina; R, roja; B, blanca cultivada.

Características	Tipo de Híbrido							
	SS ^A	SR	SB	RS	RB	BS	BR	BB
Peso de semilla (mg)	2.18 a	2.10 ab	2.05 b	1.72 c	1.54 d	1.35 e	1.36 e	1.25 f
% de semillas vanas	4.92 c	2.10 b	1.98 b	1.93 b	1.87 b	1.46 a	1.52 a	1.42 a
% de germinación	82.19 b	90.46 a	88.32 a	92.46 a	91.16 a	93.78 a	91.69 a	92.45 a
VDP ^B	1.83 a	1.95 a	1.71 b	1.76 ab	1.74 ab	1.39 c	1.47 c	0.59 d

^A Primera letra, progenitor materno; segunda, progenitor paterno; S, solferina; R, roja; B, blanca cultivada.

^B Velocidad de desarrollo de plántulas, crecimiento del tallo en cm mes⁻¹

Misma letra en una fila, son estadísticamente similares, Tukey $\alpha \leq 0.05$.

4.2.4.2. Germinación de las semillas

La germinación de las semillas de pitahaya fue relativamente fácil, ya que no requirieron de tratamientos de pre-germinación, como ocurre con las cactáceas *Astrophytum myriostigma*, *Ferocactus cylindraceus* y *Echinocactus horizonthalonius* (Rodríguez, 1994) que requieren de remojo para incrementar el porcentaje de semillas germinadas; como *Stenocereus griseus*, que requiere de oscuridad o tratamiento de ácido giberélico para germinar (López y Sánchez, 1989); o

como en *Echinomastus mariposensis*, que requiere de escarificación para duplicar el porcentaje de germinación (Moreno *et al.*, 1992).

La germinación se desarrolló de manera similar en los diferentes tipos de pitahaya. Entre 24 y 72 horas después de la siembra se observó la ruptura de la testa, que inició por el lado izquierdo de la zona hilo-micropilar, extendiéndose después a manera de opérculo y permitiendo la emergencia de la radícula de 3 a 5 días después de la siembra. Al emerger ésta, continuó la ruptura de la testa por el lado dorsal (figura 29).

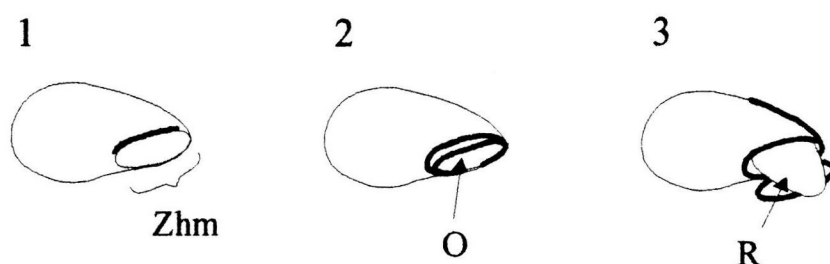


Figura 29. Esquema de rompimiento de la testa durante la germinación de la semilla de pitahaya (*Hylocereus* sp). 1, rompimiento inicial por el lado de la zona hilo-micropilar; 2, formación del opérculo; 3, rompimiento dorsal, al emerger la radícula. O, opérculo; R, radícula; Zhm, zona hilo-micropilar.

El tipo de germinación descrito, corresponde a la variante de germinación tipo *Cereus*, ampliamente distribuido en la subfamilia *Cereoideae* y en la tribu *Hylocereeae* (Bregman and Bouman, 1983). Flores (1973), explicó que el género *Hylocereus* muestra una especialización en la estructura de la semilla; la autora observó una reducción del engrosamiento del tegumento externo dorsal, que permite una germinación rápida y que la zona hilo-micropilar es más débil y fácil de romper (a manera de opérculo).

Las características del tipo de germinación con opérculo en las cactáceas esta correlacionado con las condiciones ecológicas. La testa dura de la semilla de muchas cactáceas confiere una resistencia a la desecación, daño mecánico y digestión. Sin embargo, cuando la

germinación debe presentarse rápidamente (en el breve periodo de lluvia), la presencia del opérculo permite que la plántula emerja fácilmente (Bregman and Bouman, 1983).

De 8 a 12 días después de la siembra, los cotiledones terminaron de expandirse y comenzaron a incrementar su tamaño. Cinco días después se inició el desarrollo del meristemo del tallo (figura 30).

En cuanto al porcentaje de su germinación, no fue muy marcada la diferencia entre las diferentes cruzas. Las cruzas que tuvieron como madre al tipo blanca cultivada, fueron ligeramente de mayor germinación que las que tuvieron como madre al tipo solferina (cuadro 20). Solo en el caso de las semillas provenientes de AP del tipo solferina se observó más bajo el porcentaje de germinación.

4.2.4.3. Desarrollo de las plántulas.

El inicio del desarrollo de las plántulas fue similar entre las semillas de los diferentes tipos de pitahaya, sin que se presentara alguna tendencia. Sin embargo, durante el crecimiento del meristemo del tallo se observaron diferencias en la velocidad de desarrollo, de acuerdo a los progenitores de las plántulas. Se vio que las plántulas provenientes del tipo solferina, ya sea por parte de la madre o del padre, presentaron mayor vigor de desarrollo y las que provenían del tipo blanca cultivada tuvieron menor vigor, siendo las plántulas del tipo blanca cultivada provenientes de AP las de menor desarrollo (cuadro 20).

Entre las plántulas de las diferentes cruzas no se observaron diferencias anatómicas ni de tamaño. Fueron Plántulas epígeas, alargadas, con grandes cotiledones succulentos y aparentemente sin plúmula. El hipocotilo estuvo bien desarrollado, mientras que la radícula presentó poco crecimiento y fuerte ramificación provista de numerosos pelos radicales. Un fenómeno común observado entre las plántulas de cactáceas, es la presencia de individuos sin clorofila, que posterior a su germinación mueren (Del Castillo, 1986; Moreno *et al.*, 1992); sin embargo, este fenómeno no se observó en las semillas desarrolladas, pues todas las plántulas de pitahaya presentaron clorofila.

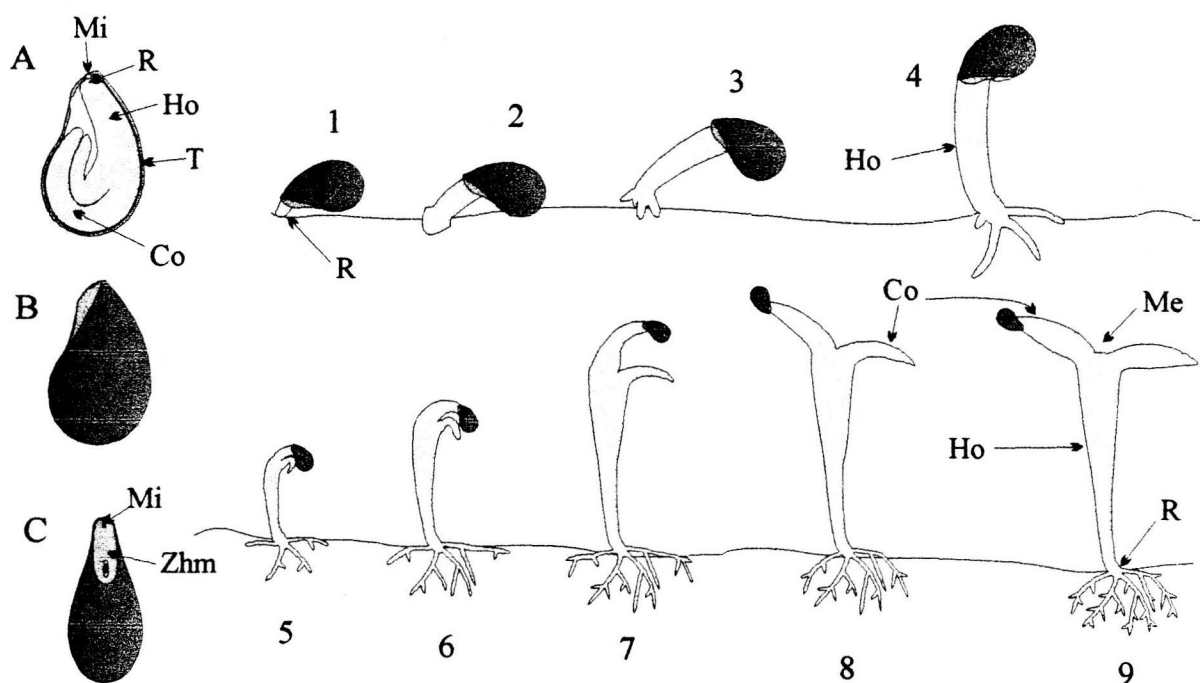


Figura 30. Anatomía, proceso de germinación y emergencia de la semilla de pitahaya, (*Hylocereus* sp). A, corte longitudinal; B, vista lateral; C, vista frontal; 1, emergencia de la radícula; 2, desarrollo del hipocotilo; 3, ramificación de la radícula; 4, levantamiento de la plántula; 5-8, expansión de los cotiledones; 9, inicio del desarrollo del tallo; Co, cotiledón; Ho, hipocotilo; Me, meristemo del tallo; Mi, micrópilo; R, radícula; T, testa; Zhm, zona hilo-micropilar. A-C, Esc 1: 0.1; 1-4, Esc 1: 0.2; 5-9, Esc 1: 0.60.

4.3. COMPATIBILIDAD ENTRE LOS TIPOS DE PITAHAYA.

Entre los tipos de pitahaya estudiados, se observó que el tipo blanca cultivada presentó una respuesta igual en el amarre de frutos y similar en las características de los frutos, al utilizar PC y AP, mostrándose como un material totalmente compatible consigo mismo y con los demás tipos; esto ya lo habían observado Jiménez *et al.* (1997) en *H. undatus* de origen cultivado.

En las pitahayas del tipo roja y blanca silvestre, se observó una respuesta similar a los tratamientos de polinización. Al utilizar la PC se obtuvo 100 % de amarre y unas características de frutos similares entre los diferentes polinizadores; sin embargo, en AP no se obtuvo la

formación de frutos, mostrándose como materiales compatibles con los demás tipos de pitahaya, pero incompatible consigo mismo. Weiss *et al.* (1994), en otras especies de pitahaya, *H. costaricensis* e *H. Polyrrhizus*, observó también este fenómeno de autoincompatibilidad y de compatibilidad con otras especies. Estos materiales de pitahaya, mostraron características de compatibilidad acordes con la familia de las cactáceas, ya que en la mayoría de las especies se presenta la auto-incompatibilidad, y en otras en mucho menor proporción, existe la auto-compatibilidad o bien la autopolinización (Ganders, 1976; Taylor, 1976).

Los clones del tipo blanca silvestre (*H. undatus*), aunque mostraron una respuesta de compatibilidad similar a otras especies del género, no fue acorde con la observada por Weiss *et al.* (1994), ya que este autor, en dos clones silvestres de *H. undatus*, uno obtenido en Colombia y otro en Ecuador, observó una respuesta de semi-autocompatibilidad en ambos materiales y compatibilidad mutua.

Por otra parte, el tipo de pitahaya solferina mostró una respuesta diferente hacia los tratamientos de polinización. Cuando se aplicó PC presentó una tendencia similar a los otros tipos de pitahaya, ya que respondió con un total amarre de frutos; sin embargo, al aplicarse AP no se obtuvo del todo una respuesta de amarre de frutos y estos presentaron un tamaño muy inferior con respecto a los obtenidos en PC (alrededor del 10 % del tamaño potencial), mostrándose de esta manera, como un material totalmente compatible con los otros tipos de pitahaya y semi-autocompatible consigo misma (se denomina “semi-autocompatible”, debido a que permite de una manera constante, el desarrollo de algunos tubos polínicos). Weiss *et al.* (1994), al realizar autopolinizaciones en plantas de *H. undatus* de origen silvestre, encontró una respuesta similar, pues obtuvo entre 50 y 80 % de amarre de fruto y de menor tamaño en comparación con PC (menos de la mitad del peso), variando el porcentaje de amarre y el peso de acuerdo al clon utilizado.

Esta naturaleza semi-autocompatible del tipo solferina, se manifestó en la inhibición del desarrollo de la mayoría de los tubos polínicos, pero permitiendo el desarrollo de algunos tubos, más lentamente, en comparación con el polen ajeno; de esta manera, se alargó la fase progámica y por consiguiente, la reducción del periodo efectivo de polinización. Al llegar los tubos polínicos

al ovario, probablemente los óvulos, en su mayoría, ya se encontraban en senescencia, por lo que pocas flores produjeron fruto. Esta respuesta anterior fue la observada en Xochitlán; sin embargo, en la comunidad de Zacatlalmanco, donde se observó, en apariencia, un alargamiento de alrededor de 8 horas en la viabilidad de los óvulos, casi la totalidad de las flores donde se aplicó el mismo polen de solferina produjeron frutos. En este caso se obtuvo un mayor porcentaje de amarre con respecto del experimento realizado en Xochitlán (figura 28), por efecto del alargamiento del periodo efectivo de polinización y tal vez por la ligera diferencia entre el número de tubos polínicos que completaron la fase progámica (750 en promedio en Xochitlán y 1050 en Zacatlalmanco). La temperatura ambiental influye directamente sobre el desarrollo de los tubos polínicos y por consiguiente sobre el amarre de frutos, en especial cuando se trata de cultivares semi-compatibles (manzano, cerezo y almendro); cuando un mismo cultivar se desarrolla en dos localidades con diferentes temperaturas medias, la germinación y desarrollo de tubos polínicos y el amarre de frutos se mejora en la localidad más fresca (Faust, 1989).

En apariencia, por las características de la pitahaya: polen trinucleado (Ganders, 1976); estigma de carácter seco y papilosos (en apariencia, al iniciar la apertura floral, el estigma comenzó a presentar una apariencia brillante, sin embargo, fue debido a un ligero humedecimiento de las papilas, ya que no presentó una real secreción); corta viabilidad de los granos de polen; el tipo de incompatibilidad presente debería de ser del tipo esporofítica, pero presentó desarrollo de tubos polínicos, los cuales se desarrollaron hasta la entrada del estilo. Dentro de estos sistemas de incompatibilidad, suelen existir excepciones, ya que suelen intervenir diversos genes en la respuesta de incompatibilidad y/o interacciones entre varios genes de naturaleza gametofítica que muestran características especiales en algunas especies de plantas (Lewis, 1994), como en *Theobroma cacao* (Knight and Rogers, 1955; citado por Lewis, 1994), donde opera un gen S esporofítico principal; sin embargo, existen elementos gametofíticos que actúan más tardíamente. De esta forma, existe la posibilidad de que en las especies estudiadas del género *Hylocereus* ocurra algo similar, ya que se observaron elementos pertenecientes a la incompatibilidad esporofítica y a la gametofítica, como es el sitio de rechazo, con la detención del desarrollo del tubo polínico dentro del estilo.

4.4. CAUSAS DE LA CAIDA DE FLORES DE PITAHAYA.

En el estudio de las características anatómicas de las flores, no se encontró alguna deformidad que, en apariencia, provocara el aborto de las flores; todos los tipos de pitahaya presentaron sus estructuras completas. En cuanto a la biología floral, también presentaron funcionalidad normal de sus partes: la liberación del polen coincide con la receptibilidad del estigma, y su germinación, *in vivo* e *in vitro* fue bastante aceptable; la receptibilidad del estigma fue muy amplia, al igual que el periodo de polinización efectiva; se observó la presencia ocasional de un polinizante nocturno (que no se pudo comprobar su aporte a la polinización) y la presencia de abejas por la mañana siguiente a la noche de apertura (las cuales en apariencia influyen sobre el intercambio de polen entre flores). Sin embargo, en la fase progámica se observó que las flores en donde se aplicó AP, los tipos roja, solferina y blanca silvestre no tuvieron un desarrollo adecuado de los tubos polínicos, siendo auto-incompatible el primero y semi-autocompatible el segundo. De esta forma, se tiene la certeza de la necesidad de PC en estos tipos.

Se observó además, que los tipos roja y blanca cultivada, al coincidir en la apertura de la mayoría de sus flores y aunado a la actividad de las abejas como polinizantes y vectores de intercambio de polen, se presentó el amarre de frutos del tipo roja en PL (cuadro 14). En el tipo solferina, no fue tan positivo el resultado de la PL, ya que aunque se observó la misma actividad de abejas, el número de flores de blanca cultivada que coincidieron en su apertura con flores de solferina fue muy reducido. Por esta razón Pimienta (1987), menciona de la importancia de los agentes polinizantes, en las plantaciones de frutales que presentan el fenómeno de auto-incompatibilidad sexual, ya que estos transportan polen compatible de otras plantas que se encuentran a varios metros o inclusive en otras huertas, que es fundamental para la formación de frutos.

Esta característica abre la posibilidad de investigar sobre los factores que inducen la iniciación del desarrollo de las flores, para que de alguna manera se haga coincidir en la apertura, un mayor número de flores y se incremente la posibilidad de formar frutos en PL.

4.5. EFECTO DE LA ÉPOCA DE FLORACIÓN SOBRE LOS FRUTOS.

Este efecto sobre los frutos se desarrolló de manera similar en los tipos blanca cultivada, roja y solferina: en el periodo de floración con menor número de flores, los frutos desarrollados fueron de mayor peso y presentaron mayor cantidad y tamaño de semillas por fruto, con respecto a los desarrollados en la floración más abundante (cuadro 21). Bolaina y López (1994), también observaron el efecto de la competencia entre los frutos de pitahaya de acuerdo a la carga presente en una misma planta, ya que cuando estas presentaban una cuarta parte de su carga normal los frutos incrementaron su peso en un 58 %, con respecto de las plantas con carga normal.

Cuadro 21. Influencia del periodo de floración sobre las características de frutos formados en tres tipos de pitahaya (*Hylocereus* sp), en la región de Tehuacán, Puebla.

Características	Tipo de Pitahaya y Periodo de Floración					
	Solferina		Roja		Blanca cultivada	
	Menor ^A	Mayor ^B	Menor	Mayor	Menor	Mayor
Peso de fruto (g)	433.24 a	360.68 b	492.27 a	361.79 b	466.67 a	350.42 b
Longitud de fruto (mm)	96.86 a	96.49 a	133.62 a	128.85 b	122.40 a	113.02 b
Diámetro de fruto (mm)	85.37 a	79.90 b	81.86 a	74.46 b	82.81 a	74.75 b
Peso de pulpa (g)	333.60 a	256.78 b	355.60 a	261.86 b	332.16 a	246.98 b
Número de semillas	3529.45 a	2630.52 b	5745.40 a	5198.87 b	7600.20 a	6881.51 b
Peso total de semillas (g)	7.36 a	5.53 b	10.04 a	8.54 b	10.47 a	8.76 b
Peso de semilla (mg)	2.14 a	2.11 a	1.91 a	1.47 b	1.38 a	1.27 b

^A Periodo de menor número de flores (200 a 500).

^B Periodo de mayor número de flores (1200 a 3500).

Mismas letras en la misma fila son estadísticamente similares. Tukey $\alpha \leq 0.05$

En los frutales caducifolios cuando la floración se desarrolla en condiciones óptimas un gran número de frutos pueden amarrarse en la planta; sin embargo, debido a que los árboles no pueden soportar el abastecimiento de un excesivo número de frutos, se genera una relación de competencia entre estos, que genera un detrimento en el tamaño y calidad comercial y en diversos casos disminuye también el desarrollo de las yemas florales para el siguiente año (Faust, 1989).

En las cactáceas, el desarrollo de la floración depende principalmente de los nutrientes y agua almacenados en el colénquima, al final del periodo de desarrollo de las flores y frutos, este almacén se ha “vaciado”, pero al llegar las lluvias, nuevamente comienza a llenarse el tejido de reserva del colénquima. En el caso de la pitahaya, el colénquima presenta una menor proporción en la cantidad del tejido de almacenamiento con respecto del tejido fotosintético (Cruz, 1994a). Cuando se desarrolló el periodo de baja producción de flores (primer periodo del año), el nivel del tejido de reserva se encontraba en buen nivel, a diferencia de cuando se desarrolló el periodo de mayor floración (segundo periodo del año), que probablemente estaban disminuidos los niveles de nutrientes y agua (las alas de los tallos estaban más delgadas). Al disminuir la disponibilidad de los nutrientes y principalmente agua, aparentemente se generó competencia entre los frutos en desarrollo en detrimento de su peso y cantidad y tamaño de semillas.

4.6. EFECTO DEL NÚMERO DE FRUTOS POR TALLO SOBRE SU TAMAÑO.

Cuando se desarrollaron dos frutos en un mismo tallo, presentaron menor tamaño y menor cantidad y tamaño de semillas, con respecto a los frutos que se desarrollaron individualmente en un tallo; esta respuesta fue similar en los tipos blanca cultivada, roja y solferina (cuadro 22).

Cuadro 22. Influencia del número de frutos por sección de tallo sobre las características de fruto, de tres tipos de pitahaya (*Hylocereus* sp), en la región de Tehuacán, Puebla.

Características	Tipo de Pitahaya y Número de Frutos Desarrollados por Tallo					
	Solferina		Roja		Blanca cultivada	
	Uno	Dos	Uno	Dos	Uno	Dos
Peso de fruto (g)	495.82 a	262.78 b	470.19 a	347.21 b	436.31 a	349.21 b
Longitud de fruto (mm)	106.92 a	82.22 b	135.55 a	125.87 b	119.82 a	113.06 b
Diámetro de fruto (mm)	91.12 a	71.07 b	81.47 a	72.88 b	80.92 a	74.45 b
Peso de pulpa (g)	373.06 a	191.00 b	347.93 a	244.06 b	310.13 a	245.88 b
Número de semillas	3957.13 a	1908.94 b	5716.72 a	5425.89 b	7307.43 a	6980.62 b
Peso total de semillas (g)	8.36 a	3.88 b	9.63 a	8.52 b	9.96 a	8.80 b
Peso de semilla (mg)	2.13 a	2.11 a	1.68 a	1.57 b	1.36 a	1.26 b

Mismas letras en la misma fila son estadísticamente similares. Tukey $\alpha \leq 0.05$

El número de frutos por tallo suele influir sobre su desarrollo, disminuyéndose cuando la carga por rama es excesiva. Esta respuesta es característica de frutales de durazno, ciruelos y chabacanos (Faust, 1989).

4.7. RELACIÓN DEL FRUTO CON LAS SEMILLAS.

Con los datos de todos los frutos obtenidos de los tres tipos de pitahayas cultivados, se encontró la existencia de correlación positiva entre el peso del fruto y las semillas formadas, ya sea en número (Figura 31) o en su peso total por fruto (figura 32). Weiss *et al.* (1994), en tres tipos de pitahaya, *H. undatus*, *H. polyrhizus* e *H. costaricensis*, también encontraron correlación entre el número de semillas y el peso de fruto ($r^2 = 0.913$, $r^2 = 0.814$, $r^2 = 0.749$, respectivamente).

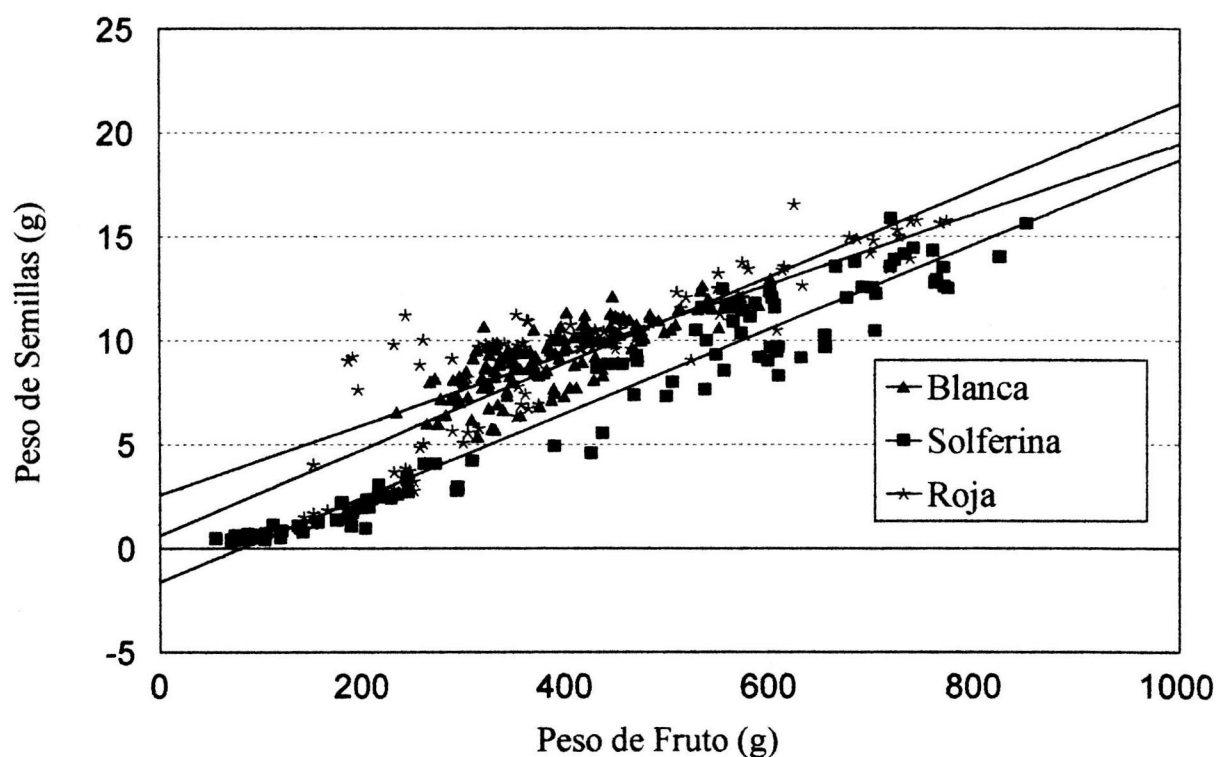


Figura 31. Correlación entre el peso total de semillas y el peso del fruto de tres tipos de pitahaya (*Hylocereus* sp). Solferina $r = 0.69881$, $\alpha = 0.0001$; Roja $r = 0.67160$, $\alpha = 0.0001$; Blanca cultivada $r = 0.76419$, $\alpha = 0.0001$.

En muchos de los frutos, principalmente cuando se tratan de bayas, existe una relación directa del tamaño del fruto con la cantidad de semillas formadas, como en el caso de la sandía (*Citrullus lanatus*; Stanghellini *et al.*, 1998), pues gran parte de la pulpa se origina de los funículos de los óvulos fecundados, o en el persimonio (*Diospyros kaki*), que se forma de la pared del ovario, estimulado por la cantidad de semillas (Woodburn and Andersen, 1996). También en la chirimoya (*Annona cherimola*), aunque se trata de un fruto agregado, el tamaño del mismo esta determinado por la cantidad de semillas que se forman (Kahn *et al.*, 1994; Rubi *et al.*, 1995).

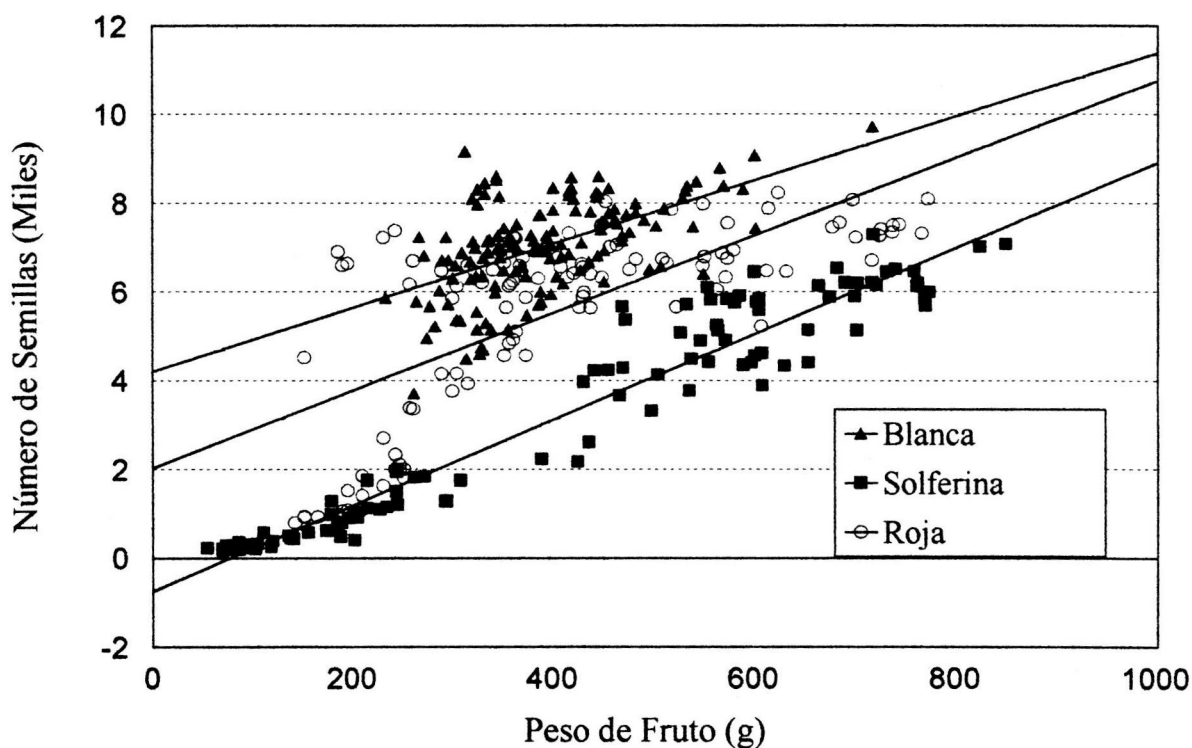


Figura 32. Correlación entre el número total de semillas y el peso de fruto de tres tipos de pitahaya (*Hylocereus* sp). Solferina $r = 0.56234$, $\alpha = 0.0001$; Roja $r = 0.39474$, $\alpha = 0.0001$; Blanca cultivada $r = 0.048292$, $\alpha = 0.0001$.

En el caso de la pulpa de los frutos de pitahaya, Castillo y Ortiz (1994), mencionaron que se forma con el desarrollo de los funículos de los óvulos fecundados; por consiguiente, influía la cantidad de semillas formadas sobre el tamaño del fruto. Weiss *et al.* (1994), también observaron

la existencia de correlación entre la cantidad de semillas formadas con el peso de fruto de las pitahayas *H. undatus*, *H. polyrhizus* y *H. costaricensis* incluyendo a la colombiana *Selenicereus megalanthus*.

También se encontró la existencia de correlación entre el peso de las semillas por fruto, el peso de mil semillas, número total por fruto, la eficiencia de producción de pulpa (gramos de pulpa del fruto formados por gramo de semilla) y el peso de la pulpa del fruto (cuadro 23).

Cuadro 23. Valores de correlaciones entre el peso de pulpa (PP), peso total de semillas (PS), peso de mil semillas (T), número de semillas (N) y la eficiencia de producción de pulpa (EPP) de frutos de pitahaya (*Hylocereus* sp).

	PS	T	N	EPP
PP	$r= 0.98261$ $\alpha= 0.0001$	$r= -40983$ $\alpha= 0.0013$	$r= 0.97246$ $\alpha= 0.0001$	$r= -0.75177$ $\alpha= 0.0001$
PS		$r= -0.44854$ $\alpha= 0.0069$	$r= 0.99433$ $\alpha= 0.0001$	$r= -0.77265$ $\alpha= 0.0001$
T			$r= -0.53574$ $\alpha= 0.0001$	$r= 0.40249$ $\alpha= 0.0016$
N				$r= -0.77672$ $\alpha= 0.0001$

Es lógico que se haya encontrado correlación positiva entre el peso de la pulpa y el peso total de las semillas y el número total, ya que como se ha mencionado, la pulpa de la pitahaya se genera con el desarrollo de los funículos de los óvulos fecundados. También se encontró una correlación negativa entre el peso de semilla y el peso de pulpa, lo que podría indicar una competencia entre la pulpa y las semillas. De igual forma, puede que exista competencia entre las mismas semillas, ya que también se encontró una correlación negativa entre el tamaño de las semillas y el número total de semillas por fruto. En frutos con alto número de semillas como la sandía, también se ha observado una disminución de su peso, conforme aumenta el número por fruto, por efecto de la competencia generada entre ellas mismas (Stanghellini *et al.*, 1998).

Se observó además, la existencia de correlación negativa entre la eficiencia de producción de pulpa y el peso de pulpa, peso total de semillas y el número de semillas. Esto es debido a que estas tres últimas variables están relacionadas con el tamaño del fruto, por lo que en frutos de mayor tamaño existe mas competencia dentro del mismo fruto y se disminuye la producción de pulpa, mientras que en frutos pequeños con menor cantidad de semillas, la eficiencia aumenta conforme se disminuye la competencia entre la producción de pulpa y el desarrollo de las semillas. Además, entre la eficiencia de producción de pulpa y el tamaño de la semilla, se encontró correlación negativa; al disminuir la eficiencia de producción de pulpa, se incrementa el tamaño de las semillas. Como se disminuye el tamaño de fruto al reducirse el número de semillas, la competencia entre el desarrollo de estas es menor y permite el desarrollo de otras estructuras del fruto, como es la pulpa (cuadro 23).

V. CONCLUSIONES.

1. Las características del tallo, flores y frutos observadas en los tipos blanca cultivada y blanca silvestre fueron muy similares entre sí
2. Las diferencias encontradas entre las características del tallo, biología floral y frutos del tipo blanca cultivada y de los tipos roja y solferina, no determinan a estos tipos como especies diferentes.
3. No se observaron deformidades en las características florales, que determinen la caída de las flores en el tipo de pitahaya roja, solferina y blanca silvestre.
4. No se observó un desarrollo diferente de la biología floral entre los tipos de pitahaya con caída de flores (roja, solferina y blanca silvestre) y con el tipo productivo (blanca cultivada), que las haga desventajosas en el amarre de fruto.
5. Los tipos de pitahaya roja y blanca silvestres se presentaron como auto-incompatibles y como totalmente compatibles con los demás tipos de pitahaya.
6. El tipo de pitahaya solferina mostró características de pseudo-auto-compatibilidad y compatibilidad con los demás tipos de pitahaya.
7. El tipo de pitahaya blanca fue auto-compatible y totalmente compatible con los demás tipos de pitahaya.
8. No se encontraron elementos suficientes para determinar el tipo de incompatibilidad existente en el género *Hylocereus*, ya que se observaron elementos pertenecientes al tipo esporofítica y un sitio de rechazo del tipo gametofítica.
9. La caída de flores después de la apertura floral ocurrida en el tipo de pitahaya roja, solferina y blanca silvestre, fue debida a su naturaleza auto-incompatible.
10. La ocurrencia de amarre de frutos naturalmente en los tipos de pitahaya roja y solferina se explicó por la coincidencia en la apertura floral con otro tipo de pitahaya y por la actividad de polinizantes (abejas).

VI. LITERATURA CITADA.

- Alcorn, S. M.; S. E. McGregor; G. Olin. 1962. Pollination requirements of the organpipe cactus. *Cactus and Succulents Journal* (U.S.) 34:134-137.
- Backeberg, C. 1962. Die cactaceae. Handbuch der Kakteenkunde. Vol VI. Ed. Ver Gustav Fisher Verlag Jena, Germany.
- Beckenridge, F. G., III and J. M. Miller. 1982. Pollination biology, distribution and chemotaxonomy of the *Echinocereus enneacanthus* complex (*Cactaceae*). *Systematic Botany* 7:365-378.
- Bolaina, J. J. ; J. I. López A. 1994. Aclareo de frutos en la producción de pitahaya en Tabasco. Primera reunión internacional y segunda nacional. Frutales nativos e introducidos, con demanda nacional e internacional. Montecillos, México.
- Boyde, A. 1972. Biological specimen preparation for scanning electron microscope an overview. Proceeding of the workshop on biological specimen preparation for scanning electron microscope IIT research Institute. USA. 257-264.
- Bravo-Hollis, H. 1978. Las cactáceas de México. Vol. 1 UNAM. México. 374 p.
- Britton, N L and J L, Rose. 1963. The cactaceae. Descriptions and illustrations of the plants of the cactus family. Vol. I y II. 3ª edicion. Dover Publications, Inc. New York. 428 pp.
- Bregman, R and F Bouman. 1983. Seed germination in cactaceae. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 86: 357-374.
- Castillo M, R. y Y. D. Ortiz H. 1994. Floración y fructificación de pitajaya en Zaachila, Oaxaca. *Revista Fitotecnica Mexicana* 17: 12-19.
- Cockerham L E and G J Galleta. 1976. A survey of pollen Charasterstics in certain *Vaccinium* species. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 101: 671-676.
- Cota, J. H. 1994. Pollination syndromes in genus *Echinocereus*: a review. *Cact. and Succ. Jour.* (U. S.) 65:19-26.
- Cruz H, J P. 1994a. Fisiología de la pitahaya. En: Memoria del Primer Encuentro Nacional del Cultivo de la Pitahaya, San Marcos, Nicaragua. P 14-20.
- Cruz H., J. P. 1994b. Métodos pertinentes al estudio de fitodomeesticación: pitayas (*Stenocereus spp*) y pitahayas (*Hylocereus spp*). Primer Simposium Internacional sobre Etnobotánica en Mesoamérica "Efraín Hernández X.". Editores: Cuevas S., J. A.; Estrada L.; E. Cedillo P. p 59-64.
- Currier, H. B. 1957. Callose substance in plant cells. *Americal Journal of Botany* 44: 478-488.
- Del Castillo, R F. 1986. Semillas, germinación y establecimiento de *Ferocactus histrix*. *Cact. Suc. Mex.* 31 (1) 5-10.
- Del Castillo, R. F. 1994. Polinización y otros aspectos de la biología floral de *Ferocactus histrix*. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 39: 36-43.
- Dumas, C; A E Clarke; R B Knox. 1985. La fecundación de las flores. *Mundo Científico*. 44(5): 188-197.

- Esau, K. 1977. Anatomía de las plantas con semilla. Editorial Hemisferio Sur. 512 p.
- Faust, M. 1989. Physiology of temperate zone fruit trees. John Wiley & Sons Inc. USA. 337 p.
- Flores V, E M. 1973. Algo sobre morfología y anatomía de semillas de cactaceae. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo México. 167 h.
- Font Quer, P. 1979. Diccionario de botánica. 7ª reimpresión. Ed. Labor S A. España. 1244 p.
- Galleta, G J. 1981. Pollinating strawberries with stored pollen. An assement. HortScience. 16: 427 (Abst).
- Galleta, G. J. 1988. Manejo de polen y semillas. En: Métodos genotécnicos en frutales. Editores: Moore, J. N. y J Janick. Traducido por R. Mosqueda V. AGT. Editor, S. A. México. p. 27-62.
- Ganders, F. R. 1976. Self-incompatibility in the *Cactaceae*. Cactus and Succulent Journal (G. B.) 38:39-40.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. UNAM. México. 218 p.
- Gibson, C. A. and P. S. Nobel. 1986. Cactus Primer. Harvard University Press. London.
- González M, G. 1994. Estudio comparativo de los granos de polen de los géneros *Stenocactus* y *Ferocactus* (Cactaceae). Tesis de Postgrado de la Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias, Especialista en Microscopía Electrónica Aplicada a las Ciencias Biológicas. 46 h.
- Haselton, S. E. 1946. Epiphyllum Handbook. Abbey Garden Press. Pasadena, Cal, U. S. A. 231 p.
- Jensen, W A. 1974. Reproduction in flowering plants. In: Roberts, A W. (Ed). Dynamic aspects of plant ultrastructure. Academic Press, New York. P 481-503.
- Jiménez M, M. L. 1995. Biología floral, amarre y desarrollo de frutos en pitahaya (*Hylocereus undatus*, Haworth). Tesis de licenciatura. Departamento de Fitotecnia, UACH, México. 55 h.
- Jiménez M, M. L; F J Ramírez M; J P Cruz H. 1997. Efecto de la hora de polinización sobre el tamaño de fruto de pitahaya blanca (*Hylocereus undatus*, Haworth). En: VII Congreso Nacional y V Congreso Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Comp. Vázquez A, R; C Gallegos V; N E Treviño H; Y Díaz T. FAUANL. FAO. Monterrey, NL, México. P 41-42.
- Jona, R. 1985. Corylus. IN Handbook of flowering. Vol II. Edited by A H Halevy. CRC Press, Inc Boca Ratón, FL, USA. P 333 – 340.
- Kahn, T L; C J Adams; M L Arpaia. 1994. Paternal and maternal effects on fruit and seed characteristics in cherimoya (*Annona cherimola* Mill) Scientia Horticulturae. 59: 11-25.
- Kearns, C. A. and D. W. Inouye. 1993. Techniques for Pollination Biologist. University Press of Colorado. U. S. A. 583 p.
- Knox, R B. 1984. Pollen pistil interaction. In: H F Linskens and J Heslop-Harrison. Cellular interactions. Encycl. Plant Physiol. 17: 508-608.
- Knox, R B; E G Williams; C Dumas. 1986. Pollen, pistil and reproductive function in crops plants. In: Plant Breeding Reviews, Vol. IV. Edited by AVI Publishing Co. P 9-79.
- Kurtz, E B and B E Leuenberger. 1976. Pollen morphology of the Cactaceae. Cac. and Succ. Jour. of Great Britain. 38(4): 79-94.
- Leuck, E. E., II and J. M. Miller. 1982. Pollination Biology an chemotaxonomy of the *Echinocereus Viridiflorus* complex (Cactaceae) American Journal of Botany 69:1669-1672.

- Leuenberger, B. 1974. Testa surface characters of cactaceae, preliminary results of a Scanning Electron Microscope study. *Cac. and Succ. Jour. (US)*. 46 (4): 175-180.
- Lewis, D. 1994. Gametophytic-Sporophytic incompatibility. In *Genetic control of self-incompatibility and reproductive development in flowering plants*. Editors: Williams, E. G; A. E. Clarke; P. B. Knox. Kluwer Academic Publisher. p 88-101.
- López G, R y P Sánchez R. 1989. Germinación de dos variedades de pitaya *Stenocereus griseus* (Haworth) Buxbaum. *Cact. Suc. Mex.* 34 (2) 34-40.
- Lord, E. M. and L. O. Kohorh 1986. Gynoecial development pollination, and the path of pollen tube growth in the tepary bean, *Phaseolus acutifolius*. *American Journal of Botany* 72: 1544-1552.
- Maltez P, R. 1994. Características de las variedades de pitahaya cultivadas en Nicaragua. En: *Memoria del Primer Encuentro Nacional del Cultivo de la Pitahaya*, San Marcos, Nicaragua. P 21-32.
- Moreno P, N; J J López G; L Arce G. 1992. Aspectos sobre la semillas y su germinación de *Echinomastus mariposensis* Hester. *Cact. Suc. Mex.* 37 (1) 21-27.
- Mulcahy, G B and D L Mulcahy. 1983. A comparison of pollen tube growth in bi- and tri-nucleate pollen. In: Mulcahy, G B; D L Mulcahy; E Ottaviano (eds). *Pollen: biology and implications for plant breeding*, Elsevier Biomedical, N Y, U S A. p 29-33.
- Norton, J D. 1966. Testing of plum pollen viability with tetrazolium salts. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 89: 132-134.
- Nowike, J W and J J Skvarla. 1979. Pollen morphology: The potential influence in higher order systematics. *Ann. Missouri. Bot. Gard.* 66 (4): 633-700.
- Paéz R., L. M. 1995. Biología floral y amarre de frutos en pitahaya "solferina" (*Hylocereus* spp). Tesis de licenciatura. Departamento de Fitotecnia, UACH México. 94 h
- Paéz R., L. M; F J Ramírez M. 1997. Biología floral de la pitahaya "solferina" (*Hylocereus* spp). En: VII Congreso Nacional y V Congreso Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Comp. Vázquez A, R; C Gallegos V; N E Treviño H; Y Díaz T. FAUANL. FAO. Monterrey, NL, México. P 255-256.
- Pimienta B., E. 1987. Polinización y fecundación en frutales perenes. SARH. INIFyA. México, D. F. 28 p.
- Pimienta B, E. 1990. Fase progámica en angiospermas. *Ciencia*. 41. 319-332.
- Ramírez M., F. de J. 1995. Respuesta de la pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth) a la aspersión de fertilizante foliar. Tesis de licenciatura, Departamento de Fitotecnia, UACH México. 56 h
- Ramírez M, F de J y P Cruz H. 1998. El cultivo de la pitahaya. En: *Memorias del Segundo Simposium Nacional Sobre el Cultivo del Pitayo*. Techaluta, Jalisco México.
- Ramming, D. W. and H A. Hinrichs. 1973. Sequential staining of callosa by aniline blue and lacmoid for fluorescence and regular microscopy on a durable preparation of the same specimen. *Stain Technology* 48:103-105
- Richards, A. J. 1986. *Plant Breeding systems*. George Allen and Unwin. London, U. K.
- Rodríguez H, B. 1994. Evaluación de cinco tratamientos pregerminativos en tres especies de cactáceas: *Astrophytum myriostigma* Lemaire, *Ferocactus cylindraceus* Orcutt y *Echinocactus horizonthalonius* Lemaire. Tesis de licenciatura. Depto. de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo. 115 h.
- Rowley G. 1980. Pollination syndromes and cactus taxonomy. *Cac. and Succ. Jour. (G. B.)* 42:95-98.

- Rubi M; A Martínez G; L López L. 1995. Polinización manual en chirimoya y su relación con producción y características de fruto. Memorias de 1995. Fundación Salvador Sánchez Colín CICTAMEX. Coatepec de Harinas, México. P 11- 20.
- Schemske, D W. 1981. Floral convergence and pollinator sharing in two bee-pollinated tropical herbs. *Ecology*. 62: 946-954.
- Scott, D; T H Boyle; S S Han. 1994. Floral development and flower longevity in *Rhipsalidopsis* and *Schlumbergera* (Cactaceae). *HortScience* 29(8): 898-900.
- Sedgley, M. 1977. The effect of temperature on floral behavior, pollen tube growth and fruit set in the avocado. *J. Hort. Sci*, 52: 135-141.
- Sedgley, M. 1987. Flowering, pollination and fruit set of avocado. *S Afr Avocado Growers Assoc Yrb*. Vol 10. P 42-43.
- Shivanna, K. R. and H Y. Mohan R. 1993. Pollination biology: Contributions to fundamental and applied aspects. *Current Science* 65: 226-233.
- Stanghellini, M S; J T Ambrose; J R Schultheis. 1998. Seed production in watermelon: a comparison between two commercially available pollinators. *HortScience*. 33 (1) 1 28-30.
- Taylor, N. P. 1976. More self-incompatibility in cacti. *Cactus and Succulent Journal* (G. B.) 38:67.
- Tromp, J and O Borsboom. 1994. The effect of autumn and spring temperature on fruit set and on the effective pollination period in apple and pear. *Scientia Horticulturae*. 60: 23-30.
- Tsukada, M. 1964. Pollen morphology and identification. II Cactaceae. *Pollen et Spores* 6(1): 15-84.
- Weiss, J.; A. Nerd; Y. Mizrahi. 1994. Flowering behavior and pollination requirements in climbing cacti with fruit crop potential. *HortScience* 29: 1487-1492.
- Weller, S. G. and R. Ornduff. 1989. Incompatibility in *Amsinckia gandiflora* (Boraginaceae): distribution of callose plugs and pollen tubes following inter- and intramorph crosses. *Amer. Jour. of Bot.* 76: 277-282
- Werner, D J and S Chang. 1981. Stain testing viability in stored peach pollen. *HortScience*. 16: 522-523.
- Williams, R R. 1965. The effect of summer nitrogen applications on the quality of apple blossom. *Jour. Hort. Sci*. 40: 31-41.
- Williams, R R. 1970. Factors affecting pollination in fruit trees. In: *Physiology of tree crops*. Editors: Luckwill, L C and C V Cutting. Academic Press, Inc LD. Pp 193-208.
- Williams, E G and R B Knox. 1982. Quantitative analysis of pollen tube growth in *Lycopersicon peruvianum*. *Jour. Palynol*. 18:65-74.
- Woodburn, K R and P C Andersen. 1996. Pollination and pollen source influence fruit of oriental persimmon "Fuyu" and "Tanenashi". *HortScience*. 31 (2): 218-221.