



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN HIDROCIENCIAS

**USO DEL AGUA EN PITAHAYA  
(*Hylocereus undatus*), BAJO  
DIFERENTES CONDICIONES DE  
HUMEDAD, SOMBRA Y TAMAÑO  
DE ESQUEJE**

YOLANDA VELÁZQUEZ JUÁREZ

TESIS  
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTORA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2020

La presente tesis titulada: **Uso del agua en pitahaya (*Hylocereus undatus*), bajo diferentes condiciones de humedad, sombra y tamaño de esqueje**, realizada por la alumna: **Yolanda Velázquez Juárez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

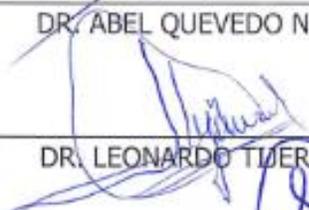
DOCTORA EN CIENCIAS  
HIDROCIENCIAS

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO (A)

  
DR. ABEL QUEVEDO NOLASCO

ASESOR (A)

  
DR. LEONARDO TIJERINA CHÁVEZ

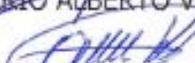
ASESOR (A)

  
DR. RAMÓN ARTEAGA RAMÍREZ

ASESOR (A)

  
DR. MARIO ALBERTO VÁZQUEZ PEÑA

ASESOR (A)

  
DR. ROBERTO ASCENCIO HERNÁNDEZ

ASESOR (A)

  
DR. JUAN ARISTA CORTÉS

Montecillo, Texcoco, Estado de México, agosto de 2020

# USO DEL AGUA EN PITAHAYA (*Hylocereus undatus*), BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE HUMEDAD, SOMBRA Y TAMAÑO DE ESQUEJE

Yolanda Velázquez Juárez, Dra.  
Colegio de Postgraduados, 2020

## RESUMEN

El cambio climático y el crecimiento población, ha provocado un incremento en la demanda de alimentos y el uso del agua en la agricultura. Donde los sistemas agrícolas deben adaptarse a las nuevas condiciones medioambientales, mediante el uso de cultivos alternativos con bajos requerimientos hídricos, con un uso eficiente del agua y manejo productivo diferente, como la pitahaya (*Hylocereus undatus*). Este cultivo ha tomado auge en años recientes por sus propiedades nutraceuticas, alta rentabilidad, adaptabilidad en diferentes condiciones edáficas, ambientales, facilidad de manejo productivo y una creciente demanda a nivel nacional e internacional. El objetivo del trabajo fue evaluar el consumo de agua y crecimiento en pitahaya bajo invernadero y su interacción con diferentes condiciones de humedad (0-30% 0-70% y CP), tamaños de esqueje (40 y 60 cm), y niveles de sombra (25 y 60%). Las mayores láminas de riego, fueron con las CP (104.2 cm), al 25% de sombra y un tamaño de esqueje de 40cm. El mayor crecimiento de brotes aéreos y laterales en el cultivo fue al 25% de sombra con riego por CP en brotes de 60 cm, donde la distribución de la materia seca total fue de 85% en la parte aérea y 15% en raíz.

**Palabras clave:** *cambio climático, productividad, riego, cactáceas*

# **WATER USE IN PITAHAYA (*Hylocereus undatus*), UNDER DIFFERENT CONDITIONS OF MOISTURE, SHADE AND LEAF SIZE**

Yolanda Velázquez Juárez, Ph  
Colegio de postgraduados, 2020

## **ABSTRACT**

Climate change and population growth have led to an increase in the demand for food and water use in agriculture. Where agricultural systems must adapt to new environmental conditions, through the use of alternative crops with low water requirements, with efficient water use and different productive management, such as pitahaya (*Hylocereus undatus*). This crop has taken off in recent years because of its nutraceutical properties, high profitability, adaptability in different soil and environmental conditions, ease of productive management and growing demand at the national and international levels. The objective of the work was to evaluate water consumption and growth in pitahaya under greenhouse and its interaction with different humidity conditions (0-30% 0-70% and CP), cuttings sizes (40 and 60 cm), and shade levels (25 and 60%). The largest irrigation sheets were with CP (104.2 cm), at 25% shade and a cutting size of 40cm. The highest growth of aerial and lateral shoots in the crop was at 25% shade with CP irrigation in 60 cm shoots, where the distribution of total dry matter was 85% in the aerial part and 15% in the root.

**Keywords:** *climate change, productivity, irrigation, cacti*

## **DEDICATORIA**

### **A DIOS:**

Por permitirme culminar este sueño que veía lejano y sobre todo por darme una nueva oportunidad de vivir.

### **A MIS PADRES:**

Por darme la vida, por el apoyo incondicional, amor, cariño y comprensión, por su esfuerzo por sacarme adelante, así como sus sabios consejos que me han brindado a lo largo de mi vida personal y profesional, acompañándome siempre en los momentos alegres y difíciles. Quienes han sido un pilar fundamental para luchar por mis metas y objetivos personales, sé que ha sido un largo camino para ellos, pero debo decirles que sin su apoyo tal vez nunca lo hubiese logrado, por ello el reconocimiento es también para ustedes.

### **A MI MAMÁ (†):**

Que me acompañó a lo largo de mi vida, motivándome siempre a seguir luchando por mis sueños y me dio aliento en los momentos más difíciles donde pasaba por mi mente tirar la toalla. Ella vio el comienzo de esta etapa, que hoy culmina y aunque ha trascendido de este mundo, sé que desde donde ella se encuentra se podrá sentir orgullosa de este logro que también es suyo.

### **A MIS HERMANOS(AS):**

A Mari, Lore, Iván, Juan Carlos y Rosaura a quienes debo agradecerles su apoyo, cariño y comprensión brindado en todo momento, así como sus consejos y alegrías compartidas durante estos años.

### **A MIS SOBRINAS(OS):**

A Jesús Farid, Allisson y María Estefanía, que dan alegría a mi corazón, con sus travesuras, ocurrencias, juegos y risas, que me contagian esa energía para continuar, por su oportuna llegada para iluminar nuestras vidas y poder aprender con ellos.

### **A MIS TÍAS(OS) Y PRIMAS(OS):**

Por su cariño y aprecio, por las convivencias, risas, tristezas, enseñanzas y consejos, pero sobre todo por darme la oportunidad de compartir con ustedes momentos importantes de mi vida.

### **A ELIACER:**

Agradecida por coincidir en esta vida, por todos los aprendizajes y experiencias compartidas, por el apoyo y cariño brindado durante esta etapa y aunque la vida nos pone a prueba en estos momentos, solo debo decir, ¡gracias por todo!

“El éxito, es resultado de un esfuerzo constante”

Yol@nd@

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada durante la realización de mis estudios de posgrado, ya que sin su apoyo no hubiera sido posible avanzar en mi formación profesional.

Al Colegio de Postgraduados por permitirme continuar con mi formación académica y brindar las facilidades durante la duración de mi programa doctoral.

Al Posgrado de Hidrociencias, por darme la oportunidad de formar parte de él, aprender de su cuerpo académico y facilitar la realización del trabajo de investigación de la tesis.

A mis profesores de los cursos, gracias por compartir sus conocimientos y experiencias en esta etapa de formación, por la paciencia y el entusiasmo en cada clase, pero sobre todo por la amistad que encontré en algunos de ellos.

Al Dr. Abel Quevedo Nolasco, por el apoyo brindando, antes, durante y al finalizar mis estudios de posgrado, así como sus sabios consejos y muy atinadas observaciones para mejorar el trabajo de tesis. Pero sobre todo por motivarme a seguir creciendo tanto personal como profesionalmente, por su amistad sincera y su gran disposición para colaborar con las personas.

Al Dr. Leonardo Tijerina Chávez, por aceptar formar parte del Consejo Particular, por sus invaluable comentarios y sugerencias para mejorar el trabajo de tesis.

Al Dr. Ramón Arteaga Ramírez, por su disposición para participar en el Consejo Particular, por sus atinadas observaciones y recomendaciones para mejorar el documento de tesis.

Al Dr. Mario A. Vázquez Peña, por sus observaciones en la parte estadística del trabajo de investigación tanto en la fase previa como en la parte analítica de los datos y sugerencias para mejorar la comprensión de los resultados.

Al Dr. Roberto Ascencio Hernández, por su amable apoyo en la fase experimental y brindar las facilidades para el trabajo de campo, por sus observaciones y comentarios en el desarrollo de la tesis.

Al Dr. Juan Arista Cortés por su amabilidad y disponibilidad para ser parte de este Consejo Particular, así como las sugerencias y comentarios en la redacción del documento.

Al Dr. Francisco Gavi Reyes, por aceptar ser sinodal en este proceso y de sus comentarios sobre el trabajo realizado.

Al personal administrativo del Posgrado de Hidrociencias, en especial a las secretarías María Patricia Ibarra Alonso, Laura Janeth Rodríguez González y María Elena Álvarez

Barragán, por su amabilidad y gran apoyo en los trámites administrativos durante mi estancia en el Colegio, ya que sin ellas muchas cosas no hubiesen sido posible. Así mismo, agradezco su amistad, consejos y alegrías que hemos compartido durante este tiempo, siempre con la calidez humana que las caracteriza.

Al encargado del laboratorio de Relaciones-Planta-Suelo-Atmósfera (RASPA), Raúl Valencia por las facilidades brindadas para los materiales en la fase de campo y procesamiento de muestras.

Al Sr. Juan Ávila Alcibar, por su apoyo, experiencias compartidas, consejos y amistad durante todos estos años en mi estancia en el posgrado de Hidrociencias.

Al personal de apoyo de la estación meteorológica, en especial a la Sra. Agustina Hernández Ibarra e hija por su invaluable apoyo, amistad, consejos y por compartir sus experiencias durante mis estudios de posgrado. Así mismo, por todos los buenos y agradables momentos que compartimos, pero sobre todo por la bonita convivencia que logramos tener. Expreso mi admiración por la labor que realiza, por su creatividad y sobre todo porque me enseñó muchas cosas que me ayudaron a crecer en otros ámbitos.

Al M.C. Enrique Rodríguez Cruz, Dr. Jorge Hernández y el Ing. Plutarco Sánchez Velázquez (†) por su amistad, apoyo y colaboración durante la fase experimental, así como en el manejo de la nutrición del cultivo.

A la Fundación Telmex-Telcel, por el apoyo de la beca que me brindaron y de la oportunidad de formar parte de sus diferentes actividades que me permitieron un desarrollo personal y profesional, así como las amistades que logre establecer a través de ellos.

A la Fundación Cajamar y la Universidad de Almería, en especial al Dr. Juan José Hueso Martín, Dr. Julián Cuevas González y la Dra. Irene Salinas Romero, por permitirme realizar la estancia de investigación en sus instalaciones, aprender de sus experiencias y conocer un poco más del cultivo de pitahaya en esa parte del mundo. De la misma manera, por las facilidades brindadas durante mi estancia, para los recorridos y visitas a fincas productoras de pitahaya, así como en las pruebas de calidad de la fruta.

A la M.C. Bibiana Solís Martínez, por la gran labor que realiza para promover y conocer más sobre el cultivo de pitahaya en la mixteca poblana, por su entusiasmo y la experiencia compartida, así como la amistad que hemos podido formar.

A los productores de Santa Clara Huitziltepec por apoyarme para la adquisición de los esquejes de pitahaya, de esta manera conocer los sistemas de producción en esa región y su feria para promover el cultivo.

A mis colegas de IRNR por sus consejos, muestras de cariño y apoyo para seguir adelante, pero sobre todo con quienes he logrado fortalecer nuestros lazos de amistad

en estos años, en especial a Connie, Monse, Fabi, Héctor, Susy, Edwin, Yeni, Tonantzin, Paco, Tabasco, Emma, Marlen y los que me falten.

A Adriana por compartir la experiencia en tierras europeas, por su gran y valioso apoyo en toda mi estancia doctoral, así como las aventuras vividas y la bonita amistad que se ha formado.

A Manuel y Brenda, a quienes agradezco su hospitalidad y gran calidez humana durante la estancia de investigación, por su amistad, compañía y experiencias juntos.

A mis amigos(@s) del COLPOS: Jioshelin Esmeralda, Esteban, Rigo, Héctor, Gabriel, integrantes del grupo de SIG, por poder coincidir en esta etapa de nuestra formación profesional, por su amistad y apoyo durante esta aventura del conocimiento.

A mis amig@s: Sandra, Dora, Alondra, Yaredi, Maricela, Mirna Ibeth, Sonia, y Rocío Mirna por su amistad sincera, consejos y disponibilidad para escucharme, por esos cafés compartidos, por las pláticas amenas y los buenos momentos que tuvimos, ¡se les aprecia mucho!

A mis amigos(@s) a la distancia: Carmen, Julio, Miguel, Javier quienes, a pesar de no coincidir de manera continua, agradezco su apoyo, así como el ánimo que me brindaron para continuar y su tiempo para escucharme.

Al equipo de fútbol PACHUCA, por darme la oportunidad de formar parte de él y compartir nuestro gusto por ese maravilloso deporte, por los buenos momentos y triunfos logrados, pero en definitiva por la bonita amistad que se logró, es un placer compartir la cancha con ustedes chicas y la dirección técnica, son geniales!

A todos con los que coincidí durante esta etapa, que me brindaron su apoyo y palabras de aliento, que de una u otra manera contribuyeron en mi formación, así como de aquellos que se adelantaron en el camino (Don Rafa†) y de quienes que no logro recordar en este momento, solo me queda decirles.

¡Muchas gracias!

## CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>vi</b>
<b>LISTA DE CUADROS</b> .....	<b>xii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>xiv</b>
<b>INTRODUCCIÓN GENERAL</b> .....	<b>1</b>
Planteamiento del problema .....	4
Objetivos .....	5
Hipótesis .....	6
<b>REVISIÓN SOBRE CULTIVO DE PITAHAYA (<i>Hylocereus undatus</i>)</b> .....	<b>7</b>
Generalidades del cultivo .....	7
Origen y distribución .....	7
Taxonomía .....	8
Morfología .....	8
Composición nutrimental .....	10
Usos principales .....	11
Requerimientos agroclimáticos .....	13
Reproducción .....	15
Fenología .....	16
<b>MANEJO DEL CULTIVO</b> .....	<b>20</b>
Preparación de esquejes y trasplante .....	20
Establecimiento de tutores .....	20
Sombra .....	21
Podas .....	21
Polinización .....	22
Riego .....	23
Fertilización .....	24
Plagas y enfermedades .....	25
Cosecha .....	26

Poscosecha .....	27
<b>PERSPECTIVAS DE USO .....</b>	<b>27</b>

**CAPÍTULO I. USO DEL AGUA EN PITAHAYA (*Hylocereus undatus*) EN DIFERENTES CONDICIONES DE MANEJO .....**

1.1. RESUMEN.....	29
1.2. ABSTRACT.....	30
1.3. INTRODUCCIÓN.....	31
1.4. MATERIALES Y MÉTODOS .....	35
1.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	39
1.5.1. Consumo de agua .....	39
1.5.2. Materia seca aérea (MSA).....	45
1.5.3. Materia seca total (MST) .....	47
1.5.4. Coeficientes de cultivo (Kc) globales.....	49
1.6. CONCLUSIONES.....	51

**CAPÍTULO II. ANÁLISIS DE CRECIMIENTO EN PITAHAYA (*Hylocereus undatus*) BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO.....**

2.1. RESUMEN.....	52
2.1. ABSTRACT .....	53
2.2. INTRODUCCIÓN.....	54
2.3. MATERIALES Y MÉTODOS .....	58
2.3.1. Análisis de crecimiento.....	61
2.3.2. Requerimiento térmico .....	63
2.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	64
2.4.1. Tiempo térmico en pitahaya ( <i>Hylocereus undatus</i> ) .....	64
2.4.2. Análisis de crecimiento.....	65
2.4.3. Distribución de biomasa .....	68
2.4.4. Brotes vegetativos.....	70
2.4.5. Esqueje .....	71
2.4.6. Raíz.....	74
2.4.7. Eficiencia en el uso del agua (EUA). .....	78

2.5. CONCLUSIONES.....	80
CONCLUSIONES GENERALES.....	<b>82</b>
RECOMENDACIONES .....	<b>83</b>
LITERATURA CITADA.....	<b>84</b>

**ANEXO 1. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE PITAHAYA BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO, CASO DE ESTUDIO: ESPAÑA- MÉXICO..... 104**

Resumen.....	104
1. Producción en Almería .....	105
1.1. Situación actual del cultivo .....	105
1.2. Investigación y desarrollo .....	105
1.3. Universidad de Almería (UAL)- ANECOOP .....	109
1.4. Producción local .....	110
2. Producción en México.....	117
2.1. Situación actual del cultivo .....	117
2.2. Investigación y desarrollo .....	118
3. Análisis comparativo de los sistemas de producción del cultivo España- México	120
3.1. Establecimiento del cultivo .....	120
3.2. Tutorío .....	121
3.3. Sombra.....	124
3.4. Polinización .....	125
3.5. Podas .....	127
3.6. Riego y fertilización .....	127
3.7. Usos potenciales .....	129
4. Retos y perspectivas .....	130
5. Literatura citada.....	131

## LISTA DE CUADROS

Cuadro.1. Composición nutrimental de pulpa en tres especies de pitahaya .....	11
Cuadro.2. Lámina de agua promedio aplicada en pitahaya por condición de humedad	40
Cuadro.3. Análisis de varianza (ANAVA) para láminas de agua aplicadas en los diferentes tratamientos utilizados .....	43
Cuadro 4. Comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para láminas de riego (cm), de los factores tamaño de esqueje, sombra y niveles de humedad. ....	44
Cuadro. 5. Análisis de varianza (ANAVA) de la materia seca aérea (MSA) por condición de humedad. ....	45
Cuadro. 6. Comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para materia seca aérea (MSA) de los factores tamaño de esqueje, sombra y niveles de humedad.....	46
Cuadro.7. Análisis de varianza (ANAVA) para materia seca total (MST) para cada condición.....	47
Cuadro. 8. Comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para materia seca total (MST), de los factores tamaño de esqueje, sombra y niveles de humedad.....	48
Cuadro. 9. Kc globales para el cultivo, bajo diferentes condiciones de humedad .....	49
Cuadro.10. Solución Universal de Steiner para pitahaya .....	61
Cuadro.11. Parámetros de crecimiento en pitahaya .....	63
Cuadro.12. Indicadores de crecimiento promedio en pitahaya a nivel de planta bajo diferentes niveles de humedad .....	67
Cuadro.13. Proporciones para evaluar crecimiento en pitahaya .....	68
Cuadro.14. Comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para la distribución de biomasa por órgano en pitahaya de los factores tamaño de esqueje, sombra y niveles de humedad. ....	69
Cuadro.15. Número de brotes promedio por condiciones de humedad, sombra y tamaño de esqueje.....	70
Cuadro.16. Prueba de comparación de medias ( $\alpha=0.05$ ) para brotes laterales y aéreos en pitahaya de los factores tamaño de esqueje, sombra y niveles de humedad. ....	71
Cuadro.17. Contenido relativo de agua (CRA) en esquejes de pitahaya .....	74
Cuadro.18. Volumen de raíz promedio y proporciones de raíz/ tallo por condiciones de humedad, sombra y tamaño de esqueje en pitahaya.....	75

Cuadro.19. Comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) de longitud y grosor de raíz en pitahaya, de los factores tamaño de esqueje, sombra y niveles de humedad. ....	77
Cuadro.20. Comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) en longitud de raíz, de la interacción de factores tamaño de esqueje, sombra y niveles de humedad. ....	78
Cuadro.21. Análisis de varianza (ANAVA) en eficiencia en el uso del agua (EUA) total en pitahaya.....	79
Cuadro. 22. Prueba de comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para eficiencia en el uso del agua (EUA) total, de los factores tamaño de esqueje, sombra y niveles de humedad. ....	80
Cuadro.23. Principales colecciones botánicas del género <i>Hylocereus</i> en México .....	119

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.Fruto de <i>Hylocereus undatus</i> de mayor importancia comercial.....	10
Figura 2.Fases de etapa reproductiva de la pitahaya (Martínez <i>et al.</i> ,2017).....	18
Figura 3.Etapas de crecimiento del cultivo de pitahaya ( <i>Hylocereus undatus</i> ) en escala BBCH. Kishore (2016).....	19
Figura 4. Distribución de diseño experimental en pitahaya .....	36
Figura 5.Acondicionamiento del riego por succión .....	36
Figura 6. Actividades diversas en el experimento de pitahaya.....	38
Figura 7.Consumo de agua acumulado de la pitahaya, en tres niveles de manejo del agua y un nivel de sombra del 25%. .....	41
Figura 8.Consumo de agua acumulado de la pitahaya, en tres niveles de manejo del agua y un nivel de sombra del 60%. .....	42
Figura 9. Monitoreo de variables ambientales en el invernadero: a) Datalogger con sensor de temperatura (°C) y humedad relativa (%) y b) Descarga de datos a laptop .....	59
Figura 10.Vista general del sistema de tutorio en pitahaya durante el experimento ....	60
Figura 11.Medición del grosor para cada costilla en pitahaya.....	61
Figura 12.Toma de datos para el análisis de crecimiento de raíz en pitahaya: a) Limpieza de raíz por planta, b) Medición de longitud en raíz, c) Medición de grosor de raíz y d) Peso fresco de raíz .....	62
Figura 13. Grados de crecimiento acumulado en pitahaya: Grados Día Desarrollo (GDD) y Grados Hora Día (GHD). .....	65
Figura 14. Acumulación de materia seca (MS) aérea en pitahaya a un nivel de sombra de 25%: a) TE:60 cm y b) TE:40 cm. MS: Materia seca total aérea, DDT: Días después del trasplante, TE: Tamaño de esqueje, H030: Humedad de 0 -30%, H070: Humedad de 0-70% y CP: Cápsula porosa .....	65
Figura 15. Curva de crecimiento en pitahaya a un nivel de sombra de 60%: a) TE:60 cm y b) TE:40 cm, MS: Materia seca total aérea, DDT: Días después del trasplante, TE: Tamaño de esqueje, H030: Humedad de 0 -30%, H070: Humedad de 0-70% y CP: Cápsula porosa. ....	66

Figura 16.Grosor de esqueje de pitahaya en diferentes longitudes: a) 60 cm y b) 40 cm .....	72
Figura 17.Producción de pitahaya en Almería: Fincas y Centros de investigación. Fuente: Elaboración propia a partir de recorridos en campo.....	105
Figura 18.Vista general del cultivo de pitahaya en invernadero, en la Estación experimental Cajamar “Las Palmerillas”.....	106
Figura 19.Polinización manual en <i>S. megalanthus</i> (pitahaya amarilla). ....	107
Figura 20.Pitahaya cultivada en invernadero en estación experimental IFAPA, La Mojonera. ....	108
Figura 21.Sistemas de tutoreo en pitahaya: a) Triangular, b) Dosel a dos aguas, c) Dosel a un agua, d) Espaldera y e) Tipo palmera .....	108
Figura 22.Ensayo de pitahaya en instalaciones de UAL-ANECOOP. ....	109
Figura 23. Vista general del cultivo de pitahaya en invernadero en UAL- ANECOOP. ....	110
Figura 24. Finca de pitahaya en Jardín Botánico “Los injertos”, Almería, España .....	111
Figura 25. Daños en tallos de pitahaya: a) Exceso de luz y b) Enfermedad ojo de pescado ( <i>Dothiorela</i> spp.).....	112
Figura 26. Área para el ensayo de selección de variedades.....	113
Figura 27. Producción de esqueje de pitahaya: a) Vista general del vivero y b) Esqueje enraizado de pitahaya. ....	113
Figura 28.Sistema de tutoreo en finca de pitahaya, Blasmira S.L.: a) dosel a dos aguas y b) tipo “T”.....	114
Figura 29.Sensor de temperatura (°C) y humedad relativa (%) en finca de pitahaya. ....	115
Figura 30.Plantas benéficas al interior de una plantación de pitahaya- pimiento morrón. .....	115
Figura 31.Pitahaya de exportación en empaque finalizado.....	116
Figura 32.Finca de pitahaya en la localidad de Palomares, Almería.....	117
Figura 33.Principales estados productores de pitahaya en México en 2018. Fuente: Elaboración propia a partir SIAP (2018).....	118
Figura 34.Viveros para enraizado de esqueje de pitahaya: a) México y b) Almería, España.....	120

Figura 35. Algunas especies de pitahaya presentes en la zona de Almería, España y México ( <i>H. undatus</i> ).....	121
Figura 36. Tutoreo en parral para pitahaya, bajo sistema intensivo en Almería, España: a) Soporte superior en T y b) Amarre de cladodio sobre el tutor.....	122
Figura 37. Tutoreo de pitahaya en malla electrosoldada: a) dosel a un agua y b) dosel a dos aguas.....	123
Figura 38. Sistema de tutores inertes usados en Puebla, México: a) Tubo galvanizado y b) Postes de concreto .....	124
Figura 39. Uso de tutores vivos como soporte para la pitahaya en Yucatán, México: a) piña-cedro y b) ciruelo (Cálix <i>et al.</i> ,2014; Hernández <i>et al.</i> , 2018).....	124
Figura 40. Plantaciones de pitahaya: a) Bajo cubierta en Almería, España, b) Al aire libre y c) Malla sombra en México.....	125
Figura 41. Floración y polinización en <i>Selenicereus megalanthus</i> en estación Experimental CAJAMAR “Las Palmerillas”, Almería, España. ....	126
Figura 42. Polinizadores naturales de pitahaya en México. ....	126
Figura 43. Cladodios producto de poda: a) Reemplazo en plantación y b) Venta al público. ....	127
Figura 44. Sonda de succión y tensiómetros a 30 y 45 cm en pitahaya, estación experimental CAJAMAR “Las Palmerillas”, Almería, España.....	128
Figura 45. Riego por goteo en sistema intensivo de pitahaya, Santa Clara Huitziltepec, Puebla, México.....	128
Figura 46. Feria agroartesanal de pitahaya 2019, Santa Clara Huitziltepec, Puebla, México: a) Licor de pitahaya b) Alimentos preparados con pitahaya. ....	129
Figura 47. Usos potenciales de la pitahaya.....	130

## INTRODUCCIÓN GENERAL

El agua es uno de los recursos naturales de mayor importancia y limitante para el ser humano, indispensable para la producción de alimentos, desarrollo social y económico a nivel mundial. La agricultura ocupa el 70% del agua que se extrae en el mundo, debido a las altas tasas de evapotranspiración de los cultivos, por lo que es necesario, hacer un uso eficiente del recurso y de las fuentes de energía disponibles para la producción, ante situaciones de escasez de agua en zonas agrícolas y alta demanda de alimentos previstas en los próximos años, a causa de desafíos globales como el cambio climático e incremento de la población a nivel mundial (FAO,2002; Medrano *et al.*, 2007; Ríos *et al.*, 2016).

De esta forma, se requieren mejorar los sistemas de producción de alimentos con un enfoque sostenible, que permitan cubrir la demanda de la población, generar excedentes y hacer un uso adecuado del agua, implementando nuevas prácticas agrícolas que ayuden a incrementar los rendimientos o mediante el uso de cultivos alternativos que se adapten a las condiciones climáticas actuales con requerimientos hídricos menores (Odegard y Van der Voet, 2013). La familia *Cactaceae* contiene diversas especies con valor económico, cultural y ecológico, que pueden ayudar a mitigar los impactos del cambio climático, por sus mecanismos de adaptación nivel morfológico y fisiológico. Sin embargo, se requieren esfuerzos para un aprovechamiento sustentable, conservación e investigación sobre los factores que caracterizan sus nichos de crecimiento en este tipo de recursos (Ranjan *et al.*, 2016; Hultine *et al.*, 2016).

La utilización de algunas especies de cactáceas se ha intensificado en los últimos años, debido a su interés comercial y productivo, destaca el nopal (*Opuntia ficus-indica*) y la pitahaya (*Hylocereus* spp.). Este último, es un fruto conocido a nivel mundial, cuya producción en sistemas intensivos se ha incrementado en países como Israel, Tailandia, España, Vietnam, Indonesia, Japón, China, Australia, Estados Unidos, Colombia, México, Brasil y Ecuador, siendo los países asiáticos e Israel, con los avances más importantes tanto en manejo productivo como en mejoramiento genético del cultivo (Tel-

Zur, 2013; Damar, 2010; Huachi *et al.*, 2015). Destacan sus propiedades nutraceuticas, eficiencia en el uso de agua, alta rentabilidad y una creciente demanda en mercados nacionales e internaciones de frutas exóticas (Felker y Bunch, 2009).

En México, los sistemas de producción existentes son a nivel de traspatio y recientemente plantaciones de producción intensiva con tutores vivos o inertes, debido a la alta rentabilidad que presentan y la calidad de la fruta que se obtiene, fácil manejo y bajos requerimientos hídricos (Ortiz, 2000). Existen avances importantes en el estudio del cultivo, referente al mejoramiento genético, fisiología, manejo reproductivo y agronómico, fertilización, fenología, zonificación agroecológica y análisis económico de la cadena productiva (Ortiz *et al.*, 2012; Martínez *et al.*, 2017; Flores,2011).

En el caso de riego, existen pocos estudios al respecto, principalmente con un enfoque de productividad más que del consumo real de agua del cultivo. De esta forma, cuantificar los requerimientos hídricos en pitahaya, resulta importante para fines de planeación de riego en zonas productoras con sistemas intensivos y baja disponibilidad de agua.

Al respecto, existen metodologías que ayudan a cuantificar los volúmenes de agua requeridos por un cultivo, de manera puntual y certera, como el riego por succión. Este método localizado utiliza cápsulas porosas como emisores, no requiere energía externa para su funcionamiento, dado que la planta regula su régimen de humedad, en función de las condiciones climáticas del lugar y presión atmosférica, así mismo aprovecha la energía de succión del sistema de raíces de las plantas y hace un uso óptimo del agua. Los emisores se llenan completamente de agua, desalojando el aire al interior del sistema y se conectan a una fuente de abastecimiento a un nivel inferior de la cápsula, llamada altura de succión (Peña y Vargas,2018).

En México no se ha hecho extensivo este sistema, sin embargo, algunos autores han realizado mejoras en su elaboración (materiales, proceso de elaboración) y validado su funcionamiento en distintos cultivos de forma experimental como frijol, maíz, trigo y fresa,

con buenos resultados en rendimiento y crecimiento, así como para cubrir y cuantificar la demanda hídrica del cultivo (Olguín,1976; Díaz, 1977; Tijerina, 1988; García, 1977).

El diseño de sistemas de riego por succión es uno de los retos importantes para su implementación, donde se han propuesto alturas de succión para incrementar el bulbo de humedecimiento del emisor y una evaluación de la conductividad hidráulica para conocer gastos emitidos por diferentes dimensiones de los emisores y tamaños de sustratos, que permitan reducir costos de fabricación, incrementar su conductividad hidráulica y la uniformidad de riego (Vargas *et al.*, 2010; López, 2013; Trujillo, 2015; Perea,1993).

Dentro de las ventajas que ofrece el sistema, es una operación sencilla, el suministro de agua continuo y de manera eficiente, con pérdidas mínimas por percolación y escorrentía superficial (Vargas *et al.*, 2010). Por ello, se vislumbra como una alternativa para los productores con bajo poder adquisitivo que no puedan adquirir un sistema de riego localizado y tengan una baja disponibilidad de agua.

El presente trabajo de investigación comprende tres capítulos: en el primero se abordan generalidades del cultivo, requerimientos agroclimáticos y manejo agronómico mediante una revisión de diferentes fuentes de información. En el segundo capítulo, se presentan los resultados obtenidos de la parte experimental sobre uso del agua de la pitahaya en invernadero con tres condiciones de manejo de humedad (H 0-30%, H 0-70%, riego por succión), dos tamaños de esqueje (40 y 60 cm) y dos niveles de sombra (25% y 60%) y en el último capítulo, el análisis de crecimiento del cultivo bajo las mismas condiciones de manejo. Finalmente se anexa, un reporte de los resultados de la estancia de investigación realizada durante el programa de estudios.

## **Planteamiento del problema**

El uso eficiente del agua en la agricultura implica un reto importante frente a los nuevos desafíos globales, donde el aprovechamiento de cultivos alternativos como la pitahaya es una opción productiva viable. Sin embargo, existe poca o escasa información con respecto a los requerimientos hídricos de dicho cultivo y en general de su crecimiento bajo sistemas intensivos, a partir del tamaño de esqueje y sombra adecuados para las diferentes zonas de producción, ya que los sistemas existentes son a nivel de traspatio en la mayoría de los casos.

## **Objetivos**

### **General**

- Evaluar el consumo de agua y crecimiento en pitahaya bajo invernadero y su interacción con diferentes condiciones de humedad (0-30% 0-70% y CP), tamaños de esqueje (40 y 60 cm), y niveles de sombra (25 y 60%).

### **Específicos**

- Cuantificar láminas de riego aplicadas en pitahaya bajo diferentes condiciones de humedad (0-30%, 0-70% y CP), tamaños de esqueje (40 y 60 cm) y niveles de sombra (25 y 60%).
- Estimar  $K_c$  global del cultivo de pitahaya, en el primer año de su establecimiento.
- Determinar materia seca aérea y total acumulada en pitahaya en diferentes condiciones de humedad (0-30%, 0-70% y CP), tamaños de esqueje (40 y 60 cm), y niveles de sombra (25 y 60%).

## Hipótesis

- En riego por succión, el consumo de agua (láminas) será mayor con respecto a las otras condiciones de humedad en los esquejes de pitahaya.
- A mayor longitud de esqueje, es mayor el consumo de agua en las diferentes condiciones de humedad.
- La sombra de 60% favorece el incremento en la producción de materia seca por esqueje de pitahaya con respecto al 25% de sombra.
- El riego por succión tendrá un mayor efecto en la acumulación de la materia seca aérea y total en los esquejes de pitahaya, con respecto a las otras condiciones de humedad.

## REVISIÓN SOBRE CULTIVO DE PITAHAYA (*Hylocereus undatus*)

El agua es crucial para el desarrollo de las plantas, principalmente para aquellas que viven en ambientes áridos y semiáridos, las cuales han desarrollado adaptaciones morfológicas y fisiológicas que les permitan evitar o soportar el estrés hídrico, como son la familia de las cactáceas (Rodes y Collazo, 2006). Su eficiente metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM), que ayuda a fijar el CO<sub>2</sub> por la noche, el cierre de estomas durante el día para evitar la pérdida de agua y la succulencia de tallos para almacenamiento del agua, les permiten soportar altas temperaturas y sequías prolongadas (Males y Griffiths, 2017; Ranjan *et al.*, 2016; Nazareno y Padrón, 2011; Jerónimo *et al.*, 2017). En los últimos años, el interés por cultivos alternativos se ha incrementado, en especial en aquellos eficientes en el uso del agua, con alta rentabilidad en el corto y mediano plazo, y de fácil manejo para su producción, principalmente frutos exóticos (Felker y Bunch, 2009).

El cultivo de pitahaya (*Hylocereus undatus*) destaca por su creciente demanda en el mercado nacional e internacional, por cotizarse a precios elevados, debido al color atractivo de su cáscara y pulpa, sus propiedades nutraceuticas y usos potenciales diversos (Bárcenas, 2002; Centurión *et al.*, 1999; Le Bellec *et al.*, 2006; Ricalde y Andrade, 2009). Por otra parte, su adaptabilidad a diversas condiciones ambientales, suelos y una alta eficiencia en el uso del agua (García *et al.*, 2009). Bajo este contexto, surge el interés por conocer los requerimientos edafoclimáticos del cultivo para un manejo y aprovechamiento adecuado, identificar usos potenciales y perspectivas para su producción.

### Generalidades del cultivo

#### Origen y distribución

La pitahaya es originaria de regiones tropicales y subtropicales de América, se distribuye desde México hasta Centroamérica, el género comprende de 18 a 116 especies que viven en distintos hábitats, lo que constituye un recurso genético importante

(Mizrahi *et al.*,1997; Nobel y De la Barrera,2004). Sotelo *et al.* (2005) indican que la pitahaya en el continente americano se distribuye en una franja delimitada entre los 10° de latitud sur y los 25° de latitud norte. Los países con mayor número de especies son: México (12), Colombia (8), Guatemala y Panamá (6), Costa Rica (5), y Venezuela (4). Se le conoce con diferentes nombres: pitaya (Europa), dragon fruit (Vietnam, Taiwán), en México (pitahaya) (Tel-Zur, 2013).

Su cultivo se ha extendido a nivel mundial, en diferentes países como Israel, Tailandia, España, Vietnam, Indonesia, Japón, China, Australia, Estados Unidos, Colombia, México, Brasil y Ecuador. Israel y los países asiáticos, lideran los avances más importantes en el cultivo tanto en manejo productivo como en mejoramiento genético (Tel-Zu, 2013; Damar, 2010; Huachi *et al.*, 2015).

## **Taxonomía**

En Latinoamérica, el término pitahaya hace referencia a varias especies y frutos, la clasificación taxonómica del cultivo de acuerdo con Castillo y Cáliz (1995), es una planta que pertenece al orden *Opontiales*, familia *Cactaceae* y género *Hylocereus*.

Las pitahayas cultivadas en México presentan amplia variación en forma, tamaño, sabor, color externo y época de cosecha; las especies presentes son: *Hylocereus aff. escuintlesis*, *Hylocereus ocamponis*, *Hylocereus purpusii* e *Hylocereus undatus* (García *et al.*, 2015). Siendo esta última, la especie de mayor importancia económica y con avances importantes en su estudio, ya que posee frutos comestibles de cáscara rosa con pulpa blanca, gran variabilidad genética, fácil comercialización, así como una creciente demanda en los mercados nacional y extranjero (Centurión, 2008; Legaria *et al.*, 2005; Ortiz, 2000).

## **Morfología**

Es una planta cactácea perenne, de rápido desarrollo en comparación a otras cactáceas, hemiepífita (crece sobre árboles o piedras) debido a que no puede sostenerse por sí misma, con tallos de tres o cuatro costillas en función de la especie (Ortiz y Carrillo, 2012). Los tallos o cladodios, son de color verde claro brillante en etapa juvenil, mientras

que verde oscuro opaco en madurez, carnosos, con segmentos ramificados y serosidad, en algunas especies. Las espinas son hojas modificadas a lo largo de las aristas(lados) de los cladodios, situados en areolas (agrupadas en tres). El aparato fotosintético se ubica en los cladodios como una adaptación a la sequía, puede alcanzar una altura de hasta seis metros o más, en función de las condiciones ambientales y de manejo, por lo que es necesario el uso de tutores para soporte (Ricalde y Andrade,2009; Ebel *et al.*, 2013).

La raíz es de tipo xerófito (adaptada a ambientes secos y áridos), con mecanismos para la captación de agua, siendo de dos tipos: primarias que sirven de anclaje al suelo y extractoras de nutrimentos, con un desarrollo fascicular muy superficial, diámetro de hasta 40 cm en la base de la planta y una longitud de 2 a 35 cm (Del Alba, 2003; Montesinos *et al.*, 2015). Por otro lado, raíces secundarias o adventicias, que aparecen después de una sequía prolongada, ayudan para sostén y fijación de las plantas a su tutor, le permiten trepar y permanecer erectas, absorben sustancias nutritivas y agua del ambiente, debido a la presencia de una capa esponjosa llamado velamen (SAGARPA,2008; Bernardo *et al.*, 2016; Cáliz *et al.*, 2005).

Las flores son hermafroditas (órganos masculino y femenino), simples, nocturnas (sólo de una noche), de 20 a 40 cm de longitud y se insertan directamente sobre los tallos. El tubo floral posee gran cantidad de brácteas con arreglo en espiral, cáliz de color verde oliva con sépalos libres actinomorfos en forma de cuchara, la corola conformada por pétalos de color blanco de textura diferente a los sépalos (Weiss *et al.*, 1994). La polinización se realiza por abejas, abejorros y murciélagos, sucede durante las primeras dos horas de la mañana de 6 a 8:30 de la mañana, atraídos por el suave aroma que desprende. Después de las 9:00 hrs. la actividad de los polinizadores disminuye, mientras que los estigmas y estilo se han cubierto de polen. El polen permanece viable hasta el amanecer del día siguiente, sin embargo, el método de polinización (manual-cruzada y autopolinización) y la fuente del polen, pueden afectar la producción de fruta en algunos cultivares de pitahaya (Ortiz, 2000; Weiss *et al.*, 1994; Tran *et al.*, 2015).

El fruto es una baya, ovoide y globoso, cuyo color de cáscara varía de rosa a púrpura, compuesto por brácteas o escamas en forma helicoidal, conocida en los países asiáticos como “fruta del dragón”, debido a esta peculiar característica. Con diámetro que oscila de 10 a 12 cm, peso de 200 g hasta 1 kg, pulpa color blanca o púrpura en función de la especie (60-80% del peso del fruto), sabor dulce o poco ácida, aroma suave, fragancia delicada y un gran número de semillas pequeñas de color negro (Ortiz, 2000; Balois *et al.*, 2013; Le Bellec *et al.*, 2006).

De acuerdo con Meraz *et al.* (2003), destacan:

- a) **Fruta amarilla con pulpa blanca**, presenta cáscara con espinas (removidas antes de la venta), con forma ovoide, se produce en Colombia.
- b) **Fruta roja con pulpa roja**: La cáscara presenta brácteas, con variación en cantidad, color y tamaño, se cultiva principalmente en Nicaragua y Guatemala.
- c) **Fruta roja de pulpa blanca**, cáscara con brácteas de color rosa, que es más conocida y cultivada en México, Israel, y Vietnam (Figura 1).



**Figura 1.** Fruto de *Hylocereus undatus* de mayor importancia comercial

### **Composición nutrimental**

Sobresale su contenido de sodio, potasio y vitamina A, por cada 100 g de pulpa de *H. undatus* contiene 1.4 + 1.4  $\mu$ g de beta-caroteno, 3.4 + 1.4  $\mu$ g de licopeno y 0.26+ 0.06 mg de vitamina E y hasta 24 mg de vitamina C (Cuadro 1). También contiene un alto

contenido de bioflavonoides y ácidos grasos, fibra, minerales y vitaminas (Arévalo y Ortiz, 2004; Castillo, 2006; Charoensiri *et al.*, 2009; Huachi *et al.*, 2015).

**Cuadro. 1.** Composición nutrimental de pulpa en tres especies de pitahaya

Constituyente	H.	H.	H.
	<i>megacanthus</i>	<i>undatus</i>	<i>megalanthus</i>
100 g de pulpa fresca			
Agua (%)	83.0	89.0	85.0
Proteína (g)	0.16-0.23	0.5	0.4
Grasa (g)	0.21-0.61	0.1	0.1
Fibra (g)	0.70-0.90	0.3	0.5
Ceniza (g)	0.54-0.68	0.5	0.4
Calcio (mg)	6.30-8.80	6.0	10.0
Fósforo (mg)	30.20-36.10	19.0	16.0
Hierro (mg)	0.55-0.65	0.4	0.3
Caroteno (mg)	0.005-0.012	NR <sup>‡</sup>	NR
Tiamina (mg)	0.28-0.43	0	0
Riboflavina (mg)	0.28-0.45	0	0
Niacina (mg)	0.29-0.43	0.2	0.2
Ácido ascórbico(mg)	8.0-9	25.0	4

<sup>‡</sup>NR= no registrado. Fuente: Mercado, 2018.

### Usos principales

**Alimento:** Los cladodios tiernos pueden ser consumidos por el hombre, con un valor energético superior a la zanahoria y lechuga, similar a las espinacas en su contenido de hierro y los botones florales se preparan en ensaladas, salsas, adobos, etc. Desde el punto de vista pecuario, como forraje para ganado en temporadas secas (Ortiz, 1999; Meráz *et al.*, 2003; Bárcenas y Jiménez, 2010).

**Colorantes:** La cáscara tiene un alto potencial para usarse como colorante natural de alimentos o cosméticos, por su alto contenido de betacianinas en pulpa y cáscara, de 10.3 a 13.8 mg por cada 100 g<sup>-1</sup> y estabilidad en pH de 3 a 7 (Harivaindaran *et al.*, 2008; Wu *et al.*, 2006).

**Industria:** La pulpa de la fruta se puede procesar para elaborar mermeladas, jarabes, vinos, jugos, néctar, entre otros productos. La deshidratación osmótica de la fruta en

rodajas, resulta de interés para brindarle un nuevo valor agregado al fruto (Castillo, 2006; Phuoc *et al.*, 2019; Ayala *et al.*, 2009).

**Medicinal:** El fruto contiene caprina, que le confieren propiedades cardiotónicas, estimulante nervioso y coadyuvante en problemas gastrointestinales, debido a su alto contenido de flavonoides y concentración de ácido grasos, fibra, minerales y vitaminas (Huachi *et al.*, 2015). La pulpa presenta un alto contenido de fenoles, lo cual se diferencia por especie, siendo *H. undatus* la que tiene el mayor contenido (28.65 mg/100 g), que en *H. polyrhizus* (24.22 mg/100g) (Choo y Wong, 2011). Las flores preparadas en infusión junto con los brotes, son efectivas para enfermedades renales, cardíacas y gripe, por su alto contenido de potasio es recomendable para personas diabéticas y problemas cardiovasculares (Ankli *et al.*, 1999; Canales *et al.*, 2005, Castillo *et al.*, 2005).

Las fracciones de tallos licuados se usan para el tratamiento de afecciones de los riñones, eliminar amibas, caspa, calmar el dolor de cabeza, cansancio de los pies, desinfección y tratamiento de llagas en piel, mientras que, a nivel farmacéutico para la elaboración de medicinas con efecto espasmolítico y circulación (García, 2003; Ricalde y Andrade, 2009; Esquivel y Araya, 2012). Los extractos de pulpa y cáscara del fruto de *Hylocereus sp.*, tiene una alta actividad antimicrobiana contra *Escherichia coli*, *Salmonella typhi*, *Candida albicans*, *Bacillus subtilis*, y *Staphylococcus aureus*, para inhibir crecimiento de células cancerígenas (Escobar *et al.*, 2010; Kim *et al.*, 2011; Wu *et al.*, 2006). Destaca su contenido de pectinas en cáscara y fruto, con un efecto antibacterial y antiviral (Perea *et al.*, 2010; Nurmahami *et al.*, 2012).

La semilla posee aceite con un efecto laxante, con ácidos grasos funcionales (ácido linoleico), benéfico para la salud, sin embargo, *H. megalanthus* contiene una mayor cantidad de ácidos grasos poliinsaturados, en comparación a *H. polyrhizus* y *H. undatus*, donde la cantidad está determinada por el método de extracción y la zona de producción de la fruta (Choo *et al.*, 2016). El aceite de las semillas contiene antioxidantes naturales, compuestos fenólicos, tocoferoles y esteroides, ácidos grasos esenciales, principalmente ácido linoleico (660 g kg<sup>-1</sup> en *H. megalanthus*, 540 g kg<sup>-1</sup> en *H. undatus* y 480 g Kg<sup>-1</sup> en

*H. monacanthus*), con una mayor concentración en comparación al de canola, sésamo y es útil para mejorar la apariencia de la piel, en la preparación de alimentos, cosméticos y en la industria farmacéutica (Lim *et al.*, 2010, Chemah *et al.*, 2010; Villalobos *et al.*,2012).

**Fitocosmética:** El aceite de las semillas de pitahaya, destaca por su contenido de ácidos grasos esenciales, ácido palmítico, ácido esteárico y ácido oleico (45-55% del peso total de la semilla), siendo superior al aceite de la semilla de linaza, canola, sésamo y uva, además de propiedades antioxidantes (Liaotrakoon *et al.*, 2013; Lim *et al.*, 2010). Se puede emplear en la elaboración de diversos productos para el cuidado de la piel y cabello, labiales, jabones, cremas corporales y shampoo (Kamairudin *et al.*, 2014).

**Calidad de agua:** El aprovechamiento de los tallos de pitahaya, como coagulante natural para eliminar la turbidez y color del agua ha dado buenos resultados, lo que representa un uso alternativo del cultivo (Shafad *et al.*, 2013; Jurado *et al.*, 2015).

**Ornamental:** Los tallos de *Hylocereus*, se utilizan como portainjertos para ayudar a otros cactus, con problemas de supervivencia en suelo, por falta de clorofila, crecimiento lento, sistema radicular deficiente o en cactus raros con gran demanda comercial (Castillo, 2006; Jeong, 2007).

### Requerimientos agroclimáticos

La adaptación de las plantas a las condiciones ambientales proporciona información complementaria acerca del medio donde se desarrollan.

**a) Altitud:** La pitahaya se desarrolla a una altitud desde 0 a 2496 msnm, siendo la más adecuada de 100 a 800 msnm (García *et al.*,2015).

**b) Temperatura.** La temperatura base para crecimiento es de 7°C, la máxima umbral es de 40°C, la temperatura nocturna óptima para el crecimiento va de 12 a 18°C, mientras que la temperatura promedio anual es de 17 a 30°C. El cultivo no presenta tolerancia a

heladas o períodos prolongados de temperaturas superiores a los 40°C, donde las temperaturas letales mínima y máxima son de 5 y 45 °C, respectivamente (Andrade *et al.*, 2006; Bárcenas, 2002; Khaimov *et al.*, 2012).

La pitahaya es una planta de día largo, con tolerancia a ambientes áridos y calurosos, sin embargo, las temperaturas extremas en verano restringen la floración en el cultivo (Jiang *et al.*, 2012; Nerd *et al.*, 2002). La temperatura óptima de día son 30°C y la noche de 20°C para la fijación neta de CO<sub>2</sub>, siendo mayor en comparación a otras plantas CAM. Las temperaturas mayores a 45°C, provocan daños en tallos, debido a una disminución de la fijación de CO<sub>2</sub>, por la poca aclimatación de las células fotosintéticas, mientras que a temperaturas menores de -1.5°C presenta daños severos (amarillamiento y quemaduras) y a -4°C provocan la muerte de las células del clorénquima (Nobel y De la Barrera, 2004).

**c) Precipitación:** Los requerimientos de precipitación anual en pitahaya varían de 400 a 2000 mm anuales. El suministro de agua por riego o lluvia, se requiere durante la floración, para incrementar la elongación de tallos y la tasa de fotosíntesis. El exceso de lluvia provoca una disminución de flores e induce la pudrición de flores y frutos, con serios problemas fitosanitarios (Ortiz y Carrillo, 2012; Zee *et al.*, 2004).

Las adaptaciones morfológicas y fisiológicas que presenta el cultivo, le permiten soportar sequías prolongadas y reponerse rápidamente cuando inicia la temporada de lluvias, por lo tanto, puede ser cultivada en condiciones de temporal, *H. undatus* tolera sequías prolongadas (6 semanas) sin afectar su crecimiento (Castillo, 2006; Tel-Zur *et al.* 2011; Nobel, 2006).

**d) Luz:** Las plantas no toleran la intensidad luminosa fuerte y directa, por lo tanto, la intensidad de la luz puede afectar el estado nutricional de los brotes de la pitahaya e influir en el número de flores producidas (Nobel y De la Barrera, 2004; Khaimov y Mizrahi, 2006). Las plantas ubicadas a la luz directa del sol y sin un manejo agronómico, presentan problemas sanitarios severos como amarillamiento o presencia de hormigas,

mientras que las plantas ubicadas a media sombra, tienen un desarrollo adecuado y enfermedades menos severas, es necesario un manejo de la luz en las áreas de cultivo y establecer un tutor antes del trasplante, que garanticen la intensidad de luz y niveles de sombra correcta (Manzanero *et al.*, 2014; Bárcenas y Jiménez, 2010).

La pitahaya es un cultivo de día largo, sin embargo, para el control de la floración y producción de fruta, fuera de temporada (invierno) se usa iluminación artificial en plantaciones comerciales en países como Taiwán (Jiang *et al.*, 2012). El exceso de sombra provoca la elongación de los tallos y reducción del grosor, lo que disminuye la floración y rendimiento. Los requerimientos de sombra son diferentes entre variedades y especies, debido a la serosidad en los tallos, lo que ayuda a una mayor tolerancia a la luz solar, pero bajo estrés hídrico esto disminuye, a nivel comercial se recomienda una sombra artificial que atenúe de 30 a 60% de radiación (Merten, 2003; Andrade *et al.*, 2006). El exceso de sombra afecta la producción y la calidad de los frutos, con sombras menores a 50%, el crecimiento vegetativo se favorece, sin embargo, algunas especies como *Hylocereus polyrhizus* e *Hylocereus costaricensis*, toleran más la luz, debido a un mayor grosor y serosidad en la epidermis (Del Ángel *et al.*, 2012).

**e) Suelo:** Requiere de suelos con buen drenaje y alto contenido de materia orgánica, dada la habilidad de la pitahaya para absorber y retener agua, así como nutrientes. El exceso de humedad en el suelo provoca problemas fitosanitarios, debido a la presencia de hongos, así como pudriciones en raíz y tallo. El pH más adecuado va de 5.5 a 6.5, aunque se pueden usar suelos ácidos con valores de pH cercanos a 3, también puede tolerar la salinidad dependiendo de la variedad, sin embargo, su crecimiento disminuye (Bárcenas y Jiménez, 2010).

## Reproducción

La pitahaya se propaga de manera vegetativa (asexual) principalmente, mediante el uso de esquejes sanos, de diferentes tamaños (25-100cm), provenientes de plantas madre con buen manejo, cuyas ventajas es lograr un enraizamiento en poco tiempo, ya

sea en vivero o de forma directa, así como la uniformidad de la producción, sin embargo, el tiempo para la producción de los primeros frutos será de uno a dos años. La longitud del esqueje acelera la tasa de generación de nuevos tallos (cantidad y tamaño) en los primeros años del cultivo (Castillo, 2006; Gunasena *et al.*, 2007; Ebel *et al.*, 2013). La mejor emisión de brotes y número de frutos por cladodios se obtienen en esquejes de 40 a 60 cm de longitud (Costa *et al.*, 2014). La aplicación de promotores de crecimiento en los esquejes (ácido indolbutírico (AIB), ácido giberélico (AG<sub>3</sub>)) y la combinación de diferentes tipos de sustratos (arena, peatmoss, estiércol), es una práctica común para promover un mejor sistema radical en diferentes tamaños de esquejes (Bastos *et al.*, 2006; Balaguera *et al.*, 2010; Elobeidy, 2006).

La reproducción sexual (semilla), se emplea en programas de mejoramiento genético, para obtener información de la variabilidad genética entre especies de *Hylocereus* y en propagación *in vitro* para la conservación de especies que se encuentran en peligro de extinción como *H. purpusii*, sin embargo, a pesar de la alta viabilidad de las semillas, el tiempo para el inicio de producción se prolonga de cuatro a seis años, por lo que su uso es poco frecuente (Andrade *et al.*, 2008; Elobeidy, 2006; Ortiz *et al.*, 2015; Feria *et al.*, 2012).

## Fenología

La información sobre la fenología reproductiva es limitada, debido a una amplia variación de los periodos de crecimiento vegetativo y reproductivo entre genotipos. La etapa reproductiva puede ocurrir desde el primer año, sin embargo, el número de flores y frutos es menor, incrementándose paulatinamente en los siguientes años, hasta estabilizarse en el quinto y sexto año, con una vida productiva de la planta de hasta 15 o 20 años, dependiendo del manejo.

Las fases en etapa reproductiva de la pitahaya son:

- **Brotación (Fase I):** Levantamiento de espina, diferenciación, emergencia y crecimiento de una yema vegetativa floral (Figura 2).

- **Floración o antesis (Fase II):** Una vez que el perianto alcanza su máxima longitud (25 a 30 cm), la flor abre durante la noche y permanece abierta hasta la mañana del día siguiente, lo que determina la presencia de polinizadores específicos como los murciélagos nectarívoros fundamentalmente y realiza una polinización que permitan la formación del fruto. Los factores que afectan la floración son: edad de los brotes, temperatura, número de horas luz y la aplicación de reguladores de crecimiento. La pitahaya produce de tres a cinco floraciones durante el año, si se presentan las temperaturas (30-32°C) y humedad relativa (60-80%) óptimas para ello (Jiang *et al.*, 2011; Le Bellec y Vaillant, 2011).
- **Amarre de fruto (Fase III):** El perianto cae y una vez, fecundado el óvulo comienza el desarrollo del fruto, marca la transición de flor - ovario - fruto. El crecimiento potencial del fruto está determinado por el tamaño inicial del ovario en antesis y la cantidad de polen, manifestándose con un crecimiento más acelerado e incremento en el tamaño final (Medina, 2015).
- **Madurez (Fase IV):** Los frutos adquieren el color rojo característico de la variedad, el cambio de color y firmeza de fruto son indicadores para su cosecha entre 28 y 30 días después de la antesis, sin embargo, es diferente por variedad y sitio de plantación (Balois *et al.*, 2013; Martínez, 2014). En esta etapa, ocurre la mayor acumulación de la porción comestible de la pitahaya e incremento del contenido de azúcares y grados Brix (°) mejorando el sabor del fruto, con una disminución de ácido málico y ascórbico (Centurión *et al.*, 2008; Yah *et al.*, 2008).

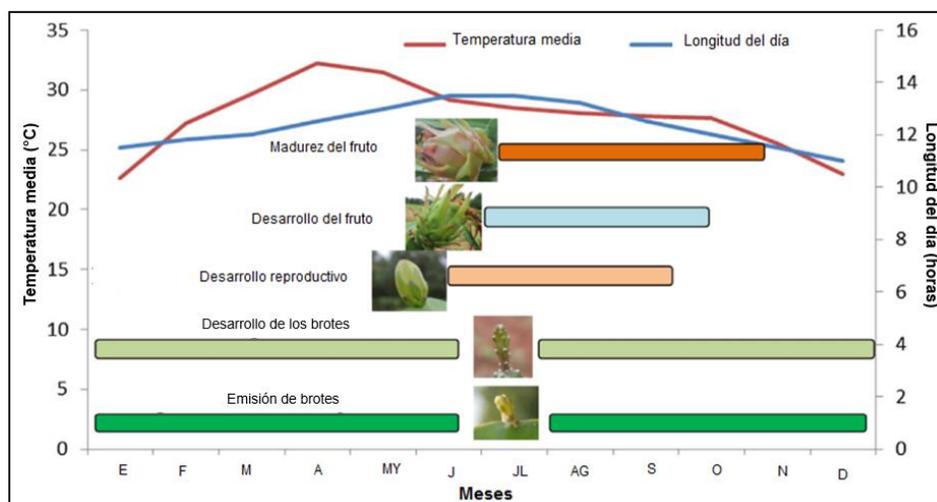


**Figura 2.** Fases de etapa reproductiva de la pitahaya (Martínez *et al.*,2017).

El comportamiento fenológico se ha abordado en los últimos años a nivel mundial, en Taiwán, Jiang *et al.* (2011) estudiaron la fenología, composición del dosel y calidad de fruta de la pitahaya amarilla, en dos estaciones de producción (verano e invierno). El estudio concluye que, los brotes florales aparecieron en verano e invierno, respectivamente, sin embargo, existió diferencias en el peso, pulpa y sólidos solubles totales (SST) de los frutos por estación, siendo superiores los producidos en invierno.

En Sao Paulo, Brasil, Da Silva *et al.* (2015), evaluaron el efecto del uso de cubiertas plásticas blanca-negra y 50% de sombra, sobre el crecimiento de *H. undatus*, observaron una constante emisión de yemas florales, que ocurría cuando se combinan altas temperaturas y precipitación de noviembre a marzo, por lo que la floración ocurrió a mediados de abril. El color de la cubierta plástica influyó en el número de flores totales, el tiempo transcurrido entre la emisión de yemas florales y la antesis fue de 18 a 23 días, la cosecha ocurrió 34 a 43 días después de la floración.

En India, Kishore (2016), realizó la clasificación de las etapas fenológicas de la *Hylocereus undatus* de acuerdo a la escala BBCH (*Biologische Bundesantalt, Bundessortenamt and Chemische Industrie*), e identificó 7 etapas principalmente: 0) emisión de brotes, 1) desarrollo de los brotes, 2) desarrollo de los órganos de reproducción vegetativa, 3) desarrollo reproductivo, 4) floración, 5) desarrollo de los frutos, y 6) madurez (Figura 3). La clasificación es una herramienta útil con fines de manejo y planeación del cultivo (riego, reproducción, podas y cosecha).



**Figura 3.** Etapas de crecimiento del cultivo de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en escala BBCH. Kishore (2016).

En México, Bárcenas (2002) determinó que la temperatura base es de 7°C para el crecimiento de la pitahaya, temperaturas iguales o inferiores reducen la absorción de CO<sub>2</sub>. La acumulación de peso seco se realiza en un rango de 7 a 40°C, con una tasa de crecimiento relativo mayor a una temperatura de 15°C, mientras que a los 45°C y 5°C se manifiesta deshidratación y muerte de plantas, respectivamente. La cuantificación de los grados días de desarrollo (GDD) por etapa fenológica en pitahaya fue realizado por Martínez (2014) en Cotaxtla, Veracruz. Los resultados obtenidos fueron de 370 GDD para la fase I (Brotación), 104 GDD para fase II (Floración o antesis), 546 GDD en fase III (Amarre de fruto) y de 916 GDD a la fase IV (madurez del fruto).

Por otro lado, Osuna *et al.* (2016), determinaron el comportamiento fenológico reproductivo, la productividad y la calidad del fruto de la pitahaya en el Valle de Culiacán, Sinaloa, México. Obtuvieron que el inicio de la floración se asoció con un incremento de la humedad relativa (%) y temperatura(°C), los rendimientos obtenidos en el tercer, cuarto y quinto año, fueron de 10.9, 13.4 y 10 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Los frutos cumplieron con indicadores de calidad (color, SST, acidez titulable y relación sólidos/acidez) en comparación a zonas productoras en México y otros países.

## **MANEJO DEL CULTIVO**

### **Preparación de esquejes y trasplante**

Los esquejes deben provenir de plantas madre en etapa productiva, sana, de buen porte y mejores características, preferentemente no de tallos ramificados. La longitud de los esquejes puede ir de 25 cm hasta 1 m, en función de la disponibilidad de plantas (Méndez y Coello, 2016). Una vez seleccionados, es necesario tratarlo con un fungicida, para evitar la pudrición de la parte basal del esqueje y dejar cicatrizar 15 días bajo sombra antes del trasplante. Los esquejes se deben enterrar a un tercio de la longitud del mismo, procurando quedar de forma vertical y con un buen agarre al suelo, incorporándole una mezcla de materia orgánica bien descompuesta, para conservar la humedad y un enraizador vía directa o mediante riego (Bárcenas y Jiménez, 2010).

Para el enraizamiento de esquejes, se requieren materiales, como las arenas que favorezcan un buen drenaje y de macroporos para el movimiento del agua, sin embargo, la combinación de arena, peatmoss y estiércol, han brindado buenos resultados para la emisión de raíces (Guimarães *et al.*, 2010; Silva *et al.*, 2006),

### **Establecimiento de tutores**

La pitahaya puede establecerse en asociación con árboles frutales, forestales o cultivos anuales. En siembra directa al suelo, la pitahaya requiere soporte para permanecer verticalmente y sombra para un mejor desarrollo, para tal fin se usan “tutores” vivos (mezquite, jacaranda, cocoite) para zonas áridas o inertes (postes de concreto, aluminio, alambre), de acuerdo a la zona donde se establecerá la plantación y los recursos económicos disponibles. (Ortiz, 2000). Los tutores deben tener estas características: capacidad de enraizamiento en poco tiempo, rápido crecimiento, tolerantes y no hospederos de plagas y enfermedades, resistencia para soportar el peso de la planta en producción, facilitar el acceso a flores y frutos, vida útil que coincida con la duración de la etapa productiva del cultivo y de preferencia ser especies nativas (Hernández *et al.*, 2018).

Los espaciamientos dependen del tipo de tutor a usar, así como de la cantidad de planta disponible, lo cual debe permitir el libre acceso para las labores de mantenimiento y cosecha de cultivo, existen algunas recomendaciones en el marco de plantación como son: 3 x 3 m, 3 x 1.5 m, 2 x 2 m, 1.2 x 2 m, entre otros, principalmente en sistemas de producción intensiva (Merten, 2003; Bárcenas y Jiménez, 2010).

### **Sombra**

Algunas especies del género *Hylocereus*, son más tolerantes a la luz como *H. purpusii*, *H. monacanthus* y *H. costaricensis* ya que presentan una cobertura de cera en la extensión de los cladodios, que evitan la exposición directa de los estomas a la radiación solar, sin embargo, *H. undatus* requiere de 30 a 60% de sombra en lugares cálidos y secos. Los niveles óptimos de luz para el crecimiento adecuado de la pitahaya, ocurren cuando los tallos reciben el 60 % de la luz solar. Por debajo de estos niveles de luz, la tasa de crecimiento es menor porque la planta no obtiene la energía suficiente; a mayores niveles de luz, el exceso de energía que reciben los tallos inhibe el crecimiento y fotoinhibe la fotosíntesis (Ortiz y Carrillo, 2012; Mizrahi y Nerd, 1999; Ricalde y Andrade, 2009; Andrade *et al.*, 2006)

### **Podas**

Este tipo de prácticas realizadas después de la época de producción, estimula el crecimiento de nuevos brotes jóvenes y una mayor producción de flores al año siguiente, mejora las condiciones de manejo e induce a la ramificación del eje principal. La pitahaya es de rápido crecimiento, si no se realizan podas se produce una acumulación de cladodios en la parte superior que reduce la penetración de la luz, incrementa la incidencia de insectos y enfermedades e interfiere con la recolección de los frutos (Bárcenas *et al.*, 2002; Le Bellec *et al.*, 2006).

Existen diferentes tipos de poda a realizarse en el cultivo: sanitaria, la cual implica la eliminación de los cladodios dañados, enfermos o muertos y los que llegan al suelo, para eliminar focos de infección. Por otra parte, las podas de formación y producción, eliminan

aquellos cladodios que interfieran con las prácticas culturales y de cosecha, seleccionando los cladodios más sanos y fuertes, por ello es conveniente realizar de una a tres veces por año dependiendo del vigor de la planta. Para el tratamiento en los cortes puede aplicarse un fungicida para reducir la incidencia de pudrición del esqueje (Crane y Balerdi ,2005).

### **Polinización**

En *Hylocereus* se ha encontrado que existe autoincompatibilidad sexual y una polinización deficiente que causan aborto o caída de las flores; por lo tanto, un bajo amarre de frutos (Castillo *et al.*, 2005). *H. undatus* tiene un débil mecanismo de autoincompatibilidad, es decir, puede llegar a aceptar su propio polen. Una buena polinización, se obtiene mediante una polinización cruzada natural y de forma manual. La polinización natural se realiza por polinizadores nocturnos *Leptonycteris curasoae* y *Choeronycteris mexicana*, que contribuyen a un mejor amarre de fruto (76.9%) y polinizadores diurnos como las abejas (*Apis mellifera* y otras) con solo el 46.1%, en la región de Tehuacán, Puebla (Dag y Mizrahi, 2005; Valiente *et al.*, 2007).

Para evitar bajos porcentajes de amarre de fruto, es recomendable establecer diferentes genotipos dentro de la plantación para disponer de polen viable cuando se requiera (Litchtenzveig *et al.*, 2000). La conservación del polen, es una opción para abordar el problema, sin embargo, no ha sido tarea fácil. En Israel, Metz *et al.* (2000) evaluaron un método de conservación del polen de *H. undatus* e *H. polyrhizus*, para la polinización cruzada, con un porcentaje de humedad del 5-10%, bajo diferentes temperaturas de almacenamiento (4, -18, -70, -196°C) por 3 y 9 meses. La tasa de germinación de polen fue del 90%, independiente de la temperatura de almacenamiento.

En otros países como España el reto persiste, sin buenos resultados hasta ahora, algunos trabajos realizado por Gámez (2015), evaluó un método de conservación de polen y el comportamiento fenológico reproductivo de la pitahaya entre distintos genotipos, incluyendo cultivares con potencial polinizador (*H. undatus* y JC01) y el

cultivar principal (*H. purpusii*). La fenología incluyó el registro de fechas y solape de floraciones entre los diferentes ejemplares. La evaluación de los métodos de conservación del polen abarcó pruebas de viabilidad con microscopia de fluorescencia, efecto de diferentes temperaturas (temperatura ambiente, 4, -20 y -72°C) y humedad relativa (10, 33, 50, y 70%), en función de cada cultivar. La conclusión del estudio indica que la viabilidad del polen más alta, se obtuvo a una temperatura de -20°C, por solo 7 días de almacenamiento, mientras que la edad de la flor afecta la viabilidad y rendimiento del polen para *H. undatus*, es decir, el polen de una flor recién abierta, es mayor a una flor cerrada o en botón floral.

En México, no se ha abordado el problema, sin embargo, se ha enfocado en la compatibilidad entre especies. Solís (2014), estudió la fenología de floración, comportamiento reproductivo, sincronía floral y compatibilidad sexual, mediante polinización cruzada manual, entre dos genotipos de pitahaya solferina y uno de pulpa blanca, así como la aplicación de ácido giberélico (AG<sub>3</sub>) en la antesis en campo, para el amarre de fruto en Puebla. La aplicación de 100 ppm de AG<sub>3</sub>, logró un 76.6% de amarre de flores de solferina polinizadas con flores del mismo genotipo, pero de plantas diferentes.

## Riego

El riego de manera regular permite a la planta acumular reservas suficientes para emisión de flores y producción de frutos (Le Bellec *et al.*, 2006). El consumo del agua en el cultivo, no ha sido cuantificado, sin embargo, algunos autores recomiendan el riego por etapa de crecimiento, tipo de zona o bajos ciertas condiciones de manejo del cultivo. Es necesario evitar el exceso de humedad en el primer mes de la plantación, por lo que se aplican dos riegos por semana, y una vez que se tengan los primeros brotes se incrementa un riego adicional por semana (Rodríguez, 1997).

El crecimiento de los brotes en suelos secos, depende de la cantidad de agua almacenada en los tallos maduros, por lo tanto, es necesario considerarlo como una

estrategia de manejo del cultivo en un calendario de riego durante épocas cálidas (Nerd y Neumann, 2004). Los requerimientos de riego, pueden variar entre géneros, como en el caso de *Hylocereus* y *Selenicereus*, con efectos en el peso de nuevos brotes, floración, tasa de intercambio de carbono (CER), rendimiento y calidad de fruto (Mizrahi *et al.*, 2007; Sabino, 2010; Ortiz *et al.*, 2012).

Por época del año, Lichtenzveig *et al.* (2000), recomienda cinco litros de agua por planta en la estación cálida, mientras que solo dos litros en la estación fría, en Israel, mientras que Merten (2003), solo un litro por día en riego por goteo en suelos arenosos del sur de California, E. U.

### **Fertilización**

Para asegurar un alto rendimiento y tamaño de la fruta de pitahaya, es necesario considerar la aplicación de nutrientes y una buena calidad del agua, con una conductividad eléctrica (CE) menor a  $3 \text{ dS m}^{-1}$ , ya que las raíces y brotes son sensibles en soluciones salinas en una etapa inicial, sin embargo, su efecto será en función de la etapa vegetativa en la que se encuentre el cultivo, por lo que es un factor clave para el manejo (Chakma *et al.*, 2014; Cavalcante *et al.*, 2007; Bárcenas *et al.*, 2002).

La pitahaya requiere de fertilización mineral principalmente en época de producción, sin embargo, la demanda para cada nutriente, aún se desconoce. La evaluación de diferentes dosis de fertilización en el cultivo se ha abordado en algunos países, como en el caso de Nicaragua, la aplicación de 40 y 80 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno(N) y fósforo (20 y 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) favorece una mayor producción de fruta (López y Guido, 1998). Por otro lado, en Taiwán, recomiendan incorporar 4 kg de estiércol composteado por planta cada 4 meses y adicionar fertilizante comercial 13-13-13 (Zee *et al.*, 2004). En Tailandia, los mejores resultados en cuanto número de brotes, flores, frutos (peso, SST) y rendimiento, fueron obtenidos con la aplicación de las fórmulas de fertilización siguientes: 46-0-0, 24-24-0 y 16-16-16 (Muchjajib y Muchjajib, 2012).

En Israel, las fórmulas de fertilización empleadas en el cultivo de pitahaya son NPK (20-20-20 y 23-7-23), más microelementos vía riego (Mizrahi, 2014; Weiss *et al.*, 1994). En Brasil, una combinación de dosis de fertilización con base a N (300-450 mg L<sup>-1</sup>) y K (150-225 mg L<sup>-1</sup>), favorece un mejor peso seco en raíces y longitud de brotes (Bernardo *et al.*, 2014). La relación zinc (Zn) y P en dosis de 60 a 75 mg L<sup>-1</sup> y 3 a 4 mg L<sup>-1</sup> respectivamente, favorecen un mejor peso de cladodios (Correa *et al.*, 2014). Para el P una dosis de 44-67 mg L<sup>-1</sup>, favorece la acumulación de macro, micronutrientes en raíces y brotes (Amato *et al.*, 2016), mientras que de 106 a 200 g K<sub>2</sub>O durante los primeros años del cultivo, mejoran producción y calidad de la fruta (Fernandes *et al.*, 2018). Una combinación de K (250 mg L<sup>-1</sup>) y calcio (Ca) de 159 mg L<sup>-1</sup>, favoreció la mayor fotosíntesis neta e intercambio gaseoso en el cultivo (Cajazeira *et al.*, 2018).

La aplicación de abonos orgánicos en pitahaya, fue evaluado por Rana *et al.* (2014) en Bangladesh, donde la aplicación de composta en dosis de 0.5 a 1 kg vía riego cada cuatro días, mejoró los rendimientos del cultivo. En el caso de México, Cáliz *et al.* (2014) sugieren que en la zona maya de Quintana Roo, la aplicación de fosfato diamónico (DAP) con 18N-46P-00K al inicio o al final del ciclo de producción, favorece el desarrollo de la planta y mayor número de frutos.

### **Plagas y enfermedades**

Las plagas más perjudiciales para el cultivo son varias especies de chinches (*Hemiptera*) que se alimentan succionando flores, frutos y tallos, estos últimos muy frecuentemente se enferman con hongos o bacterias. La hormiga arriera (*Atta* sp.) también puede causar graves problemas, ya que se alimenta de los tallos jóvenes. La abeja (*Melipona* sp.), se alimenta de los márgenes de las brácteas de las flores y frutos, lo que causa disminución en la calidad de los frutos (Meráz *et al.*, 2003).

Con respecto a enfermedades se encuentra:

El ojo de pescado (*Botryosphaeria dothidea*) causada por el hongo *Dothiorella* sp., afecta principalmente los tallos en época de sequía, falta de agua y exceso de sol; se puede controlar si se eliminan los tallos enfermos y retirarlos del campo de producción (Castillo *et al.*, 2016).

La pudrición blanda de los tallos se asocia a la bacteria *Erwinia carotovora*, que induce la pudrición a partir de los 15 días de su presencia en el cultivo. La especie *H. undatus* es la más susceptible debido a la deficiencia de Ca y N, lo que favorece el desarrollo del patógeno, la severidad de la enfermedad se asocia con deficiencias nutricionales (Valencia *et al.*, 2003).

La antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*), afecta el rendimiento y la calidad del fruto principalmente en postcosecha. Balendres y Bengoa (2019), indican que el control fitosanitario, implica el tratamiento con métodos de desinfección para disminuir el daño en fruta, bajo diferentes métodos físicos (temperatura, agua caliente o rayos gamma), químicos (carbonato de sodio y sorbato de potasio), naturales (aceite esencial de citronela (*Cymbopogon nardus*), eucalipto (*Eucalyptus globulus*), romero (*Rosmarinus officinalis*) y biológicos (*Bacillus subtilis*, *B. amyloliquefaciens*, *B. methylotrophicus*).

La presencia de nematodos en raíces, solo se ha reportado en *H. polyrhizus* en China se asocia a *Tylenchorhynchus agri*, cuyos síntomas son inhibir y provocar caída de frutos (Zhang *et al.*, 2018).

## **Cosecha**

Es una actividad delicada, que se realiza en el periodo de junio a septiembre, o hasta principios de octubre. Los frutos se cosechan cuando alcanzan su madurez fisiológica, que ocurre entre los 28 y 52 días después de la antesis (apertura floral), la coloración específica es función de la especie y las condiciones ambientales, que definen el mercado destino regional o exportación (Meráz *et al.*, 2003; To *et al.*, 2002).

## Poscosecha

El fruto de pitahaya es de tipo no climatérico, su mejor calidad se alcanza, si se cosecha en el punto óptimo de maduración, sin embargo, depende de la zona geográfica donde se localice. Su vida de anaquel es muy reducida, por lo que requiere de una temperatura óptima de almacenamiento (14°C), para conservar su calidad de 6 a 8 días (Castillo y Ortiz, 1994; Merten, 2003; Ortiz y Takahashi, 2015).

Los frutos de especies del género *Hylocereus* son susceptibles al ataque de hongos, por lo que se someten a un control fitosanitario (tratamientos con sumersión en agua caliente, irradiación o aire caliente), para prolongar la vida útil y calidad de la fruta, con fines de exportación a mercados internacionales (Padrón, 2012; Lum y Norazira, 2011).

La evaluación de parámetros de calidad en pitahaya (peso fresco, diámetro ecuatorial, firmeza, color de cáscara y pulpa, SST o grados Brix (°) y acidez titulable, resultan de gran importancia debido a los requerimientos del mercado destino y mantener características deseables en sabor, color y propiedades. El corte de la fruta en un estado de madurez medio y completo ayuda a prolongar la vida de anaquel de 6 a 8 días, sin afectar la calidad de la misma (Menezes *et al.*, 2015; Osuna *et al.*, 2011). Los SST es uno de los principales parámetros de calidad en pitahaya por el dulzor que le confiere al fruto, varían entre especies, en el caso de la pitahaya amarilla (16 y 17°) y pitahaya de pulpa blanca (12 y 13°), sin embargo, es aceptable con fines comerciales (Sotomayor *et al.*, 2019; Vázquez *et al.*, 2016; Merten, 2003).

## PERSPECTIVAS DE USO

Derivado de las condiciones ambientales actuales, la pitahaya representa una opción viable para su aprovechamiento, considerando las múltiples ventajas que ofrece, sin embargo, es necesario hacer difusión y promover el cultivo, para su consumo y producción. La versatilidad de la fruta, ofrece la oportunidad de elaborar diferentes productos, para aprovechar sus propiedades y aportes nutrimentales, lo que representa una fuente de ingresos para las familias en zonas con condiciones desfavorables.

La investigación en el cultivo en temas de producción ecológica, control fitosanitario, optimización de los recursos (insumos, agua), comercialización y manejo postcosecha, representan algunos desafíos para su implementación. La vinculación de los actores involucrados (centros de investigación, sector gubernamental y productores) es fundamental, para establecer líneas estratégicas en el cultivo, brindar capacitación y asesoría técnica, transferencia de tecnología, mejoramiento en los procesos de producción, e impulsar la organización para mejorar canales de comercialización.

La pitahaya es una cactácea con un alto potencial de aprovechamiento y en expansión, con requerimientos hídricos menores, adaptabilidad en diferentes condiciones edáficas, ambientales, gran variabilidad genética, facilidad de manejo productivo y versatilidad de usos. Los sistemas de producción existentes en sistemas intensivos, permiten aprovechar las bondades del cultivo, en términos de productividad y manejo, sin embargo, es necesario adaptarlos de acuerdo a la zona de interés y los recursos económicos disponibles. Los retos en el cultivo se enfocan en la implementación de estrategias para la producción ecológica, control fitosanitario, optimización de los recursos (insumos, agua), manejo postcosecha, comercialización y organización en zonas de producción, así como la difusión de las propiedades que ofrece.

## **CAPÍTULO I. USO DEL AGUA EN PITAHAYA (*Hylocereus undatus*) EN DIFERENTES CONDICIONES DE MANEJO**

### **1.1. RESUMEN**

La disponibilidad de agua es una limitante para el establecimiento de cultivos tradicionales, por lo tanto, es necesario cultivos alternativos con requerimientos hídricos menores, como las cactáceas, con un alto potencial para mitigar los efectos del cambio climático y de aprovechamiento como la pitahaya. El objetivo del trabajo fue evaluar el uso del agua en pitahaya en invernadero con tres condiciones de manejo de humedad (H 0-30%, H 0-70%, riego por succión), dos tamaños de esqueje (40 y 60 cm) y dos niveles de sombra (25% y 60%). Los esquejes de pitahaya se trasplantaron en un sustrato de tepojal y peatmoss (1:1) en bolsas de polietileno de 15 L. Se midió el consumo diario de agua en volumen (ml) de las cápsulas porosas (CP), el contenido de humedad del sustrato se monitoreo con el método gravimétrico. Los resultados indicaron que el riego con cápsula porosa produjo un mayor efecto en las láminas de riego consumidas, mientras que un nivel de sombra del 25% favoreció la mayor producción de materia seca en el cultivo. Los coeficientes del cultivo ( $K_c$ ) globales variaron para H 0-30 y H 0-70 de 0.13 a 0.22, en las CP fueron de 0.77 y 1.25 para los dos niveles de sombra y tamaño de esqueje evaluados.

**Palabras clave:** *cactáceas, evapotranspiración, agua, cambio climático*

## CHAPTER I. WATER USE IN PITAHAYA (*Hylocereus undatus*) IN DIFFERENT MANAGEMENT CONDITIONS

### 1.2. ABSTRACT

The availability of water is a limitation for the establishment of traditional crops, therefore, it is necessary alternative crops with lower water requirements, such as cactus, with a high potential to mitigate the effects of climate change and use as the pitahaya. The objective of the work was to evaluate water use in pitahaya in greenhouses with three moisture management conditions (H 0-30%, H 0-70%, suction irrigation), two cutter sizes (40 and 60 cm) and two levels of shade (25% and 60%). Pitahaya cuttings were transplanted into a tepojal and peatmoss substrate (1:1) in 15 L polyethylene bags. The daily water consumption by volume (ml) of the porous capsules (CP) was measured, and the moisture content of the substrate was monitored with the gravimetric method. The results indicated that irrigation with porous capsule produced a greater effect on the irrigation sheets consumed, while a shade level of 25% favored the higher production of dry matter in the crop. The overall crop coefficients ( $K_c$ ) varied for H 0-30 and H 0-70 from 0.13 to 0.22, in the CP were 0.77 and 1.25 for the two levels of shade and cutter size evaluated.

**Keywords:** *cactus, evapotranspiration, water, climate change*

### 1.3. INTRODUCCIÓN

La productividad de los sistemas agrícolas, depende del agua (contenido, disponibilidad, calidad, frecuencia de riego), nutrición, nivel tecnológico, entre otros factores. Sin embargo, hay regiones en México donde la escasez del vital recurso ha limitado el establecimiento de cultivos tradicionales, por lo tanto, se requieren cultivos alternativos con requerimientos hídricos menores, como las cactáceas para enfrentar dicha problemática. Estas tienen un alto potencial de mitigar los efectos del cambio climático, debido a sus mecanismos de adaptación a nivel morfológico, anatómico y fisiológico. Específicamente el metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM) para regular la transpiración, combinado con su resistencia a altas temperaturas y sequías, y de captura de carbono, así como su alta eficiencia en el uso del agua en comparación a plantas  $C_3$  y  $C_4$ , hasta cinco veces superior (Ranjan *et al.*, 2016).

El caso del nopal que, por su contenido nutricional y productividad, como base en la dieta tradicional e identidad mexicana, se ha intensificado su aprovechamiento en los últimos años. Lo mismo es aplicable con la pitahaya, que es una planta cactácea perenne de rápido desarrollo, hemiepífita que crece sobre árboles, piedras o tutores muertos debido a que no puede sostenerse por sí misma, con tallos triangulares o de cuatro lados (Ortiz y Carrillo, 2012). Con varias ventajas del cultivo, gran variabilidad genética, adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales, en suelos pobres y escasez de agua. Constituye una alternativa rentable en el corto y mediano plazo debido a su alta demanda en el mercado nacional e internacional como fruta exótica (Ricalde y Andrade, 2009).

En México, la producción anual en 2018 fue de 6,457.2 t que se concentró en los estados de Yucatán con 3,541.4 t, Quintana Roo con 2,306.1 t y Puebla con 467.7 t, de acuerdo con el Servicio de Información Agropecuario y Pesquero (SIAP, 2018). Los sistemas de producción en la mayoría del país son a nivel de traspatio, sin embargo, las plantaciones en sistemas de producción intensivos con tutores vivos o inertes se han incrementado en los últimos años, debido a la alta rentabilidad que presenta. Asimismo,

se destacan sus propiedades nutrimentales, nutraceúticas, y usos potenciales en la industria alimenticia y fitocosmética (Choo *et al.*, 2016).

Los estudios para determinar el consumo de agua en cactáceas son limitados debido a la falta de metodologías para su cuantificación. Se ha abordado en algunos cultivos como en el nopal (*Opuntia spp.*), en términos de estrés hídrico y su efecto en la productividad, principalmente para producción de forraje. Orona *et al.* (2003), estudiaron la productividad del agua en cuatro variedades de nopal en la Comarca Lagunera de México con diferentes tipos de riego por goteo y cintilla, de forma superficial y subsuperficial, con aplicación de agua al 30, 45 y 60% de la evaporación diaria.

La mayor productividad (kg de materia verde por m<sup>3</sup> de agua), se alcanzó en el primer año de establecimiento de *Opuntia ficus indica* (Var.69) con 102, 807 kg ha<sup>-1</sup> con cintilla superficial, y un riego que considera el 30% de la evaporación. Aguilar y Peña (2006) evaluaron el efecto del riego y diferentes niveles de sequía (sin, intermedio y severo) en la actividad fotosintética de cladodios de nopal con seis meses de edad, bajo condiciones de invernadero. La falta de riego redujo la concentración de clorofilas en los cladodios y la fluorescencia de la clorofila, tanto en el clorénquima como en el parénquima entre un 23.6 y 42.3%, en comparación al que se mantuvo con riego.

En el caso de pitahaya, los estudios sobre requerimientos hídricos son muy pocos, pero en Israel se han realizado los avances más novedosos en el cultivo, tanto a nivel genético como en su manejo productivo. Nerd y Neumann (2004), cuantificaron el efecto de la sequía en la maduración y crecimiento de brotes jóvenes de *Hylocereus undatus*, e investigaron los posibles mecanismos de transporte del agua involucrados en sostener el crecimiento de los brotes. La acumulación de agua y asimilados en tallos maduros, favorece el crecimiento de nuevos brotes, tanto en condiciones de humedad como en sequías prolongadas, por lo que es un factor a considerar en un calendario de riego y

manejo, principalmente en los meses cálidos donde el crecimiento del tallo se reduce por falta de riego.

Por otra parte, Mizrahi *et al.* (2007) evaluaron la eficiencia del uso del agua (EUA) en tres especies de pitahaya: *Hylocereus undatus*, *Hylocereus polyrhizus* y *Selenicereus megalanthus*; aplicaron diferentes niveles de riego: el estándar en el área, un menor y máximo al nivel de referencia. Evaluaron la calidad y rendimiento del cultivo, con un nivel de sombra óptimo de 40% para *Hylocereus* spp. y 60% para *S. megalanthus*, en plantaciones comerciales de 6 años de edad. El riego afectó el peso de los brotes, con variaciones entre géneros, siendo el riego óptimo cerca de los 160 mm año<sup>-1</sup>, con dos riegos por semana, y un rendimiento de 30-40 t ha<sup>-1</sup>. El tratamiento con menor cantidad de agua, redujo el tamaño y rendimiento, pero no afectó la calidad del fruto.

En EU, Nobel y de la Barrera (2002), estudiaron las relaciones hídricas y consumo de CO<sub>2</sub> en el tallo durante un tiempo corto de sequía, y obtuvieron la EUA. Indican que la producción de ácido abscísico en las raíces, inhibe la apertura estomática en el tallo, disminuyendo la pérdida de agua en condiciones de baja humedad en el suelo. La EUA de los tallos fue de 0.0043 mmol de CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> agua transpirada, típico de una planta CAM, de 2 a 5 veces superior a plantas C<sub>3</sub> y C<sub>4</sub> bajo condiciones similares, sin embargo, dicha eficiencia es menor en comparación a otras cactáceas como el nopal siendo de 0.0074 mmol de CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> agua transpirada, debido a una menor área fotosintética.

En México, de los pocos estudios que existen, Ortiz *et al.* (2012), observaron el efecto de dos estaciones del año (otoño y primavera) y dos regímenes de riego (bien regadas y bajo estrés) en la tasa de intercambio de carbono (CER) en el crecimiento de pitahaya. Los riegos fueron cada 15 días con 2 litros de agua por bolsa para las plantas bien regadas y de 4 meses bajo estrés. Los resultados indicaron que tanto la estación como el régimen hídrico afectó la CER, las mayores tasas de asimilación oscilaron entre 1.39 a 2.05 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> a una temperatura ambiente de 7.9 a 10.9°C. Sin embargo, el consumo de agua real en el cultivo, no ha sido cuantificado, y las recomendaciones de

riego que existen en la literatura son muy generales ya sea por etapa de crecimiento o por época del año.

Para determinar los requerimientos hídricos de los cultivos, es necesario considerar las relaciones planta-ambiente-suelo y manejo, el cual define la demanda de agua del cultivo, por lo cual, se requiere conocer la evapotranspiración, como un parámetro de referencia para estimar las necesidades hídricas. De acuerdo con Allen *et al.* (2006), la define como la combinación de la pérdida de agua a través de la superficie del suelo por evaporación y otra por la transpiración del cultivo, siendo afectado por variables meteorológicas (radiación solar, temperatura, humedad atmosférica y velocidad de viento), factores del cultivo (tipo de cultivo, densidad de plantas, variedad y etapa de desarrollo), suelo (tipo, cubierta, contenido del agua) y manejo.

Existen diferentes métodos para estimar la evapotranspiración, que pueden ser directos e indirectos; de manera directa se pueden usar los lisímetros, entre otros; e indirectos que usan variables meteorológicas, donde el método de referencia es Penman-Monteith de FAO No. 56; que facilita estimar las necesidades de agua para los cultivos. Por otra parte, el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) se define como el cociente entre la evapotranspiración del cultivo y la evapotranspiración del cultivo de referencia ( $E_{to}$ ), que permiten la planeación, diseño y manejo del riego (Allen *et al.*, 2006). Los factores que determinan los coeficientes del cultivo son: el tipo de cultivo, clima, evaporación del suelo, etapa fenología y el manejo principalmente. Ya existen valores de  $K_c$  en ciertos cultivos como hortalizas, cereales, leguminosas, textiles, oleaginosas, frutales tropicales, forrajes, entre otros. En el caso de cactáceas, no existe información de valores de  $K_c$ , solo se consideran cultivos de referencia, como la piña.

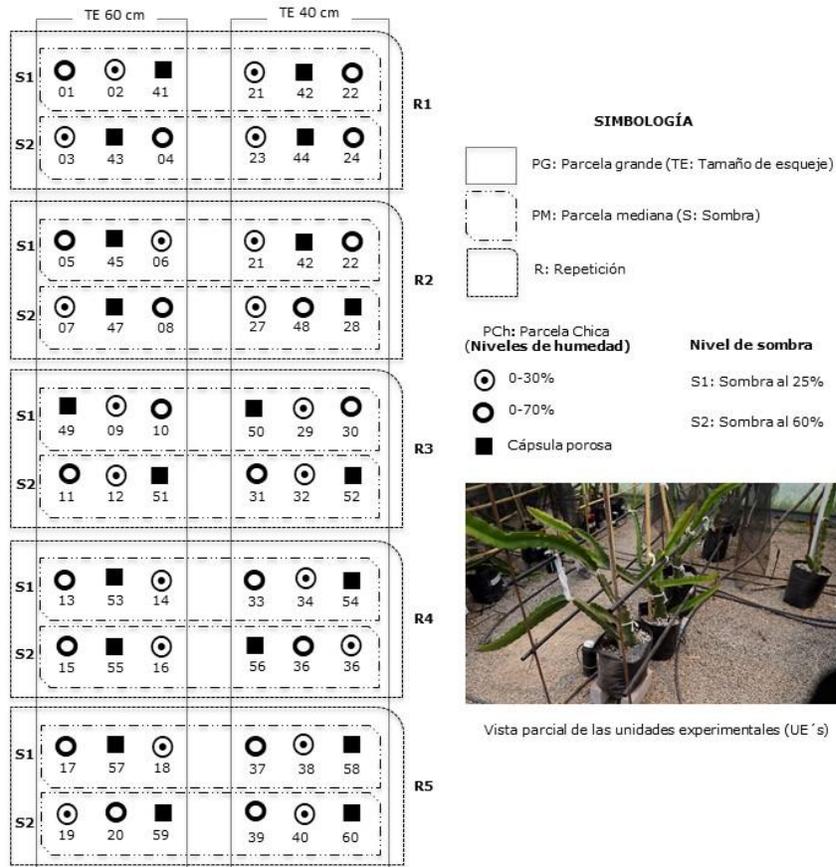
Por lo que se requiere cuantificar los requerimientos hídricos mediante metodologías confiables y específicas para este grupo de plantas. Una alternativa para ello, es el método de riego por succión, el cual permite medir los consumos diarios de agua de un cultivo. Se utilizan cápsulas porosas como emisores, que no utilizan energía externa para su funcionamiento, dado que la planta regula su régimen de humedad, en función del

tipo de sustrato y las condiciones meteorológicas del lugar. En este método no existe pérdidas de agua (por percolación y escorrentía superficial) lo que favorece un uso óptimo del agua, cuyos resultados son similares a un lisímetro de pesada (Vargas *et al.*, 2010; Peña y Vargas, 2018). Con base a los antecedentes expuestos el objetivo del trabajo fue evaluar el uso del agua en pitahaya en invernadero en diferentes condiciones de manejo, las cuales fueron tres condiciones de humedad (0-30%, 0-70%, riego por succión), dos tamaños de esqueje (40 y 60 cm) y dos niveles de sombra (25% y 60%).

#### **1.4. MATERIALES Y MÉTODOS**

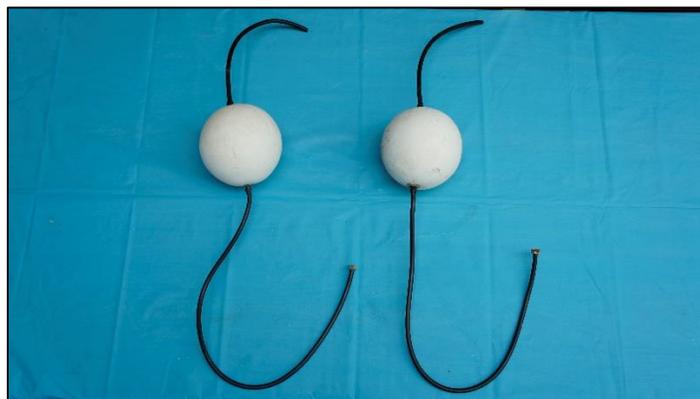
El experimento se llevó a cabo en el invernadero del área de Ingeniería de riego, en el Colegio de Postgraduados durante 01 de marzo de 2018 al 31 de marzo de 2019. Se utilizaron esquejes de pitahaya (*Hylocereus undatus*) provenientes de una plantación comercial de 3.5 años de edad, del municipio de Huitziltepec, Puebla. El tratamiento previo a la plantación de los esquejes, consistió en un corte en la base, en forma de punta, con una aplicación de enraizador comercial (Radix 1500), para favorecer la aparición de raíces y un corte apical para inhibir la dormancia, se usó azufre agrícola como fungicida y se dio un tiempo de cicatrización de 20 días bajo sombra. Los esquejes se trasplantaron (29 de diciembre de 2017) en una mezcla de tepojal y peatmoss (1:1) en bolsas de polietileno de 15 L.

El diseño experimental fue en Parcelas Subdivididas en Bloques al Azar (PDBA), cuya unidad experimental fue el esqueje de pitahaya (Figura 4). Se asignó como parcela grande (PG) el tamaño de esqueje (60 y 40 cm), parcela mediana (PM) el nivel de sombra (25 y 60%); y las parcelas chicas (PCH) las condiciones de humedad (0-30,0-70 y CP), con 5 repeticiones por tratamiento, con un total 60 unidades experimentales(UE's), la aleatorización de estas se realizó con el programa R (ver.3.4.2).



**Figura 4.** Distribución de diseño experimental en pitahaya

El riego por succión (CP) empleó una cápsula de 12 cm de diámetro por maceta, con un total de 20, a las cuales se colocaron conexiones en la parte basal y superior de cada cápsula, con tubín de 25 y 55 cm de longitud respectivamente (Figura 5).



**Figura 5.** Acondicionamiento del riego por succión

Se consideró una demanda máxima de ETo en una zona productora de pitahaya en Puebla, de  $8.5 \text{ mm día}^{-1}$  para determinar el tamaño de la cápsula a emplear y un valor de sortividad promedio de  $0.493 \text{ mm s}^{-1/2}$  de las cápsulas. Se colocaron las CP, en la porción media de cada bolsa, en la parte inferior se adicionó una capa de tepojal fino pasado por un tamiz de  $0.427 \text{ mm}$ , con la finalidad de incrementar su área de mojado. Uno de los extremos del tubín se sumergió a la fuente de abastecimiento, mientras que el otro extremo se cerró, para evitar la entrada de aire. Los niveles de referencia de cada cápsula, se establecieron considerando una altura de succión de  $10 \text{ cm}$ , desde el centroide de la cápsula al espejo del agua de la fuente de abastecimiento.

El registro de las variables ambientales de temperatura del aire ( $^{\circ}\text{C}$ ) y humedad relativa (%), se realizó con un datalogger marca Watchdog A150, cada 30 minutos. Además, se midió la evaporación diariamente, en dos tinas de evaporación, en condiciones de 25% (plástico del invernadero) y 60% (25%+35% malla sombra), respectivamente. Los datos meteorológicos se registraron del 1 de marzo de 2018 al 31 de marzo de 2019. Las temperaturas oscilaron entre  $2$  a  $49.1^{\circ}\text{C}$ , con una media de  $19.8^{\circ}\text{C}$  y la humedad relativa de  $56.6 \%$  promedio.

Se monitoreo semanalmente las condiciones de humedad del sustrato con el método gravimétrico, que consistió en tomar una muestra de  $100 \text{ g}$  de sustrato por cada maceta, registrando el peso húmedo de esta con una báscula portátil; después se secó la muestra en una estufa de circulación de aire forzado a  $105^{\circ}\text{C}$ , hasta obtener peso constante; el contenido de humedad se obtuvo por diferencia de peso. Para el consumo de agua, se midió en volumen (ml) a nivel diario en cada fuente de abastecimiento, y reponiéndose el agua consumida hasta los niveles de referencia previamente establecidos (0-30%, 0-70%). Las láminas de riego (cm) se obtuvieron al dividir el volumen de agua consumida entre el área de exposición por maceta durante el período de observación (Figura 6).



a	b	c	a) Preparación de esquejes, b) Cicatrización esquejes, c) Instalación de riego por succión, d) Monitoreo de niveles de humedad, e) Emisión de brotes laterales, f) Riego, g) Tutoreo de pitahaya, h) Muestreo parcial de brotes aéreos, i) Tratamientos bajo tres condiciones de humedad
d	e	f	
g	h	i	

**Figura 6.** Actividades diversas en el experimento de pitahaya

El coeficiente de cultivo ( $K_c$ -adimensional) para cada condición evaluada, se obtuvo al dividir la lámina de agua consumida (mm) entre la lámina evapotranspirada de referencia (mm) evaluada por el método de tina de evaporación y multiplicado por 0.8 como coeficiente de Benavides (Enríquez *et al.*, 2001), en el mismo período. Los  $K_c$  se obtuvieron para cada condición de humedad, considerando fechas y número de riegos aplicados, en el caso de las CP, se analizaron en períodos de cada 5 días, de manera consecutiva durante el período de observación, en ambos casos también se obtuvieron los  $K_c$  globales, siendo el promedio de las repeticiones para cada condición de humedad.

Se cuantificó la materia seca aérea (peso fresco y peso seco final) de cinco muestreos parciales de brotes (nuevos por arriba de los brotes laterales o esqueje) y uno al final del experimento, con una báscula analítica marca Sartorius (0.001 g precisión). Los brotes

se secaron en una estufa de aire de circulación forzada a 65°C por 72 h hasta peso constante. La materia seca acumulada se obtuvo como la suma de los muestreos parciales en peso seco y se expresó en g. En el muestreo final de materia seca se consideró a todos los brotes sobre el esqueje principal como parte de la materia seca aérea (laterales y brotes aéreos). La materia seca aérea (MSA) fue la suma de los muestreos parciales y del muestreo final, mientras que la materia seca en raíces, se obtuvo por diferencia en peso, como en el caso de la parte aérea.

La materia seca total (MST), se consideró su distribución en toda la planta (raíz, brotes laterales y brotes aéreos), para cada condición evaluada. Para el análisis estadístico de los datos, se hizo un análisis de varianza (ANAVA) y una prueba de comparación de medias de Tukey (a un 5% de probabilidad), con el software SAS 9.4. La verificación de supuestos de normalidad, se realizó con la prueba de Shapiro Wilk, mientras que la homogeneidad de varianzas se comprobó de manera gráfica en el mismo programa, el supuesto de independencia se asume con la aleatorización de las UE's, para cada variable respuesta.

## **1.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **1.5.1. Consumo de agua**

Las láminas aplicadas al cultivo para cada tratamiento de humedad, presentaron diferencias con respecto al tamaño del esqueje utilizado, se observa que las láminas mayores de riego, fueron con las CP, ya que se mantuvo al 75% de humedad (de un máximo de 0.286 v/v y densidad aparente = 0.29 g cm<sup>-3</sup>), que se midió durante el experimento, en comparación a las otras condiciones, donde el consumo mayor fue a un TE de 40 cm, bajo un nivel de sombra al 25% (Cuadro 2).

**Cuadro. 2.** Lámina de agua promedio aplicada en pitahaya por condición de humedad

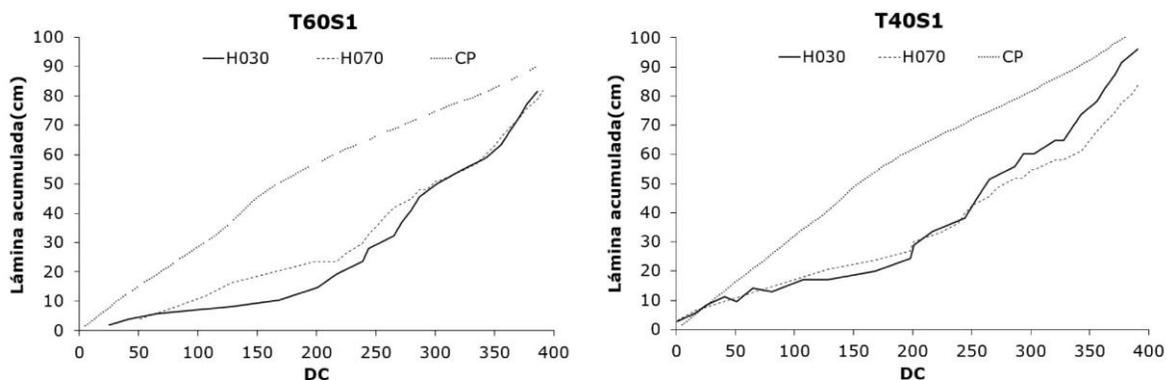
Rango de Humedad (%)	Sombra (%)	Láminas de riego Aplicadas (cm) <sup>1</sup>		TE60		TE40	
		TE60	TE40	DE	CV (%)	DE	CV (%)
H 0-30	S1	36.2	43.2	3.9	10.8	9.3	21.5
	S2	36.6	37.3	5.6	15.3	2.0	5.3
H 0-70	S1	48.1	47.8	1.7	3.5	7.4	15.4
	S2	49.1	43.3	3.5	7.0	5.4	12.4
Cápsula porosa (CP)	S1	92.0	104.2	9.1	9.9	12.4	11.9
	S2	93.8	91.3	10.8	11.6	6.5	7.2

<sup>1</sup>Promedio de 5 repeticiones para cada condición. H=humedad, CP=cápsula porosa, S1= Sombra al 25%, S2= sombra al 60%, TE= tamaño de esqueje (cm), DE=Desviación estándar, CV= coeficiente de variación.

La poca serosidad en la epidermis de esta especie, hace que disminuya su capacidad de ser tolerante a altas intensidades de luz. Además, por ser de origen tropical y crecer en tutores, condición que le permite contar con sombra, son condiciones comunes de producción. Los resultados indican que un consumo de agua constante con CP y 25% de sombra propicio la mayor demanda de agua, en condiciones de un menor tamaño del esqueje.

De forma gráfica, se observó que las láminas acumuladas para el nivel de humedad en las CP a un nivel de sombra del 25%, se mantuvo constante, a lo largo del ciclo, para los dos tamaños de esqueje evaluados (T60 y T40), las láminas de riego aplicados en ambos casos fueron las más altas (Figura 7). Mientras que las condiciones de humedad:H0-30 y H0-70, en un tamaño de esqueje de 60 cm y 25% de sombra, la similitud entre las láminas al final del ciclo, radica en que la cantidad de reservas disponible en el esqueje principal, compenso las limitaciones de humedad de la planta.

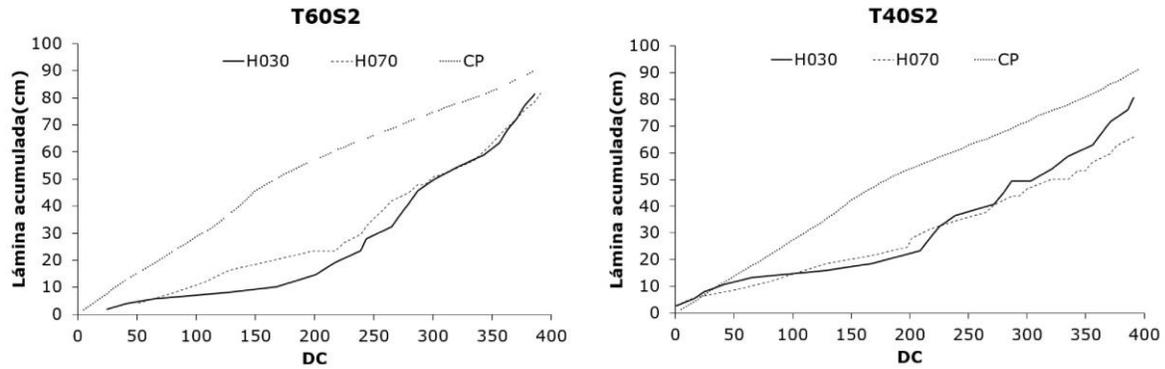
Por otro lado, a un nivel de humedad H0-30, con un tamaño de esqueje de 40 cm y 25% de sombra, los requerimientos de humedad se incrementaron, debido a que la planta se estresó por exceso de luminosidad, mientras que el incremento de temperatura dentro del invernadero superó los 40°C, lo que provocó un estrés en la planta y un incremento en su consumo de agua, debido a una menor reserva de humedad en tallo. En el caso de H0-70, bajo las mismas condiciones de tamaño de esqueje y sombra, la disponibilidad de una mayor humedad, amortiguó esos requerimientos adicionales de agua por un periodo de estrés al que fue sometida la planta.



Rango de variación de humedad en el sustrato 0-30% (H030) y 0-70% (H070) y riego por cápsulas porosas (CP), T40 y T60 - tamaños de esquejes 40 y 60 cm, respectivamente; DC: día climático (días consecutivos del año iniciando del 1 de marzo).

**Figura 7.** Consumo de agua acumulado de la pitahaya, en tres niveles de manejo del agua y un nivel de sombra del 25%.

En el caso del nivel de sombra del 60%, se observó que el nivel de humedad en las CP, se mantuvo constante, con las láminas mayores de riego para los dos tamaños de esqueje (60 y 40 cm) seguida de la condición de humedad H0-30 y H0-70 (Figura 8). Las diferencias entre estos últimos, indica que el esqueje de 60 cm, tuvo un mejor enraizamiento y exploración en el sustrato empleado, cuyas reservas en el tallo le ayudó a adaptarse en condiciones con limitación de humedad, en comparación al esqueje de 40 cm.



Rango de variación de humedad en el sustrato 0-30% (H030) y 0-70% (H070) y riego por cápsulas porosas (CP), T40 y T60 - tamaños de esquejes 40 y 60 cm, respectivamente; DC: día climático (días consecutivos del año iniciando del 1 de marzo).

**Figura 8.** Consumo de agua acumulado de la pitahaya, en tres niveles de manejo del agua y un nivel de sombra del 60%.

Para conocer el efecto de la PG (parcela grande - tamaños de esqueje (TE)), PM (parcela media- niveles de sombra (S)) y PCH (parcela chica-humedad(H)) en el consumo de agua del cultivo de pitahaya. Se planteó que todos los factores de estudio (TE, S y H) producen el mismo efecto en el consumo de agua como hipótesis nula ( $H_0$ ), mientras que la hipótesis alternativa ( $H_a$ ) indica que no todos los TE, niveles de S y H, producen el mismo efecto en el consumo de agua. De acuerdo con el ANAVA con un nivel de significancia al 5% ( $p < 0.0001$ ), se rechaza  $H_0$ , por lo que existe evidencia que al menos un nivel de humedad produce efectos significativamente diferentes en las láminas de agua aplicadas (Cuadro 3), mientras que la S y TE no producen efectos significativamente diferentes en la variable respuesta.

**Cuadro. 3.** Análisis de varianza (ANAVA) para láminas de agua aplicadas en los diferentes tratamientos utilizados

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor	Pr>F
BLOQ	4	36.511	9.128	0.130	0.9698 ns
PG(TE)	1	50.051	50.051	1.070	0.3590 ns
Error PG	4	186.744	46.686	0.670	0.6163 ns
PM(S)	1	166.667	166.667	1.860	0.2101 ns
TE*S	1	290.400	290.400	3.240	0.1097 ns
Error PM	8	717.917	89.740	1.290	0.2827 ns
PCH(H)	2	37,557.637	18,778.819	270.290	< 0.0001 **
TE*H	2	180.434	90.217	1.300	0.2869 ns
S*H	2	37.370	18.68517	0.270	0.7659 ns
TE*S*H	2	64.309	32.155	0.460	0.6337 ns
Error	32	2,223.216	69.476		
Total	59				

\*\*Altamente significativo a  $p < 0.05$ , ns: no significativo, CV: 13.8412%, GL: grados de libertad, BLOQ: repeticiones, PG: Parcela grande (TE: tamaño de esqueje), PM: Parcela mediana (S: Sombra), PCH: Parcela chica (Humedad del sustrato: 0-30, 0-70 y Cápsula porosa); TE: Tamaño de esqueje, S: Sombra y H: humedad.

De acuerdo con las medias de los factores, se observa que la condición de humedad en CP, producen los mayores efectos en las láminas de riego en el cultivo (Cuadro 4), mientras que para el tamaño de esqueje y sombra no se observaron efectos sobre la misma. Se sugiere el uso del método por cápsulas porosas en cultivos intensivos, dado que el riego es continuo, permanente y autorregulado. Sin embargo, será necesario conocer la demanda máxima de agua del mismo, para el diseño óptimo del sistema de riego.

**Cuadro 4.** Comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para láminas de riego (cm), de los factores tamaño de esqueje, sombra y niveles de humedad

Variables	Nivel	Lámina de riego <sup>§</sup>
		cm
Tamaño de esqueje (TE)	TE (60 cm)	59.307a
	TE (40 cm)	61.133a
Nivel se sombra (S)	S1 25%	61.887a
	S2 60%	58.553a
Niveles de humedad (H)	H (0-30%)	38.335c
	H (0-70%)	47.085b
	Cápsula porosa (CP)	95.240a

<sup>§</sup>Medias con la misma letra en columna no son estadísticamente diferentes, LR: lámina de riego, TE: tamaño de esqueje, CP: Cápsula porosa, S1: sombra al 25%, S2: Sombra al 60%.

Para las interacciones TE\*S, TE\*H, S\*H y TE\*S\*H, se planteó como H<sub>0</sub>, que no existe interacción en los niveles de cada factor, mientras que la H<sub>a</sub>, indica que si existe interacción. Por lo tanto, de acuerdo con el ANAVA, se acepta H<sub>0</sub> para las diferentes combinaciones de factores, por lo que no existe interacción entre los niveles de cada variable, respectivamente. En el caso de la verificación de supuestos del modelo, la normalidad y la homogeneidad de varianzas se cumple, ya que los errores siguen una distribución normal ( $p=0.6747$ ) y no existe evidencia de que las varianzas sean heterogéneas, por lo tanto, los resultados del ANAVA obtenidos son válidos, para condiciones similares al experimento.

### 1.5.2. Materia seca aérea (MSA)

En el caso de cactáceas como la pitahaya, la cuantificación de la biomasa se realizó en la etapa juvenil del cultivo dado su lento crecimiento para llegar a la madurez. Para evaluar el efecto de la PG, PM y PCH en la acumulación de biomasa, se planteó como hipótesis nula ( $H_0$ ) que todos los TE, niveles de S y H, producen el mismo efecto en la acumulación de la MSA, vs la hipótesis alternativa ( $H_a$ ) que no todos los TE, niveles de S y H, producen el mismo efecto en la acumulación de la MSA. Del ANAVA, con un nivel de significancia al 5%, se rechaza  $H_0$ , por lo que existe evidencia que al menos un nivel de sombra ( $p < 0.0197$ ) y humedad ( $p < 0.0339$ ), producen efectos significativamente diferentes en la acumulación de MSA (Cuadro 5), mientras que la variable TE no tiene efectos significativamente diferentes sobre la misma.

**Cuadro. 5.** Análisis de varianza (ANAVA) de la materia seca aérea (MSA) por condición de humedad.

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor	Pr>F
BLOQ	4	24,994.598	6,248.649	0.820	0.5247 ns
PG(TE)	1	16,796.920	16,796.920	2.190	0.1485 ns
Error PG	4	30,787.276	7,696.819	1.000	0.4196 ns
PM(S)	1	80,337.004	80,337.004	8.450	0.0197 **
TE*S	1	2,243.594	2,243.594	0.240	0.6401 ns
Error PM	8	76,043.844	9,505.481	1.240	0.3082 ns
PCH(H)	2	57,743.002	28,871.501	3.770	0.0339 **
TE*H	2	13,679.160	6,839.580	0.890	0.4195 ns
S*H	2	1,957.312	978.656	0.130	0.8805 ns
TE*S*H	2	2,184.097	1,092.049	0.140	0.8677 ns
Error	32	245,153.435	7,661.045		
Total	59	551,920.24			

\*\*Altamente significativo a  $p < 0.05$ , ns: no significativo, CV:21.0873%, GL: grados de libertad, BLOQ: repeticiones, PG: Parcela grande, TE: Tamaño de esqueje, PM: Parcela mediana, S: Sombra, TE: Tamaño de esqueje y H: humedad.

En la comparación de medias de Tukey, se obtuvo que un nivel de sombra al 25%, una condición de humedad con cápsula porosa y H 0-70% tienen un mayor efecto en la producción de MSA (Cuadro 6), mientras que el tamaño de esqueje no tuvo efecto significativo en la variable respuesta. Por lo tanto, es recomendable el uso de sombra y suministrar los requerimientos hídricos en el cultivo de pitahaya por medio de cápsula porosa o con un manejo de humedad de 0-70%, lo que sugiere un menor estrés hídrico para la planta, dada la disponibilidad de agua en el sustrato.

**Cuadro. 6.** Comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para materia seca aérea (MSA) de los factores tamaño de esqueje, sombra y niveles de humedad.

Variables	Nivel	MSA <sup>§</sup>
		[g]
Tamaño de esqueje (TE)	TE (60 cm)	431.80a
	TE (40 cm)	398.34a
Sombra (S)	S1 (25%)	451.66a
	S2 (60%)	378.48b
Nivel de humedad (H)	H (0-30%)	371.82b
	H (0-70%)	430.33a
	Cápsula porosa (CP)	443.07a

<sup>§</sup>Medias con la misma letra en columna no son estadísticamente diferentes, MSA: materia seca aérea, TE: tamaño de esqueje, CP: Cápsula porosa, S1: sombra al 25%, S2: Sombra al 60%.

Los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas del modelo para materia seca aérea se cumplen, dado que los errores siguen una distribución normal ( $p=0.5440$ ). En el análisis del ANAVA, de la interacción de factores y combinaciones, no se observó ningún efecto sobre la producción de MSA, lo cual sugiere que, por cada nivel de sombra, tamaño de esqueje y humedad, sigue la misma tendencia en el nivel del factor correspondiente y no hay interacción.

### 1.5.3. Materia seca total (MST)

Para conocer el efecto de la PG (TE-tamaño de esqueje), PM (S nivel se sombra) y PCH (manejo de humedad del sustrato) en la acumulación de la MST. Se planteó como hipótesis nula ( $H_0$ ) que todos los TE, niveles de S y H, producen el mismo efecto en la acumulación de la MST (brotes aéreos, raíz, y brotes laterales), vs la hipótesis alternativa ( $H_a$ ), no todos los TE, niveles de S y H, producen el mismo efecto en la acumulación de la MST. Con base en el ANAVA, se rechaza  $H_0$ , con un nivel de significancia al 5% ( $p < 0.0136$ ), por lo que existe evidencia que al menos un nivel de sombra produce efectos significativamente diferentes en la acumulación de MST (Cuadro 7), mientras las variables tamaño de esqueje y condición de humedad no tienen efectos significativamente diferentes sobre la misma.

**Cuadro. 7.** Análisis de varianza (ANAVA) para materia seca total (MST) para cada condición.

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor	Pr>F
BLOQ	4	37,083.952	9,270.988	0.910	0.4711 ns
PG(TE)	1	11,790.820	11,790.820	1.090	0.3550 ns
Error PG	4	43,176.816	10,794.204	1.060	0.3936 ns
PM(S)	1	122,736.128	122,736.128	9.920	0.0136 **
TE*S	1	3,100.328	3,100.328	0.250	0.6301 ns
Error PM	8	98,952.725	12,369.091	1.210	0.3238 ns
PCH(H)	2	58,760.442	29,380.221	2.880	0.0709 ns
TE*H	2	28,017.024	14,008.512	1.370	0.2681 ns
S*H	2	1,333.056	666.528	0.070	0.9369 ns
TE*S*H	2	3,536.530	1,768.265	0.170	0.8418 ns
Error	32	326,737.567	10,210.549		
Total	59				

\*\*Altamente significativo a  $p < 0.05$ , ns: no significativo, CV:20.1029%, GL: grados de libertad, BLOQ: repeticiones, PG: Parcela grande, TE: Tamaño de esqueje, PM: Parcela mediana, S: Sombra, TE: Tamaño de esqueje y H: humedad.

Los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas del modelo para materia seca total se cumplen, ya que los errores siguen una distribución normal ( $p=0.6673$ ). De la comparación de medias de Tukey, se tiene que un nivel de sombra al 25% y un nivel de humedad H 0-70% produce un mayor efecto sobre la acumulación de MST (Cuadro 8) con respecto al tamaño de esqueje.

**Cuadro. 8.** Comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para materia seca total (MST), de los factores tamaño de esqueje, sombra y niveles de humedad.

Variables	Nivel	MST <sup>§</sup>
		[g]
Tamaño de esqueje (TE)	TE (60 cm)	516.67a
	TE (40 cm)	488.63a
Sombra (S)	S1 (25%)	547.88a
	S2 (60%)	457.42b
Nivel de humedad (H)	H (0-30%)	458.46b
	H (0-70%)	526.80a
	Cápsula porosa (CP)	522.69ab

<sup>§</sup>Medias con la misma letra en columna no son estadísticamente diferentes

De los resultados de ANAVA, no se observó efecto en la interacción y combinación de los factores en la producción de MST, por lo que es recomendable, establecer una metodología para el estudio del crecimiento en este cultivo, dado que, en raíz, no se tuvo efecto significativo para ninguna de las variables respuesta.

#### 1.5.4. Coeficientes de cultivo (Kc) globales

Los Kc globales variaron para las primeras dos condiciones de humedad (H0-30 y H0-70) de 0.13 a 0.24, mientras que, en CP los valores oscilaron entre 0.77 y 1.25 para los dos niveles de sombra y tamaño de esqueje evaluados (Cuadro 9). Se observan diferencias de los Kc globales por tamaño de esqueje, siendo el de 60 cm a un nivel de sombra de 60%, el que presenta los mayores valores en comparación a esquejes de 40 cm bajo el mismo nivel de sombra, en todas las condiciones estudiadas.

**Cuadro. 9.** Kc globales para el cultivo, bajo diferentes condiciones de humedad

Condición de humedad	T60		T40	
	S1*	S2	S1	S2
H0-30	0.17	0.24	0.15	0.20
H0-70	0.16	0.22	0.13	0.19
Cápsula porosa (CP)	0.77	1.25	0.86	1.24

\*S1: Sombra al 25%, S2: Sombra al 60%, T60: tamaño de esqueje de 60 cm, T40: tamaño de esqueje de 40 cm

En la estimación de los Kc globales para el cultivo en su primer año de establecimiento, con base en el manejo del agua, la pitahaya presentó valores bajos de Kc, para las variaciones de humedad de 0-30 y 0-70%, es decir, bajo condiciones de estrés hídrico. Sin embargo, bajo condiciones de riego con cápsulas porosas los valores de Kc fueron mayores (0.77-1.25), dado una reducción del estrés hídrico.

El suministro de agua por cápsulas porosas, como método de riego más eficiente según Vargas *et al.* (2010) y con un 25% de sombra, propició la mayor demanda de agua en condiciones de un menor tamaño del esqueje; lo que indicó una menor cantidad de sustancias de reserva para formar raíces y explorar el suelo (Filho *et al.*, 2014). En contraste con una alta incidencia de luminosidad, provocó un estrés térmico en la planta, una reducción de su capacidad fotosintética y un incremento en la demanda de agua (Khaimov y Mizrahi, 2006).

El suministro de riego favorece el crecimiento del cultivo, en referencia a la altura y producción de fruto según Rana *et al.* (2014). Mientras que, el contenido del agua en el suelo, es el factor principal que afecta la actividad estomática en *H. undatus* (Ben-Asher *et al.*, 2009). Sin embargo, este tipo de plantas tienen la capacidad de adaptación a condiciones hídricas altamente estresantes u óptimas debido a que limita las pérdidas de agua por su sistema radical poco profundo y efímero (Rana *et al.*, 2014; Nobel, 1998).

Los resultados concuerdan con Wang *et al.* (2019), quienes indican que la pitahaya conduce sus reservas de agua hacia la parte apical para la elongación de los cladodios, siendo capaz de mantener una reserva de agua y rehidratarse, bajo severos déficits de humedad en el suelo. Donde el comportamiento de la acumulación de materia seca en una planta (u órgano) se incrementa inicialmente a una tasa exponencial, más tarde de forma lineal y finalmente decrece (Di Benedetto y Tognetti, 2016).

El uso de sombra reduce la pérdida de agua en la pitahaya, incrementándose su eficiencia en el uso del agua en comparación a otro tipo de plantas CAM, como *Opuntia ficus indica* o *Cereus peruvianos* que crecen al aire libre (Mizrahi *et al.*, 2007). Además, se evita las quemaduras del sol en los cladodios, la reducción de la fotosíntesis y la elongación de los tallos en el cultivo (Chen y Lin, 2016; Andrade *et al.*, 2006).

Un nivel de sombra, de hasta menos del 50% durante el periodo inicial del cultivo, determina un mayor crecimiento del mismo y se asegura suficiente intensidad de luz para la fotosíntesis (Cavalcante *et al.*, 2011; Chien y Chang, 2019). Sin embargo, un nivel de sombra adecuado, y el uso de tutores vivos o inertes para el soporte de la planta, pueden mejorar la producción del cultivo (Bárcenas y Jiménez, 2010).

Con respecto al Kc no hay referencias equivalentes, pero hay resultados similares, como los reportaron Bonet *et al.* (2010), que realizaron la estimación de Kc para piña, con fines de programación de riego, siendo un valor de  $K_{C\text{inicial}}$  de 0.5 (100 días) y  $K_{C\text{med}}$  de 0.78 (480 días). La piña es un cultivo similar a la pitahaya por su metabolismo CAM,

sin embargo, los valores máximos de Kc en pitahaya pueden deberse a una mayor cantidad de tallos ramificados en comparación a esta.

Sin embargo, a pesar de su capacidad de adaptación de la pitahaya de soportar sequías prolongadas, dado sus características fisiológicas y morfológicas, como el cierre de estomático durante el día, la presencia de espinas, la transferencia del aparato fotosintético al tallo y la succulencia del mismo como fuente de reservas (Castillo, 2006; Ebel *et al.*, 2013); este cultivo se adapta según el manejo del agua.

## **1.6. CONCLUSIONES**

El manejo del agua y sombreo afectó el consumo del agua en el cultivo de pitahaya, mientras que el riego con cápsulas porosas tuvo el mayor efecto sobre las láminas de riego aplicadas y con un nivel de sombra del 25% se favoreció una mayor producción de materia seca en el cultivo. Los coeficientes de cultivo (Kc) globales son función del manejo de agua, que variaron para H 0-30 y H 0-70 de 0.13 a 0.22. En el caso de las cápsulas porosas varió entre 0.77 y 1.25 para los dos niveles de sombra y tamaño de esqueje evaluados.

## CAPÍTULO II. ANÁLISIS DE CRECIMIENTO EN PITAHAYA (*Hylocereus undatus*) BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO

### 2.1. RESUMEN

La pitahaya ha tomado importancia debido a su amplia adaptabilidad a las condiciones diversas, sin embargo, los avances recientes abordan el manejo productivo, pero poco sobre su análisis de crecimiento y productividad. Por lo que el objetivo del trabajo fue evaluar el crecimiento de pitahaya y eficiencia en el uso del agua (EUA) en el primer año de su establecimiento, bajo tres condiciones de humedad (0-30%, 0-70%, riego por succión), dos tamaños de esqueje (40 y 60 cm) y dos niveles de sombra (25% y 60%) en invernadero. Los esquejes de pitahaya se trasplantaron en un sustrato de tepojal y peatmoss (1:1) en bolsas de polietileno de 15 L. Los niveles de humedad se monitorearon semanalmente con el método gravimétrico y se midió el consumo diario de agua en volumen (ml) de las cápsulas porosas (CP). Se cuantificó la materia seca total (MST) de brotes aéreos, laterales, esqueje y raíz, de forma parcial y al finalizar el experimento. Los índices de crecimiento utilizados fueron: Tasa Absoluta de Crecimiento (TAC) y Tasa de Crecimiento Relativo (TCR), así como las relaciones: raíz: parte aérea (R:PA), parte aérea: raíz (PA: R) y la proporción de raíz (PR) y parte aérea (PPA). Se estimó la EUA a partir de la materia seca total (g) y la lámina de riego por tratamiento (cm). Los indicadores de crecimiento TAC y TCR fueron superiores a un nivel de sombra del 25% a los 422 DDT y 359 DDT respectivamente, en comparación al 60% de sombra. Las proporciones R:PA mayores se concentraron a H 0-30% y H 0-70% de humedad, para los dos tamaños de esqueje (60 y 40 cm). La PR representa aproximadamente el 15% de la materia seca total de la planta, mientras que el 85% a la PPA. Los mayores valores de EUA total ( $14.00 \text{ g MS cm}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$ ) se obtuvo en esquejes de 60 cm, a un nivel de sombra al 25% y humedad de H 0-30%.

**Palabra clave:** *biomasa, raíz, fenología, agua, productividad*

## CHAPTER II. GROWTH ANALYSIS IN PITAHAYA (*Hylocereus undatus*) UNDER GREENHOUSE CONDITIONS

### 2.1. ABSTRACT

The pitahaya has taken on importance due to its wide adaptability to diverse conditions, however, recent advances address productive management, but little about its growth and productivity analysis. Therefore, the objective of the work was to evaluate pitahaya growth and water use efficiency (USA) in the first year of its establishment, under three humidity conditions (0-30%, 0-70%, suction irrigation), two cutter sizes (40 and 60 cm) and two levels of shade (25% and 60%) in greenhouses. The pitahaya cuttings were transplanted into a tepojal and peatmoss substrate (1:1) in 15 L polyethylene bags. Moisture levels were monitored weekly with the gravimetric method and daily water consumption by volume (ml) of the porous capsules (CP) was measured. Total dry matter (TDS) of aerial, lateral, cuttings and root shoots was quantified, partially and at the end of the experiment. The growth rates used were: Absolute Growth Rate (AGR) and Relative Growth Rate (RGR), as well as the ratios: root: aerial part (R:PA), aerial part: root (PA: R) and the ratio of root (RP) to aerial part (PP). The RGT was estimated from the total dry matter (g) and the treatment irrigation sheet (cm). The growth indicators TAC and TCR were higher than a 25% shade level at 422 DDT and 359 DDT respectively, compared to 60% shade. The higher R:PA ratios were concentrated at H 0-30% and H 0-70% moisture, for the two cutting sizes (60 and 40 cm). The PR represents approximately 15% of the total dry matter of the plant, while 85% is at PPP. The highest values of total U.S. (14.00 g MS cm<sup>-2</sup> H<sub>2</sub>O) were obtained in cuttings of 60 cm, at a level of 25% shade and moisture of H 0-30%.

**Keywords:** *biomass, root, phenology, water, productivity*

## 2.2. INTRODUCCIÓN

Las cactáceas representan una alternativa para la sustentabilidad de los sistemas agrícolas ante el cambio climático, sin embargo, no se ha considerado su aprovechamiento y adaptación a las condiciones medioambientales actuales (Padrón, 2012). La familia *Cactáceae*, presenta diferentes formas de crecimiento en sus tallos: globosa, globosa-deprimida, cilíndrica y columnar, en respuesta a las condiciones ambientales. Destacan algunas especies de este grupo de plantas, cuyo potencial de aprovechamiento se ha incrementado en años recientes como la pitahaya (*Hylocereus undatus*) que es un fruto conocido en distintos países del mundo, debido a sus propiedades nutricionales y medicinales, así como el color atractivo de su cáscara (Mohamed *et al.*, 2017).

Su cultivo se ha expandido a países de Europa y Asia, donde Vietnam es el líder en la producción y exportación de fruta con 1 000 000 t en el 2014, mientras que EU concentró el 17% de la importación del cultivo en ese mismo año (Mercado, 2018). Los estudios en el cultivo se han enfocado en la descripción taxonómica, mejoramiento y compatibilidad genética, distribución geográfica, reproducción, manejo agronómico, principales usos y propiedades de los diferentes órganos de la planta como esquejes, flores, brotes o fruto en diferentes partes del mundo, con resultados prometedores (Castillo *et al.*, 2005; Mizrahi, 2014; Ortiz *et al.*, 2012).

El crecimiento se define como un incremento en las dimensiones de la planta (volumen, altura, peso, diámetro), cuyo análisis permite conocer la eficiencia de acumulación de biomasa de una planta o cultivo y su distribución en órganos (raíz, hojas, fruto, tallo), a lo largo de su ciclo de vida o de producción. La acumulación de biomasa seca de una planta u órgano es exponencial en las primeras etapas de crecimiento, posteriormente de forma lineal y al final decrece, lo que asemeja una curva sigmoide en un período de tiempo, con diferencias entre especies y variables ambientales. En un análisis de crecimiento, la distribución de fotoasimilados en los diferentes órganos de la planta, se deben cuantificar en función del efecto de las variables ambientales en la parte

aérea y radical del cultivo (Di Benedetto y Tognetti,2016). Por lo tanto, se requieren indicadores y técnicas para validar de forma estadística el análisis de crecimiento, con aplicaciones en diferentes tipos de especies hortícolas, frutales y ornamentales.

En el caso de cactáceas y otras plantas con Metabolismo Ácido de las Crasuláceas (CAM), dado su lento crecimiento y sus distintas formas de tallos, tamaños, así como tipos de hábito, la medición de variables de crecimiento se dificulta como el área foliar, aunado a la falta de metodologías específicas para ello y estudios específicos sobre sus requerimientos ambientales (Vázquez *et al.*, 2012). El análisis del crecimiento y productividad para plantas CAM, se ha enfocado en aquellas de interés comercial como el nopal (*Opuntia ficus-indica*), agave (*Agave Tequilana*) y sábila (*Aloe barbadensis*). Algunos estudios realizados por Snyman (2006), sobre la dinámica de crecimiento de la raíz en dos especies de nopal *Opuntia ficus-indica* y *O. robusta*, bajo condiciones de estrés hídrico en Sudáfrica, indican que *O. robusta* es menos sensible al estrés hídrico que *O. ficus-indica*, debido a un mayor volumen de raíces laterales y finas, en condiciones de sequía. Por otro lado, el crecimiento de la raíz está en función del tipo de especie y dosis de nitrógeno empleado (Zúñiga *et al.*, 2003).

La propuesta de metodologías para analizar el crecimiento en cactáceas, aún es incipiente para la mayoría de las especies, destacan los trabajos realizados en México, por López *et al.* (2013), quienes evaluaron el crecimiento (longitud, ancho y grosor de cladodios) en diferentes variedades de *O. ficus-indica* (nopal verdura, tuna verde y tuna sin semilla). El nopal de tuna verde, mostró los mejores resultados en las variables evaluadas y el nopal verdura con el mayor número de brotes. Mientras que, Contreras *et al.* (2020) propusieron un método no destructivo para medir el área foliar en cladodios de *Opuntia*, a partir de imágenes 3D y un algoritmo con un 95% de exactitud, en la estimación del área en comparación a métodos tradicionales.

En Costa Rica, Garbanzo *et al.* (2019), proyectaron el crecimiento de *H. costaricensis* e *H. monocanthus*, mediante regresiones lineales con base a variables destructivas (biomasa) y no destructivas (área fotosintética). Donde las regresiones lineales

mostraron alta precisión ( $R^2 > 0.85$ ) para las variables de crecimiento evaluadas, siendo una herramienta útil para cuantificar el crecimiento en pitahaya a partir de un parámetro alométrico (largo y ancho). Para la especie *H. undatus*, la información sobre su crecimiento y morfometría es escasa, ya que la mayoría de estudios se enfoca a la caracterización física y química del fruto (Osuna *et al.*, 2011; Ortiz y Takahashi, 2015).

Una forma de medir la productividad de las plantas, es relacionar la producción de biomasa con el volumen de agua evapotranspirada, cuyo indicador es conocido como eficiencia en el uso del agua (EUA) (Silva *et al.*, 2014). Mientras que Nobel (2011), lo define como el beneficio de la absorción de  $\text{CO}_2$  fijado por la fotosíntesis, por el costo de la pérdida de agua por transpiración. En el caso de plantas CAM, presentan una eficiencia en el uso del agua hasta ocho veces mayor, en comparación a plantas  $\text{C}_3$  y  $\text{C}_4$ , por ello es conveniente contar con valores de EUA a nivel de planta, como parámetro útil en la comparación de especies y variedades, para definir usos potenciales en zonas donde el agua es un factor limitante (Mizrahi *et al.*, 2007). Este tipo de indicadores, ha sido poco estudiado en plantas CAM, debido a la falta de metodologías, instrumentos especializados para su medición, diversidad de tamaños, formas y especies en cada familia.

Algunos estudios se han enfocado en especies CAM nativas como *A. deserti*, *Carnegiea gigantea* y *Ferocactus acanthodes*, así como especies cultivadas de importancia económica y productiva como el nopal, sábila, agave y pitahaya. Bronson *et al.* (2011), evaluaron la EUA de poblaciones de *Carnegiea gigantea* (saguaro) en Tucson, Arizona, cuyos valores oscilaron de 0.43 a 6.0 mmol de  $\text{CO}_2$  por mm de agua transpirada, con variaciones por época del año, temperatura ambiental y humedad relativa. En el caso del nopal, Snyman (2013) estimó la EUA para *O. ficus-indica* y *O. robusta* en Sudáfrica, para el primer año de establecimiento con valores de 7.87 y 7.66 kg de materia seca  $\text{ha}^{-1}$  por cada mm de agua usado respectivamente, lo que indica un alto potencial de aprovechamiento como alimento, medicina, forraje y extracción de colorantes (Shetty *et al.*, 2012).

En Chile, algunos estudios en sábila realizados por Silva *et al.* (2014) indican que la mayor eficiencia en el uso del agua, se obtiene con una producción de biomasa (gel) de  $24.6 \text{ g L}^{-1}$ , a partir del 15% de la evapotranspiración de referencia ( $E_{t_0}$ ). Sin embargo, para una mejor estimación de la EUA, se requiere conocer la biología de la especie (morfometría y tolerancia a sequía), la retención de humedad en los suelos y la demanda evaporativa del ambiente. Para pitahaya existen pocos estudios sobre EUA, destacan los realizados por Nobel y De la Barrera (2003), quienes estudiaron las relaciones hídricas y consumo de  $\text{CO}_2$  en el tallo de pitahaya durante un tiempo corto de sequía, en EU. El valor de EUA de los tallos fue de  $0.0043 \text{ mmol de CO}_2 \text{ g}^{-1}$  agua transpirada típico de una planta CAM, siendo 2 a 5 veces superior a plantas  $\text{C}_3$  y  $\text{C}_4$  bajo condiciones similares, donde sus elevadas tasas de absorción neta de  $\text{CO}_2$  con una mínima extracción de agua, representa una ventaja en condiciones limitantes de agua. Sin embargo, la eficiencia es menor en comparación a otras cactáceas como el nopal, siendo de  $0.0074 \text{ mmol de CO}_2 \text{ g}^{-1}$  por mm de agua transpirada, debido a una menor área fotosintética en la pitahaya.

La interacción del ambiente-planta, determina el crecimiento y desarrollo de los procesos vegetales, siendo la temperatura, uno de los elementos del clima que afecta la fisiología de agaves y cactus, de acuerdo a la morfología, característica de la superficie y orientación de sus tallos (Martínez *et al.*, 2017; Nobel, 1998). El efecto de la temperatura en las cactáceas, ha sido poco estudiado principalmente en especies cultivadas como nopal y pitahaya. En esta última, existen algunos estudios acerca de los requerimientos térmicos del cultivo, en México destacan los realizados por Bárcenas (2002), quien determinó la temperatura base de crecimiento y umbral siendo de  $7^\circ\text{C}$  y  $40^\circ$ , respectivamente, así como zonas potenciales para el cultivo a nivel nacional. Mientras que, Velázquez y Ortiz (2013) realizaron una zonificación de pitahaya en Puebla a partir de requerimientos de temperatura, precipitación, altitud y Sistemas de Información Geográfica (SIG), donde 19 municipios en la Mixteca Baja son aptos para establecer el cultivo.

Por otro lado, Martínez *et al.* (2017), estimaron el tiempo térmico como Grados-Día-Desarrollo (GDD) por etapa fenológica (Brotación-Antesis, Antesis-Madurez de fruto) y total, en diferentes cultivares de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en Veracruz. El cultivo requirió 360 GDD de Brotación-Antesis(B-A) y de Antesis-Madurez(A-M) 537 GDD, con un total de 894 GDD en el ciclo reproductivo, sin diferencias estadística en los requerimientos de los cultivares evaluados. En Sinaloa, Osuna *et al.* (2016), indican que la etapa de B-A tarda de 14 a 18 días, mientras que la etapa A-M se prolongó hasta 48 días en los flujos más tardíos. El objetivo del trabajo fue evaluar el crecimiento de pitahaya y EUA en el primer año de establecimiento, bajo tres condiciones de humedad (0-30%, 0-70%, riego por succión), dos tamaños de esqueje (40 y 60 cm) y dos niveles de sombra (25% y 60%) en invernadero.

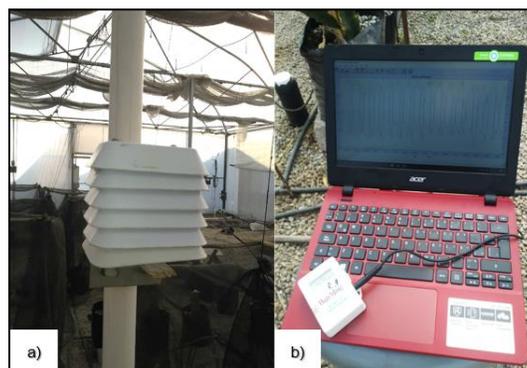
### **2.3. MATERIALES Y MÉTODOS**

El experimento se realizó en el invernadero del área de Ingeniería de Riego, en el Colegio de Postgraduados (01 de marzo de 2018 al 31 de marzo de 2019). Los esquejes de pitahaya (*Hylocereus undatus*) se adquirieron en el municipio de Huitziltepec, Puebla de una plantación de 3.5 años de edad. Para favorecer el enraizamiento de los esquejes, se realizó un tratamiento previo al trasplante, con un corte en la base (en forma de punta) y una aplicación de Radix 1500 (ácido indol-3-butírico). Para inhibir la dormancia, se realizó un corte apical con una aplicación de azufre agrícola como fungicida y se dio un tiempo de cicatrización de 20 días bajo sombra. Los esquejes se trasplantaron en tepojal y peatmoss (1:1) como sustrato, en bolsas de polietileno de 15 L el 29 de diciembre de 2017 y se colocaron a un tercio de su longitud total.

El diseño experimental fue en Parcelas Subdivididas en Bloques al Azar (PDBA), cuya unidad experimental fue el esqueje de pitahaya. Se asignó como parcela grande (PG) el tamaño de esqueje (60 y 40 cm), parcela mediana (PM) el nivel de sombra (25 y 60%) y las parcelas chicas (PCH) las condiciones de humedad (0-30%,0-70% y CP), con cinco repeticiones por tratamiento, con un total 60 unidades experimentales (UE's), la aleatorización de estas se realizó con el programa R (ver.3.4.2).

La condición de humedad con riego por succión (CP) empleó una cápsula de 12 cm de diámetro por maceta con un total de 20, a las cuales se colocaron conexiones en la parte basal y superior de cada cápsula, con tubín de 25 y 55 cm de longitud respectivamente. El tamaño de las cápsulas a emplear, se determinó a partir de la demanda máxima de la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) en una zona productora de pitahaya en Puebla (8.5 mm día<sup>-1</sup>) y una sortividad promedio de 0.493 mm s<sup>-1/2</sup>. Las CP se colocaron en la parte media de cada bolsa, con una capa de tepojal fino en la parte inferior, pasado por un tamiz de 0.427 mm. Uno de los extremos del tubín se sumergió a la fuente de abastecimiento, mientras que el otro extremo se cerró, para evitar la entrada de aire. Para un mejor funcionamiento de cada cápsula, se establecieron niveles de referencia, considerando una altura de succión de 10 cm, desde el centroide de la cápsula al espejo del agua de la fuente de abastecimiento.

Se registraron las variables ambientales de temperatura del aire (°C) y humedad relativa (%) cada 30 minutos, por medio de un datalogger marca Watchdog A150 (Figura 9). Además, se midió la evaporación diaria en dos tinas de evaporación, en condiciones de 25% (plástico del invernadero) y 60% (25%+35% malla sombra), respectivamente. Los datos meteorológicos se registraron del 1 de marzo de 2018 al 31 de marzo de 2019. Las temperaturas oscilaron entre 2 a 49.1°C, con una media de 19.8 °C y una humedad relativa de 56.6 % promedio.



**Figura 9.** Monitoreo de variables ambientales en el invernadero: a) Datalogger con sensor de temperatura (°C) y humedad relativa (%) y b) Descarga de datos a laptop

Para el tutoreo del cultivo, se utilizaron varillas de 1.50 m de longitud y diámetro de 3/8 pulgada como postes en cada esquina y carrizo de 1.8 m de longitud de manera perpendicular, para sujetar los brotes laterales de cada esqueje con rafia negra, hasta una altura de 1.50 m para facilitar las labores del cultivo (Figura 10). Se monitoreo semanalmente las condiciones de humedad del sustrato con el método gravimétrico, que consistió en tomar una muestra de 100 g de sustrato por cada maceta, registrando el peso húmedo con una báscula portátil; después la muestra se secó en una estufa de circulación de aire forzado a 105°C, hasta obtener peso constante; el contenido de humedad se obtuvo por diferencia de peso.



**Figura 10.** Vista general del sistema de tutoreo en pitahaya durante el experimento

Para la nutrición de la pitahaya, se empleó la solución universal de Steiner con una conductividad eléctrica (CE) de 2.0 dS/m para todos los tratamientos de humedad, cuyo balance se obtuvo a partir del análisis químico de agua de un pozo con fines agrícolas del Colegio de Postgraduados (Cuadro 10). Las fuentes de fertilización fueron nitrato de potasio, nitrato de calcio, fosfato mono potásico, sulfato de magnesio y ácido sulfúrico (pureza 75%) para ajuste de pH. En el caso del tratamiento de H 0-30% y H 0-70%, se aplicó de forma manual de acuerdo a los monitoreos de humedad semanal, mientras que, en las CP se suministró diariamente para cada fuente de abastecimiento.

**Cuadro. 10.** Solución Universal de Steiner para pitahaya

Aplicación	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
Trasplante	12.18	1.37	7.10	5.17	10.72	4.76
Permanente	11.99	1.35	6.99	5.08	10.56	4.69

### 2.3.1. Análisis de crecimiento

Se midió el grosor de los esquejes (por cada costilla), con un Vernier digital marca Truper de forma mensual en la porción media del tallo. Se consideró un promedio en el número de costilla presentes (3 o 4), según fuera el caso (Figura 11).



**Figura 11.** Medición del grosor para cada costilla en pitahaya

Para obtener la curva de crecimiento del cultivo en el primer año, se cuantificó la materia seca aérea (peso fresco y peso seco final) de cinco muestreos parciales y final de brotes (nuevos por arriba de los brotes laterales o esqueje), con una báscula analítica marca Sartorius (0.001 g precisión). Adicionalmente se cuantificaron los brotes, midiendo el largo y ancho de los mismos, se secaron en una estufa de aire de circulación forzada a 80°C por 72 h hasta peso constante. La materia seca acumulada se obtuvo como la suma de los muestreos parciales en peso seco y se expresó en g, donde la curva de crecimiento se obtuvo con una hoja de cálculo Excel, de acuerdo a los datos disponibles por muestreo.

En el caso de la raíz, se midió su longitud principal y grosor de raíz pivotante (mayor grosor) por planta mediante una cinta métrica y vernier digital respectivamente, se obtuvo

el peso fresco y seco de esta, como en el caso de la materia seca aérea (Figura 12). El volumen de raíz se determinó de acuerdo a la metodología propuesta por Córdoba *et al.* (2011), con base al principio de Arquímedes, al emplear una balanza de precisión con un recipiente para sumergir las raíces en agua sin tocar las paredes, registrando un aumento de peso (g), lo que equivale al volumen de la raíz (cm<sup>3</sup>).



**Figura 12.** Toma de datos para el análisis de crecimiento de raíz en pitahaya: a) Limpieza de raíz por planta, b) Medición de longitud en raíz, c) Medición de grosor de raíz y d) Peso fresco de raíz

Al finalizar el experimento se cuantificó el contenido relativo de agua (CRA) del esqueje principal, considerando su peso en fresco (PF) al momento de la cosecha, de forma posterior se sumergieron en agua destilada por 24 horas, al cabo de ese tiempo se obtuvo el peso hidratado (PT). Finalmente, el peso seco (PS), se obtuvo al secarse a 65°C en la estufa de aire de circulación forzada, hasta peso constante. El CRA se estimó a partir de la metodología propuesta por Larqué y Trejo (1990), que considera el peso fresco, seco e hidratado del tallo (Ecuación 1):

$$CRA = \frac{PF-PS}{PT-PS} \times 100 \quad (1)$$

Donde: CRA, es el contenido relativo de agua (%), PF es el peso fresco, PS es el peso seco y PT el peso final del tallo hidratado.

Los parámetros para el análisis de crecimiento a nivel de planta y órganos en pitahaya bajo condiciones de invernadero, se muestran en el Cuadro 11:

**Cuadro. 11.**Parámetros de crecimiento en pitahaya

Índices	Fórmula	Unidades
1. Tasa absoluta de crecimiento (TAC)	$(PS_2-PS_1)/(T_2-T_1)$	g día <sup>-1</sup>
2. Tasa de crecimiento relativo (TCR)	$(\ln PS_2-\ln PS_1)/(T_2-T_1)$	g g planta <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>
<b>Relaciones</b>		
1. Raíz/ parte aérea (R:PA)	R / (BA+BL+T) biomasa en seco	Adimensional
2. Parte aérea / raíz (PA: R)	(BA+BL+T) / R biomasa en seco	
3. Proporción de raíz (PR)	Biomasa raíz/Biomasa total (BA+BL+T+R)	g(raíz) g <sup>-1</sup> (planta)
4. Proporción de parte aérea (PPA)	Biomasa aérea (BA+BL) / Biomasa total(BA+BL+T+R)	g (parte aérea) g <sup>-1</sup> (planta total)

Fuente: Di Benedetto y Tognetti (2016). R: Raíz, PA: Parte aérea, BA: Brotes aéreos BL=Brotes laterales y T: tallo, PS= Peso seco

### 2.3.2. Requerimiento térmico

Para obtener el requerimiento térmico del cultivo se emplearon las unidades calor (UC), mediante los Grados Días de Desarrollo (GDD) en el primer año de establecimiento de la pitahaya. Se consideró una temperatura base de 7°C y una temperatura máxima umbral de 40°C, se estimó con el método residual (ecuación 2):

$$GDD = \left( \frac{T_{m\acute{a}x} - T_{m\acute{i}n}}{2} \right) - T_b \quad (2)$$

Donde: T<sub>máx</sub>, T<sub>mín</sub> corresponden a la temperatura máxima y mínima diaria respectivamente y T<sub>base</sub>, es la temperatura base de crecimiento del cultivo.

Los GDD acumulados, se obtuvieron con la suma diaria desde el 1 de marzo de 2018 al 30 de marzo de 2019. También se estimaron UC con las temperaturas registradas cada 30 minutos, a partir de la T<sub>base</sub> y la máxima umbral, con la premisa que debajo de dicho valor y por arriba del límite máximo, no hay crecimiento vegetativo ni acumulación

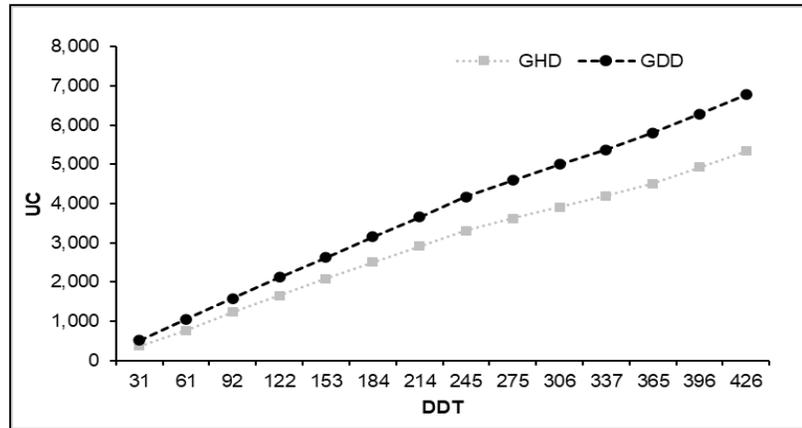
de grados de crecimiento. Para obtener los Grados Hora Día (GHD), que corresponde al acumulado de los grados de crecimiento de cada media hora, se multiplico por 0.5 para convertir de 30 minutos a horas y se sumó el total por día de dichos valores, obteniéndose el mensual y del período total.

La eficiencia en el uso del agua (EUA) total, se obtuvo a partir de dividir la materia seca total (g), entre la lámina de riego acumulada por tratamiento (en cm), expresada en g de materia seca / cm de agua utilizada. Para el análisis estadístico de los datos de las variables de crecimiento y EUA, se realizó mediante un análisis de varianza (ANAVA) y una prueba de comparación de medias de Tukey (a un 5% de probabilidad) con el software SAS 9.4. La verificación de supuestos de normalidad, se realizó con la prueba de Shapiro Wilk, mientras que la homogeneidad de varianzas se comprobó de manera gráfica en el mismo programa, el supuesto de independencia se asume con la aleatorización de las UE's, para cada variable respuesta.

## **2.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **2.4.1. Tiempo térmico en pitahaya (*Hylocereus undatus*)**

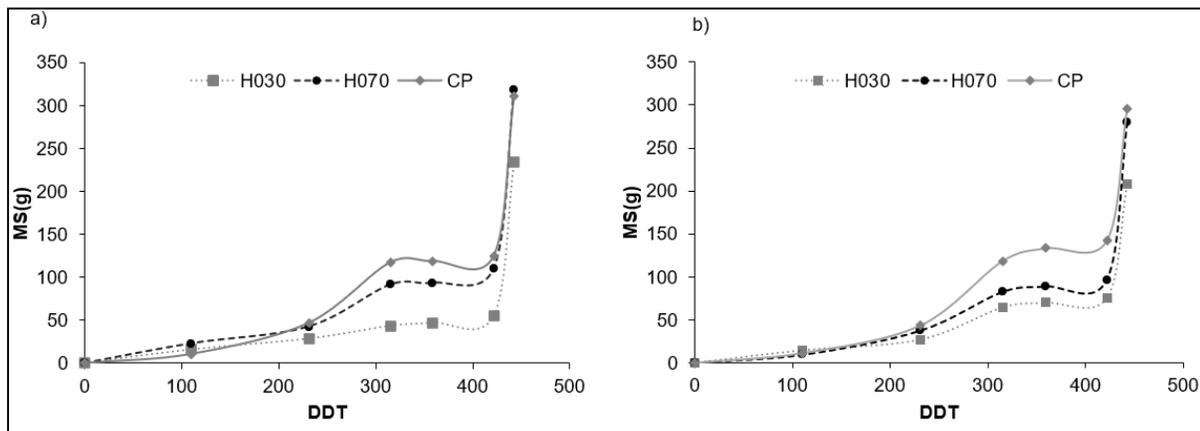
La acumulación de GGD en pitahaya en el primer año de su establecimiento, fue de 6,770 UC, mientras que por el método de GHD se obtuvieron 5,341 UC, lo que indica que el método residual empleado para calcular GDD sobreestima en un 21.1% los requerimientos térmicos reales del cultivo (Figura 13). La evaluación del requerimiento térmico de la pitahaya fue durante su primera etapa vegetativa, donde no existe antecedentes similares de evaluación de dicha variable, solo los trabajos realizados por Martínez *et al.* (2017) quienes reportan el requerimiento térmico del cultivo en una etapa reproductiva (de 879 GDD), más no es su primer año. De tal manera que, contar con la información por etapa fenológica, permitiría una mejor caracterización de las diferentes especies de pitahaya. Sin embargo, existen dificultades para establecer la edad de la planta y la delimitación de cada fase fenológica, debido a que no hay parámetros que permitan evaluarlos de una forma más certera.



**Figura 13.** Grados de crecimiento acumulado en pitahaya: Grados Día Desarrollo (GDD) y Grados Hora Día (GHD).

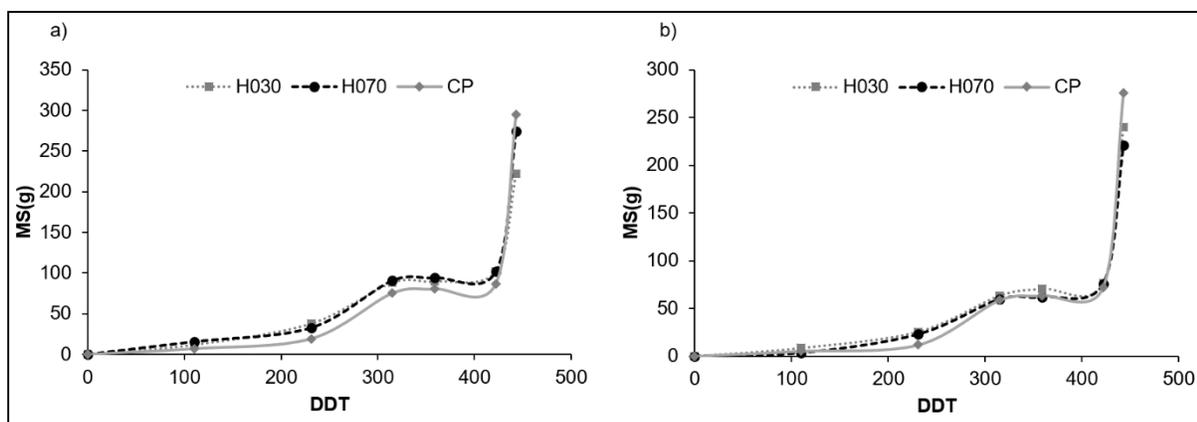
#### 2.4.2. Análisis de crecimiento

La curva de crecimiento en el primer año del cultivo, mostro diferencias en los niveles de sombra, tamaños de esqueje y condiciones de humedad evaluados. En el caso de un nivel de sombra al 25% (Figura 14), la condición de humedad con CP favoreció la mayor acumulación de materia seca total de brotes aéreos en los dos tamaños de esquejes (60 y 40 cm) evaluados, debido a un menor estrés hídrico en la planta. Esto concuerda con lo reportado por Olgúin (2015), quien indica que el sistema de riego por succión incrementa la productividad y autorregula el nivel de humedad de los cultivos.



**Figura 14.** Acumulación de materia seca (MS) aérea en pitahaya a un nivel de sombra de 25%: a) TE:60 cm y b) TE:40 cm. MS: Materia seca total aérea, DDT: Días después del trasplante, TE: Tamaño de esqueje, H030: Humedad de 0 -30%, H070: Humedad de 0-70% y CP: Cápsula porosa

A un nivel de sombra de 60%, se observó una similitud en la acumulación de la materia seca en los primeros 400 DDT (Figura 15), en los dos tamaños de esqueje (60 y 40 cm) debido a una disminución de la radiación recibida y del estrés por temperatura en la planta, lo que provocó adelgazamiento de los brotes aéreos. Sin embargo, durante el período inicial de crecimiento del cultivo, el uso de coberturas de hasta un 50% de sombra favorece un mayor crecimiento en las plantas, mientras que el exceso de sombra disminuye la tasa de crecimiento del cultivo debido a una menor energía disponible (Cavalcante *et al.*, 2011; Ricalde y Andrade, 2009).



**Figura 15.** Curva de crecimiento en pitahaya a un nivel de sombra de 60%: a) TE:60 cm y b) TE:40 cm, MS: Materia seca total aérea, DDT: Días después del trasplante, TE: Tamaño de esqueje, H030: Humedad de 0 -30%, H070: Humedad de 0-70% y CP: Cápsula porosa.

Los indicadores de crecimiento en la acumulación de materia seca, muestra que la tasa absoluta de crecimiento (TAC) y la tasa relativa de crecimiento (TCR) fue superior a un nivel de sombra del 25% a los 422 DDT y 359 DDT respectivamente, en comparación al 60% de sombra (Cuadro 12). El uso de sombra en el cultivo que brinden una buena intensidad lumínica y una adecuada disponibilidad de agua, permiten un mejor crecimiento en las primeras etapas del cultivo (Montesinos *et al.*, 2015).

**Cuadro. 12.** Indicadores de crecimiento promedio en pitahaya a nivel de planta bajo diferentes niveles de humedad

DDT	S	T60 cm			T40 cm		
		H 0-30%	TAC <sup>§</sup> (g d <sup>-1</sup> ) H 0-70%	CP	H 0-30%	TRC <sup>‡</sup> g (g d) <sup>-1</sup> H 0-70%	CP
0		0.14	0.21	0.10	----	----	----
110		0.10	0.16	0.30	0.0049	0.0051	0.0123
231		0.18	0.58	0.84	0.0050	0.0091	0.0110
315	<b>S1</b>	0.08	0.05	0.04	0.0019	0.0006	0.0003
359		0.13	0.26	0.09	0.0025	0.0026	0.0008
422		8.54	9.90	8.87	----	----	----
443		----	----	----	----	----	----
0		0.13	0.08	0.10	----	----	----
110		0.10	0.23	0.27	0.0050	0.0115	0.0112
231		0.45	0.54	0.89	0.0104	0.0094	0.0120
315	<b>S2</b>	0.13	0.15	0.35	0.0019	0.0018	0.0028
359		0.08	0.11	0.13	0.0011	0.0012	0.0010
422		6.34	8.74	7.35	----	----	----
443		----	----	----	----	----	----

§TAC: Tasa absoluta de crecimiento promedio, ‡ TRC: Tasa relativa de crecimiento promedio, S: sombra, S1: Sombra al 25%, S2: Sombra al 60%, DDT: días después del trasplante.

Las proporciones de raíz: parte aérea mayores se concentraron a un nivel de humedad de H 0-30% y H 0-70% en los dos tamaños de esqueje (60 y 40 cm), con un mayor número de raíces para el aprovechamiento adecuado de la poca humedad disponible en sequías prolongadas y un mejor soporte de la planta en el sustrato. Mientras que los mayores valores de la proporción parte aérea: raíz, se observaron a un nivel de humedad con CP, lo que indica la importancia del riego en el cultivo para la producción de brotes aéreos y una adecuada acumulación de raíces de la planta alrededor de la CP por el nivel de humedad suministrado (Mizrahi *et al.*, 2007).

En el caso de la proporción de raíz (PR), se observó que la raíz representa aproximadamente el 15% de la materia seca total de la planta, mientras que la proporción de parte aérea (PPA) es del 85% en promedio (Cuadro 13), esto correspondería con las características propias de la pitahaya, al ser epífita y contar con gran cantidad de brotes aéreos, mientras su bajo nivel de desarrollo de raíces a poca profundidad para anclaje y

absorción de nutrientes es distintivo en la familia de la cactáceas (Montesinos *et al.*, 2015; Del Alba, 2003).

**Cuadro. 13.** Proporciones para evaluar crecimiento en pitahaya

Rango de Humedad (%)	Sombra (%)	Raíz: P. aérea		P. aérea: Raíz		PR <sup>‡</sup> g(raíz) g <sup>-1</sup> (planta total)		PPA <sup>§</sup> g (parte aérea) g <sup>-1</sup> (planta total)	
		TE60	TE40	TE60	TE40	TE60	TE40	TE60	TE40
H 0-30	S1	0.17	0.24	6.23	5.36	0.14	0.18	0.86	0.82
	S2	0.15	0.22	6.78	4.99	0.13	0.18	0.87	0.82
H 0-70	S1	0.18	0.21	6.14	7.33	0.15	0.16	0.85	0.84
	S2	0.18	0.23	6.02	5.20	0.15	0.18	0.85	0.82
Cápsula porosa (CP)	S1	0.17	0.17	8.09	6.43	0.14	0.14	0.86	0.86
	S2	0.14	0.17	7.20	7.04	0.12	0.14	0.88	0.86

<sup>‡</sup>PR= Proporción de masa raíz, <sup>§</sup>PPA: Proporción de masa parte aérea, S1: Sombra al 25%, S2: Sombra al 60%.

### 2.4.3. Distribución de biomasa

Para conocer el efecto de la PG (parcela grande - tamaños de esqueje (TE)), PM (parcela mediana- niveles de sombra (S)) y PCH (parcela chica-humedad(H)) en la distribución de biomasa en los diferentes órganos en pitahaya (raíz, esqueje, brotes laterales y aéreos). Se planteó que todos los factores de estudio (TE, S y H) producen el mismo efecto en la distribución de los órganos del cultivo como hipótesis nula (H<sub>0</sub>), mientras que la hipótesis alternativa (H<sub>a</sub>) indica que no todos los TE, niveles de S y H, producen el mismo efecto en la producción de biomasa. De acuerdo con el ANAVA con un nivel de significancia al 5% (p<0.0006 y p<0.0091), se rechaza H<sub>0</sub> por lo que existe evidencia que al menos un tamaño de esqueje y sombra producen efectos significativamente diferentes en la acumulación de biomasa en la pitahaya, mientras que los niveles de humedad no tienen efectos significativamente diferentes en la variable respuesta.

En el caso de los brotes laterales, con base del ANAVA y un nivel de significancia al 5%(p<0.0001), se observó que al menos un nivel de sombra produjo efectos significativamente diferentes en la acumulación de biomasa en los brotes laterales del

cultivo. En la prueba de comparación de medias de Tukey (Cuadro 14), se observó que la mayor acumulación de biomasa se obtuvo en los esquejes de 60 cm y un nivel de sombra del 25%. Debido a la disponibilidad de agua de reserva en los tejidos del parénquima del esqueje y al porcentaje de radiación adecuado para el crecimiento de la planta, al igual que en los brotes laterales. Los resultados concuerdan con los trabajos realizados por Fumuro (2016), quien indica que el mayor crecimiento y acumulación de biomasa en brotes de pitahaya se obtiene al considerar una tasa de incidencia de luz del 71%, lo que corresponde a un 29% de sombra.

Mientras que, para el TE, sombra y niveles de humedad, no se observó efectos significativos en la acumulación de biomasa en raíz y brotes aéreos. En el caso de brotes laterales, el TE y humedad no tuvo efectos significativos en la acumulación de biomasa de dicho órgano.

**Cuadro. 14.** Comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para la distribución de biomasa por órgano en pitahaya de los factores tamaño de esqueje, sombra y niveles de humedad.

Variables	Nivel	Distribución de biomasa/órgano (g) <sup>‡</sup>			
		Raíz	Esqueje	Brotes laterales	Brotes aéreos
TE	TE60	84.86a	84.53a	157.22a	274.58a
	TE40	90.29a	55.84b	143.86a	254.46a
Sombra	S1	96.23a	74.12a	175.99a	258.61a
	S2	78.93a	66.25b	125.09b	270.43a
Nivel de humedad	H 0-30%	86.64a	70.56a	145.71a	243.86a
	H 0-70%	96.47a	71.71a	157.19a	253.66a
	CP	79.63a	68.29a	148.74a	296.05a

<sup>‡</sup>Medias con la misma letra en columna no son estadísticamente diferentes, g: gramos, TE: tamaño de esqueje, CP: Cápsula porosa, S1: sombra al 25%, S2: Sombra al 60%.

#### 2.4.4. Brotes vegetativos

En el análisis del crecimiento de los brotes vegetativos, el número de brotes aéreos promedio presentó diferencias por niveles de humedad, donde el mayor número de brotes se presentó a un nivel de humedad de H 0-70% y CP, con un 60% de sombra en los esquejes de mayor tamaño (60 cm), debido a una disminución de estrés por humedad y radiación (Cuadro 15). Esto conlleva a un crecimiento excesivo de brotes en la parte aérea, lo cual puede ser una desventaja, debido a que la demanda de reservas se incrementa y si no se tiene un buen sistema de raíces, la planta puede estresarse (Filho *et al.*, 2014). En el manejo productivo de la planta, la poda es fundamental como actividad para remover el exceso de cladodios que reducen la cantidad de luz e interfieren en la recolección de frutos (Bárceñas *et al.*, 2002; Le Bellec *et al.*, 2006).

La pitahaya con niveles de sombra al 25% mostraron el menor número de brotes, debido a la baja tolerancia a incrementos de radiación, lo que limita el crecimiento de brotes jóvenes como en el caso del nopal, en las primeras etapas de cultivo (Nobel y De la Barrera, 2003).

**Cuadro. 15.** Número de brotes promedio por condiciones de humedad, sombra y tamaño de esqueje.

Rango de Humedad (%)	Sombra (%)	No Brotes aéreos <sup>1</sup>		TE60		TE40	
		TE60	TE40	DE	CV (%)	DE	CV (%)
H 0-30	S1	11.6	10.2	5.1	44.2	7.4	72.5
	S2	9.4	10.2	3.6	38.8	4.7	45.7
H 0-70	S1	13.0	12.0	6.4	49.6	4.4	36.3
	S2	16.0	13.6	8.9	55.6	7.6	55.7
Cápsula porosa (CP)	S1	9.8	14.4	3.8	38.5	6.3	43.5
	S2	15.6	12.0	8.9	56.9	7.3	61.2

<sup>1</sup>Promedio de 5 repeticiones para cada condición. H=humedad, CP=cápsula porosa, S1= Sombra al 25%, S2= sombra al 60%, TE= tamaño de esqueje (cm), DE=Desviación estándar, CV= coeficiente de variación.

De acuerdo con las medias de los factores, se observa que un nivel de sombra al 25% y la humedad con CP, produce los mayores efectos en cuanto al ancho de los brotes laterales, lo que favorece una mayor área de captación de radiación solar para el proceso de fotosíntesis (Cuadro 16). Sin embargo, es necesario el uso de mallas que atenúen del 30 al 60% de radiación, para evitar un amarillamiento de las plantas y reducción en su capacidad fotosintética, lo que disminuye el crecimiento y estado nutricional de los brotes (Khaimov y Mizrahi, 2006; Andrade *et al.*, 2006). Al disminuir la humedad en el suelo, se limita el crecimiento de brotes nuevos, ya que se reduce el transporte de asimilados disponibles por el floema, así como la tasa de absorción y asimilación de CO<sub>2</sub> (Nerd y Neumann, 2004). No se observaron efectos significativos de los factores (TE, sombra y niveles de humedad) en la longitud de brotes laterales y aéreos, de igual manera para el ancho de los brotes aéreos.

**Cuadro. 16.** Prueba de comparación de medias ( $\alpha=0.05$ ) para brotes laterales y aéreos en pitahaya de los factores tamaño de esqueje, sombra y niveles de humedad.

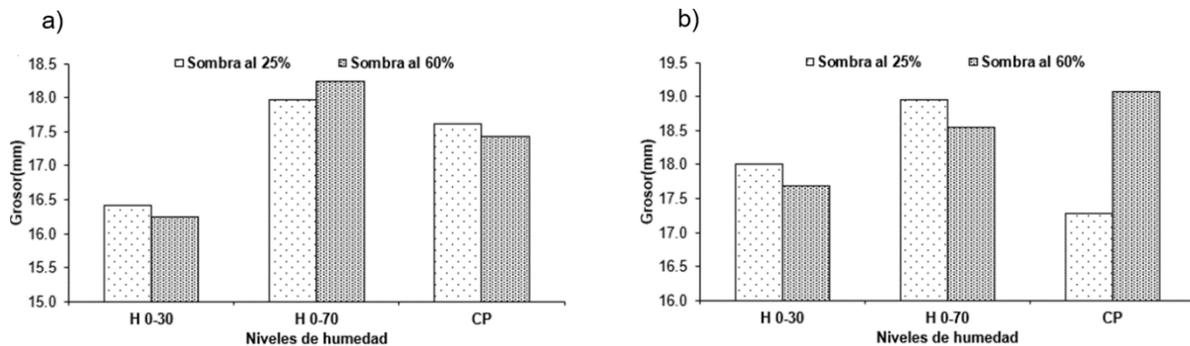
Variables	Nivel	No. brotes	Longitud (cm) <sup>§</sup>		Ancho (cm)	
			Laterales	Aéreos	Laterales	Aéreos
Tamaño de esqueje (TE)	TE (60 cm)	12.57a	156.03a	78.94a	4.16a	2.90a
	TE (40 cm)	12.07a	153.35a	89.73a	4.30a	2.87a
Sombra (S)	S1 (25%)	11.83a	160.43a	79.95a	4.52a	3.03a
	S2 (60%)	12.80a	148.95a	88.73a	3.94b	2.73a
Nivel de humedad (H)	H 0-30%	10.35a	152.91a	76.03a	3.86b	2.83a
	H 0-70%	13.65a	147.19a	83.52a	4.14b	2.98a
	Cápsula porosa (CP)	12.95a	163.97a	93.47a	4.71a	2.85a

<sup>§</sup>Medias con la misma letra en columna no son estadísticamente diferentes, TE: tamaño de esqueje, CP: Cápsula porosa, S1: sombra al 25%, S2: Sombra al 60%.

#### 2.4.5. Esqueje

Dado el lento de crecimiento del cultivo, el monitoreo del grosor del esqueje resulta un factor de la acumulación de biomasa. De acuerdo a las diferentes condiciones de humedad evaluadas, se observó que un mayor grosor de esqueje (18.2 mm) se presentó

en esquejes de 60 cm a H 0-70% y un nivel de sombra al 60% (Figura 16a). Mientras que a una longitud menor del esqueje (40 cm), el mayor grosor de esqueje se presentó a una humedad del 0-70% y CP, a un nivel de sombra del 25% y 60%, respectivamente (Figura 16b). Que concuerda con Filho *et al.* (2014), donde los esquejes pequeños (no lignificados), tienen una menor acumulación de sustancias de reserva (carbohidratos), así como fitorreguladores (auxinas) que inducen una mayor formación de raíces y tener una mejor capacidad de exploración en el suelo. Sin embargo, bajo condiciones óptimas de humedad, el crecimiento de raíces finas se realiza a partir de las permanentes a poca profundidad (30 cm), mejorando su capacidad de absorción de nutrientes y agua.



**Figura 16.** Grosor de esqueje de pitahaya en diferentes longitudes: a) 60 cm y b) 40 cm.

La succulencia de los tallos indica el gran volumen de agua almacenado por este órgano fotosintético, a través del cual ocurre la transpiración (Nobel *et al.*, 2002). La reducción del grosor se observó en aquellos esquejes con un mayor número de brotes, a un nivel de humedad del 0-30% y sombra al 25% en ambos tamaños de esqueje. Esto contribuyó a una deshidratación y reducción del volumen de agua almacenada en el esqueje, bajo condiciones limitantes de humedad. Sin embargo, el crecimiento se mantuvo debido al movimiento del agua del parénquima al clorénquima (órgano fotosintético en los tallos de la pitahaya), así como un ajuste osmótico que le permite mantener la turgencia en tejidos y apertura de estomas ante déficit hídricos, en plantas CAM como el nopal (Franco y Véliz, 2007; García *et al.*, 2007).

Los esquejes de 60 cm a un nivel de sombra del 60%, presentaron un mayor número de brotes a un nivel de humedad con CP, esto puede indicar que al no tener estrés hídrico

la planta no almacena agua en sus órganos de reserva (tallos), lo que mostró una reducción del grosor bajo condiciones óptimas de humedad. La diferencia en grosor de esqueje en cada costilla se debe a la capacidad de retención de humedad del sustrato, nivel de sombra, especie, manejo de la fertilización y riego (Mizrahi *et al.*, 2007).

El contenido relativo de agua (CRA) en esquejes varía por condición de humedad, donde las cápsulas porosas proveen un mayor contenido de humedad en ambos tamaños de esqueje (60 y 40 cm) que es aprovechado y se almacena en sus tejidos como fuente de reservas, frente a sequías, independiente del nivel de sombreado (Cuadro 17). Los esquejes de 60 cm a una humedad del 70% presentan un mayor número de brotes aéreos en ambos niveles de sombra, lo que indica un menor CRA, es decir, existe movimiento del esqueje principal a dicha parte de la planta. Hay una similitud con Pimienta *et al.* (2005), quienes evaluaron el intercambio de CO<sub>2</sub> en especies cultivadas de nopal (*Opuntia*), donde la ganancia diaria de dicho gas y el CRA se redujo a medida que se incrementó el número de cladodios.

En el caso de los esquejes de 40 cm, el mayor número de brotes se obtuvo con mayores CRA de los esquejes en CP. Lo que indica que, al no tener limitaciones de humedad en el suelo, la planta no tiene un estrés hídrico para seguir su crecimiento, esto muestra la capacidad de la pitahaya a distintas condiciones climáticas y suelo, como en el caso de nopal (Lozano, 2011). Por otro lado, los esquejes con menor valor de CRA, produjeron raíces más gruesas en condiciones de baja humedad en el sustrato, lo que coincide con los trabajos realizados por Vargas *et al.* (2003), quienes observaron un menor CRA en pitahaya roja, con raíces gruesas y ramificadas, en una mezcla de tierra más estiércol bovino.

**Cuadro. 17.**Contenido relativo de agua (CRA) en esquejes de pitahaya

Rango de Humedad (%)	Sombra (%)	CRA %	
		TE60	TE40
H 0-30	S1	84.6	90.5
	S2	82.6	86.7
H 0-70	S1	83.8	91.5
	S2	88.9	84.0
Cápsula porosa (CP)	S1	92.8	94.3
	S2	93.7	93.4

<sup>1</sup>Promedio de 5 repeticiones para cada condición. H=humedad, CP=cápsula porosa, S1= Sombra al 25%, S2= sombra al 60%, TE= tamaño de esqueje (cm).

#### 2.4.6. Raíz

La pitahaya presenta una raíz somera, es decir, que crece a poca profundidad, su estudio permite conocer la estrategia para absorber agua, nutrientes del suelo y sobrevivir en ambientes tan limitantes de humedad, sin embargo, no se aborda el estudio de este órgano para cactáceas (Vázquez *et al.*, 2007). En el presente trabajo, el volumen de raíz tuvo diferencias por niveles de humedad, sombra y tamaño de esqueje (Cuadro 18), donde la humedad H 0-70%, CP y sombra al 25% tuvo los mayores volúmenes en raíz(cm<sup>3</sup>) en ambos tamaños esquejes (60 cm y 40 cm). A un menor contenido de humedad (H 0-70%), las raíces son más cortas, pero con un mayor grosor, debido a que se limita la pérdida de agua y se mantiene las reservas de agua en el tallo. Las condiciones contrastantes en humedad, indican la facilidad del cultivo para adaptarse a situaciones con limitaciones o disponibilidad de agua.

Donde los mayores volúmenes de raíces se asocian a un nivel de humedad que se suministró por las CP. Esto concuerda con lo reportado con Martínez y Reyes (2017), quienes indican un incremento del volumen de raíces superficiales a poca profundidad, para ser más eficiente la captación de la humedad en cactáceas. Mientras que, en condiciones de escasez el área radical disminuye para evitar la pérdida de agua, sin embargo, un menor volumen de raíces puede suministrar humedad al cultivo en caso de una lluvia esporádica (Mizrahi *et al.*, 2007).

Por otra parte, los mayores volúmenes de raíces se observaron en esquejes de menor tamaño (40 cm), obteniendo las relaciones raíz/ tallo más altas en comparación a esquejes de 60 cm, lo que indica que en limitaciones de humedad y con menos cantidad de reservas en el tallo, la planta aprovecha la poca agua disponible en el suelo, al emitir raíces efímeras en los primeros 40 cm de profundidad (Mizrahi, 2014). En el caso de esquejes de 60 cm, el volumen de raíces se reduce por contenido de humedad en el suelo y está en función de las reservas de agua del esqueje en tejidos de reserva. Esto concuerda con los trabajos de Geydan y Melgarejo (2005), quienes indican que el sistema radicular de plantas CAM exhibe pequeños volúmenes y proporciones de raíz/ tallo que limitan la pérdida de agua hacia el suelo, sin embargo, poseen la habilidad para la toma rápida de agua cuando están hidratadas.

**Cuadro. 18.** Volumen de raíz promedio y proporciones de raíz/ tallo por condiciones de humedad, sombra y tamaño de esqueje en pitahaya.

Rango de Humedad (%)	Sombra (%)	Volumen raíz (cm <sup>3</sup> ) <sup>1</sup>		Relación raíz/tallo	
		TE60	TE40	TE60	TE40
H 0-30	S1	115.1	200.5	0.934	1.732
	S2	93.4	152.6	0.865	1.579
H 0-70	S1	149.0	212.4	1.152	1.525
	S2	154.1	162.6	1.148	1.774
Cápsula porosa (CP)	S1	258.2	202.2	1.080	1.680
	S2	176.0	159.8	0.821	1.384

<sup>1</sup>Promedio de 5 repeticiones para cada condición. H=humedad, CP=cápsula porosa, S1= Sombra al 25%, S2= sombra al 60%, TE= tamaño de esqueje (cm).

Para conocer los efectos del TE (parcela grande -PG), S (parcela mediana- PM) y H (parcela chica-PCH) en la longitud y grosor de raíz en pitahaya. Se planteó que todos los factores de estudio (TE, S y H) producen el mismo efecto en la longitud y grosor de raíz como hipótesis nula (H<sub>0</sub>), mientras que la hipótesis alternativa (H<sub>a</sub>) indica que no todos los TE, niveles de S y H, producen el mismo efecto en la longitud y grosor de raíz.

De acuerdo con el ANAVA con un nivel de significancia al 5% ( $p < 0.0334$  y  $0.0064$ ), se rechaza  $H_0$ , por lo que existe evidencia que al menos un nivel de humedad produce efectos significativos en la longitud y grosor de raíz en pitahaya mientras que los otros factores de estudio (TE y sombra), no tuvieron efecto significativo sobre las variables respuestas. Las medias de los factores de estudio, muestran que la humedad con CP, favoreció una mayor longitud de raíz en pitahaya, en comparación a los otros niveles de humedad (Cuadro 19).

En el caso del grosor de la raíz, se observa que a un menor nivel de humedad (H 0-30% y H 0-70%), se favorece un mayor grosor en raíz, lo que indica que la planta fue sometida a un estrés hídrico. Lo que genera una raíz pivotante más gruesa para guardar reservas, debido a que en esquejes pequeños (no lignificados), tienen una menor acumulación de carbohidratos, así como fitorreguladores (auxinas) para inducir una mayor formación de raíces y tener una mejor capacidad de exploración en el suelo. El incremento de la longitud en raíz sirve para un mejor anclaje y absorción de agua como nutrientes del suelo, durante un tiempo de sequía prolongado (Filho *et al.*, 2014; Nobel, 1998).

Los resultados obtenidos en longitud y grosor de raíz, para los diferentes tratamientos son similares a los reportados por Vázquez *et al.* (2007) en el caso de nopal, donde el mayor volumen de raíces se concentró en los primeros 20 cm de profundidad, con una longitud promedio de 62.3 cm y un grosor de 2.09 cm.

Por otro lado, la porosidad total (71%) del sustrato favoreció una mejor aireación y crecimiento de raíces en el cultivo a mayor contenido de humedad, esto concuerda con INIFAP (2002), quien indica que el sustrato debe ser poroso, con buen drenaje y aireación, para favorecer un balance de humedad y aire para la planta, adicionado con materia orgánica para un mejor enraizamiento del esqueje. Sin embargo, depende de la especie de pitahaya, así como el vigor de los esquejes plantados (Cerqueda, 2010; Galvão *et al.*, 2016). La concentración del enraizador (Radix 1500) influye en la emisión raíces tanto en longitud, número y grosor por esqueje, obteniendo mejores resultados al

pasar de menor a mayores concentraciones de Ácido Indol butírico (AIB) en combinación con diferentes tipos de sustratos (Ahmad *et al.*, 2016; Rahad *et al.*, 2016).

**Cuadro. 19.** Comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) de longitud y grosor de raíz en pitahaya, de los factores tamaño de esqueje, sombra y niveles de humedad.

Variables	Nivel	Longitud	Grosor
		cm ‡	
TE	TE60	50.55a	1.77a
	TE40	51.76a	1.76a
Sombra	S1	51.65a	1.88a
	S2	50.66a	1.65a
Nivel de humedad	H 0-30 %	48.215b	1.89a
	H 0-70 %	51.82ab	1.79a
	CP	53.43a	1.62b

‡Medias con la misma letra en columna no son estadísticamente diferentes, g: gramos, TE: tamaño de esqueje, CP: Cápsula porosa, S1: sombra al 25%, S2: Sombra al 60%. Nivel de humedad H 0-30 % y H 0-70%.

Para conocer las combinaciones de factores que permiten obtener la mayor longitud de raíces en el cultivo, se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey. Donde un nivel de sombra del 60% y la humedad con CP, tienen un mayor efecto en la longitud de raíces en pitahaya (Cuadro 20), en comparación a la humedad de H 0-30% en el mismo nivel de sombra. La longitud de raíces, se incrementa de acuerdo a la humedad disponible en el suelo, tipo de sustrato y enraizadores utilizados, no obstante, el volumen se reduce al disminuir la cantidad de incidencia de luz (Mizrahi, 2014; Elobeidy, 2005; Fumuro, 2016).

**Cuadro. 20.** Comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) en longitud de raíz, de la interacción de factores tamaño de esqueje, sombra y niveles de humedad.

Variables	Longitud(cm) <sup>‡</sup>				
	S1	S2	H 0-30%	H 0-70%	CP
TE60	49.84a	51.25a	45.43a	53.10a	53.12a
TE40	53.46a	50.06a	51.00a	50.55a	53.74a
S1	-----	-----	49.55ab	54.40ab	51.01ab
S2	-----	-----	46.88b	49.25ab	55.85a

<sup>‡</sup>Medias con la misma letra en columna no son estadísticamente diferentes, TE: Tamaño de esqueje, S1: Sombra al 25%, S2: Sombra al 60%.

#### 2.4.7. Eficiencia en el uso del agua (EUA).

La EUA, se define como la relación de la biomasa producida y el volumen de agua transpirado, sin embargo, en el caso de cactáceas se desconocen los valores de EUA en la mayoría de las especies. Para conocer el efecto del tamaño de esqueje (TE) (parcela grande -PG), niveles de sombra (S) (parcela mediana- PM) y condición de humedad (H) (parcela chica-PCH) en la EUA de la pitahaya. Se planteó que todos los factores de estudio (TE, S y H) producen el mismo efecto en la EUA del cultivo como hipótesis nula ( $H_0$ ), mientras que la hipótesis alternativa ( $H_a$ ) indica que no todos los TE, niveles de S y H, producen el mismo efecto en la EUA.

De acuerdo con el ANAVA con un nivel de significancia al 5% ( $p<0.0305$ ,  $p<0.0194$  y  $p<0.0001$ ), se rechaza  $H_0$ , por lo que existe evidencia que al menos un tamaño de esqueje, nivel de sombra y humedad, producen efectos significativamente diferentes en la EUA total del cultivo (Cuadro 21), mientras que la interacción de los factores no tiene efectos significativamente diferentes en la variable respuesta.

**Cuadro. 21.** Análisis de varianza (ANAVA) en eficiencia en el uso del agua (EUA) total en pitahaya

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor	Pr>F
BLOQ	4	9.55	2.39	0.59	0.6703 ns
PG(TE)	1	20.65	20.65	5.13	0.0305 **
Error PG	4	7.84	1.96	0.49	0.7453 ns
PM(S)	1	26.93	26.93	8.51	0.0194 **
TE*S	1	0.60	0.60	0.19	0.6748 ns
Error PM	8	25.33	3.17	0.79	0.6184 ns
PCH(H)	2	792.74	396.37	98.40	<.0001 **
TE*H	2	0.17	0.09	0.02	0.9791 ns
S*H	2	2.51	1.25	0.31	0.7346 ns
TE*S*H	2	0.79	0.39	0.10	0.9072 ns
Error	32	128.90	4.03		
Total	59	1,016.01			

\*\*Altamente significativo a  $p < 0.05$ , ns: no significativo, CV:18.54%, GL: grados de libertad, BLOQ: repeticiones, PG: Parcela grande (TE: Tamaño de esqueje), PM: Parcela mediana (S: Sombra), TE: Tamaño de esqueje y H: humedad.

De la comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ), se tiene que con un nivel de humedad (0-30%) se produce un mayor efecto sobre la EUA total (Cuadro 22), es decir, se produce más biomasa por lámina de agua evapotranspirada (14.0 g MS/cm H<sub>2</sub>O) por unidad experimental aun con mayor estrés hídrico. Los factores siguientes que influyen sobre la EUA son el tamaño de esqueje de 60 cm y el nivel de sombra al 25%. Esto indica que el agua almacenada en órganos de reserva como es el tallo resulta fundamental para su uso en sequias prolongadas. Debido a la naturaleza semitropical de la especie y un área fotosintética reducida, con valores de EUA mayores a plantas C<sub>3</sub> y C<sub>4</sub>, pero inferior en comparación a otra cactáceas, como el nopal (Mizrahi *et al.*, 2007).

**Cuadro. 22.** Prueba de comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para eficiencia en el uso del agua (EUA) total, de los factores tamaño de esqueje, sombra y niveles de humedad.

Variables	Nivel	EUA <sup>§</sup>
		(g MS/cm H <sub>2</sub> O) TOTAL
TE	TE60	11.4100a
	TE40	10.2367b
Sombra	S1	11.4933a
	S2	10.1533b
Nivel de humedad	H 0-30%	14.000a
	H 0-70%	12.735a
	CP	5.735 b

<sup>§</sup>Medias con la misma letra en columna no son estadísticamente diferentes.

Los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas del modelo para EUA total se cumplen, ya que los errores siguen una distribución normal ( $p=0.7313$ ). La información de EUA en cactáceas es muy incipiente o se tiene solo para algunas especies, siendo necesario enfocar nuevos estudios que permitan conocer sobre el uso de agua en este tipo de plantas y su productividad, para mejorar los sistemas de producción existentes, que permitan su aprovechamiento, conservación y preservación ante las nuevas condiciones ambientales y de retos futuros.

## 2.5. CONCLUSIONES

- Los requerimientos térmicos de la pitahaya se evaluaron durante un año, siendo de 6,770 GDD (método residual) y de 5,431 GDD (estimado a partir de las temperaturas medidas cada 30 minutos), a partir de una temperatura base de 7.0 °C; donde el primer método sobreestimó en un 21.1%, con respecto al segundo.
- El mayor crecimiento de brotes aéreos y laterales en el cultivo fue al 25% de sombra con riego por CP en brotes de 60 cm, mientras que a un 60% de sombra, existió similitud de crecimiento a los 400 DDT para ambos tamaños de esqueje (60 y 40 cm).

- Los indicadores de crecimiento TAC y TCR fueron superiores a un nivel de sombra del 25% a los 422 DDT y 359 DDT respectivamente, en comparación al 60% de sombra. Las proporciones de raíz: parte aérea mayores se concentraron a H 0-30% y H 0-70% de humedad, para los dos tamaños de esqueje (60 y 40 cm). La raíz (PPR) representa el 15% de la materia seca total de la planta y el 85% a la parte aérea (PPA).
- El número de brotes vegetativos aéreos fue mayor con un nivel de humedad de H 0-70% y CP, al 60% de sombra y esquejes de 60 cm. Los mayores volúmenes y grosor de raíz fueron al mismo nivel de humedad, pero con el 25% de sombra en los dos tamaños de esquejes (60 cm y 40 cm). El grosor de esqueje se incrementó al H 0-70% de humedad en ambos tamaños de esqueje (60 y 40 cm), mientras que ambos niveles de sombra (25 y 60%) y riego con CP, favoreció el mayor grosor en esquejes de 40 cm.
- La mayor eficiencia en el uso del agua (EUA) total ( $14.00 \text{ g MS cm}^{-2} \text{ H}_2\text{O}$ ) se obtiene en esquejes de 60 cm, a un nivel de sombra al 25% y humedad de H 0-30%.

## CONCLUSIONES GENERALES

- Las láminas riego aplicadas al cultivo variaron por nivel de humedad, con respecto al tamaño del esqueje utilizado, donde las mayores, fueron con las CP (104.2 cm), al 25% de sombra y un tamaño de esqueje de 40cm.
- Los coeficientes de cultivo ( $K_c$ ) globales son función del manejo de agua, los mayores valores se obtuvieron con CP entre 0.77 y 1.25 para los niveles de sombra y tamaño de esqueje evaluados. En los niveles de humedad H 0-30% y H 0-70% fue de 0.13 a 0.22 respectivamente.
- El mayor crecimiento de brotes aéreos y laterales en el cultivo fue al 25% de sombra con riego por CP en brotes de 60 cm, mientras que a un 60% de sombra, existió similitud de crecimiento a los 400 DDT para ambos tamaños de esqueje (60 y 40 cm). La distribución de la materia seca total fue de 85% en la parte aérea y 15% en raíz.

## RECOMENDACIONES

- Llevar a cabo la cuantificación de láminas de riego en otras etapas de crecimiento del cultivo (emisión brotes-antesis, antesis-fructificación) en diferentes especies de pitahaya y obtener los Kc correspondientes.
- Realizar evaluaciones de calidad en frutos, con respecto a diferentes niveles de humedad y factores de manejo (poda, nutrición).
- En el proceso de selección de esquejes, considerar que estos provengan de plantas madre de años similares, con cierta madurez y no sean jóvenes, para evitar el efecto en experimentos con factores controlados.
- Proponer metodologías para medir parámetros de crecimiento como área foliar en este tipo de cultivos.
- Promover investigación sobre nutrición y deficiencias nutrimentales en el cultivo, ya que existe pocos trabajos al respecto.

## LITERATURA CITADA

- Aguilar, B. G., y Peña, V. C.B. 2006. Alteraciones fisiológicas provocadas por sequía en nopal (*Opuntia ficus-indica*). México. Revista Fitotecnia Mexicana 29 (3), 231-237. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/610/61029307.pdf>
- Ahmad, H., A.S. Mirana, S. Mahbuba, S.M. Tareq and A.F.M. Jamal U. 2016. Performance of IBA concentrations for rooting of dragon fruit (*Hylocereus undatus*) stem cuttings. International Journal of Business, Social and Scientific Research 4(4): 231-234.
- Allen, G., Pereira, R., Raes, L.S., y Dirk, S. 2006. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO 56 (pp.352). Roma, Italia. Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y Agricultura. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf>.
- Andrade, J.L.; Rengifo, M. F. E.; Ricalde, Simá J.L.; Cervera J. C. y Vargas S. G. 2006. Microambientes de luz, crecimiento y fotosíntesis de la pitahaya (*Hylocereus undatus*) en un agrosistema de Yucatán, México. Agrociencia 40 (6): 687-697. Recuperado de <http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2006/nov-dic/art-1.pdf>.
- Andrade R.A.; Oliveira I.V.M.; M.T., H. Silva, y Martins A., B.G. 2008. Germinação de pitaya em diferentes substratos. Revista Caatinga 21 (1):71-75.
- Amato, M. R., Monteiro da C., M. do C., Ramalho, F. D., De Barros e S., E. y De Oliveira, J. 2016. Nutrient accumulation at the initial growth of pitaya plants according to phosphorus fertilization. Pesquisa Agropecuária Tropical 46 (3): 230-237. DOI: 10.1590/1983-40632016v4640813
- Ankli A.; Sticher, O. and Rich, M. H. 1999. Yucatec Maya medicinal plants versus nonmedicinal plants: indigenous characterization and selection. Human Ecology 27: 557-580.
- Arévalo, G., M.L. y Ortiz H., Y. D. 2004. Comportamiento postcosecha del fruto de la pitahaya (*Hylocereus undatus*). Cactáceas y Suculentas Mexicanas 49: 85-90.
- Ayala A., A.A.; Serna C., L. y Giraldo C., J. 2009. Efecto de la agitación sobre la deshidratación osmótica de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* S.) empleando soluciones de sacarosa. Interciencia 34 (7):492-496.
- Balaguera, L. H.E., Morales, E. I., Almanza, M. P. J. y Balaguera, W. A. 2010. El tamaño del cladodio y los niveles de auxina influyen en la propagación asexual de pitaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.). Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas 4(1): 33-42. DOI: 10.17584/rcch.2010v4i1.1222

- Balandres, M.A., and Bengoa, J.C. 2019. Diseases of dragon fruit (*Hylocereus* species): Etiology and current management options). *Crop Protection* 126: 1-6 pp. DOI: 10.1016/j.cropro.2019.104920
- Balois M., R.; Peña V., C.B. y Arroyo P., V.B.2013. Síntomas y sensibilidad al daño por frío de frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose) durante la postcosecha. *Agrociencia* 47: 795-813.
- Bárcenas A., P. 2002. Determinación de zonas potenciales para el establecimiento de plantaciones de pitahaya (*Hylocereus spp.*). Doctorado en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillos, México. 111 pp.
- Bárcenas A., P.; Tijerina Ch., L.; Olivera F., T. de J. y Larqueé S., A. 2002. Características agronómicas de la Pitahaya (*Hylocereus spp.*). Universidad Autónoma Metropolitana. México, D.F. 40 pp.
- Bárcenas, A. P., y Jiménez, C. V. 2010. Pitayas y pitahayas (*Stenocereus spp.* e *Hylocereus spp.*), recursos agrícolas en el Valle de Tehuacán. México. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente* 10(19), 101-119. Recuperado de [https://pdfs.semanticscholar.org/a222/b888d89864acb3d42fd9cc5f60d66e8e3bae.pdf?\\_ga=2.221204187.230270462.1579581020-283658808.1579581020](https://pdfs.semanticscholar.org/a222/b888d89864acb3d42fd9cc5f60d66e8e3bae.pdf?_ga=2.221204187.230270462.1579581020-283658808.1579581020)
- Bárcenas A., P.; Tijerina Ch., L.; Olivera F., T. de J. y Larqueé S., A. 2002. Características agronómicas de la Pitahaya (*Hylocereus spp.*). Universidad Autónoma Metropolitana. México, D.F. 40 pp.
- Bárcenas, A.P., Tijerina, Ch. L., Martínez, G. A., Becerril, R. A.E., Larqué, S. A. y León, M.T.C.2002. Respuesta de tres materiales del género *Hylocereus* a la salinidad sulfático-clorhídrica. *Terra*. 20(2):123-127. DOI: 10.1300/J492v07n03\_08
- Bárcenas A., P. y Jiménez C., V. 2010. Pitayas y pitahayas (*Stenocereus spp.* e *Hylocereus spp.*), recursos agrícolas en el Valle de Tehuacán Puebla. *Sociedades rurales, producción y medio ambiente* 10(19):101-120.
- Bastos, D. C., Pio, R., Scarpore F. J.A., Neubern, L. M., Paes de A., L. F., Días, G. T. P., y Talitha, B. S. 2006. Propagação da Pitaya Vermelha Por Estaquia. *Ciência e Agrotecnologia* 30(6):1106-1109. DOI: 10.1590/S1413-70542006000600009
- Ben- Asher, J., Mizrahi, Y., and Nobel, P. 2009. Transpiration, Stem Conductance and CO<sub>2</sub> Exchange of *Hylocereus undatus* (A. Pitahaya). Bélgica. *Acta Horticulturae* 811(811), 375-382. DOI: 10.17660/ActaHortic.2009.811.51.

- Benedetto Di, A., y Tognetti, J. 2016. Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. Argentina. Revista de Investigaciones Agropecuarias 42(3), 258-282. Recuperado de <http://ri.agro.uba.ar/files/download/articulo/2016dibenedetto.pdf>.
- Bernardo, A.E. I., De Medeiros, C. M. C., Araujo, C. L., Arcanjo de A., N., and Do Vale, S. J.C. 2014. Nitrogênio E Potássio No Crescimento De Mudas De Pitaia [*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton. Revista Brasileira de Fruticultura 36(4): 1018-1027. DOI: 10.1590/0100-2945-296/13.
- Bernardo, C., Almeida, E. I., M. C. de M. Corrêa, J. P. Cajazeira, R. F. Queiroz, M. M. A. Barroso y V. B. Marques. 2016. Cultivo de *Hylocereus* sp. com enfoque na propagação vegetativa, sombreamento e adubação mineral. Revista Agro@Mambiente On-Line 10(1): 65. DOI: 10.18227/1982-8470ragro.v10i1.2823
- Bonet, P. C., Acea, L. I., Brown, M. O., Hernández, V. M., y Duarte, D. C. 2010. Coeficientes de cultivo para la programación del riego de la piña. Cuba. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias 19(3), 23-27. Recuperado de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S207100542010000300005](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S207100542010000300005)
- Bronson, D. R., N. B. English, D. L. Dettman and D. G. Williams. 2011. Seasonal photosynthetic gas exchange and water-use efficiency in a constitutive CAM plant, the giant saguaro cactus (*Carnegiea gigantea*). Oecologia, 167(3): 861–871. DOI: 10.1007/s00442-011-2021-1
- Cajazeira, J.P., Medeiros, C. M.C., Bernardo, A. E.I., Fernandes, Q. R., and Oliveira, M., R. 2018. Growth and gas Exchange in white pitaya under different concentrations of potassium and calcium. Revista Ciência Agronômica 49(1):112-121. DOI: 10.5935/1806-6690.20180013
- Cálix de D., H.R.; Castillo M., A.; Rodríguez C. y Castañeda R. 2005. El cultivo de la pitahaya en el trópico. Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco. Gobierno del estado de Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México. pp 110.
- Cálix de D., H., R. Castillo M., e H. J. Caamal C. 2014. Caracterización de la producción de pitahaya (*Hylocereus* spp.) en la zona maya de Quintana Roo, México. Agroecología 9(1): 123-132.
- Canales, M.; Hernández, T.; Caballero J.; Romo de Vivar, A.; Ávila G., Duran, A. and Lira, R. 2005. Informant consensus factor and antibacterial activity of the medicinal plants used by the people of San Rafael Coxcatlán, Puebla, Mexico. Journal of Ethnopharmacology 97(3): 429–439. DOI: 10.1016/j.jep.2004.11.013

- Castillo, M. R. 2006. Aprovechamiento de la pitahaya, bondades y problemáticas. México Caos Conciencia 1, 13-18. Recuperado de [http://dci.uqroo.mx/RevistaCaos/2006\\_Vol\\_1/Num\\_1/RCvol\\_I\\_17-24\\_2006.pdf](http://dci.uqroo.mx/RevistaCaos/2006_Vol_1/Num_1/RCvol_I_17-24_2006.pdf).
- Castillo, M.R. y Ortiz, H. Y. D. 1994. Floración y fructificación de pitajaya en Zaachila, Oaxaca. Revista Fitotecnia Mexicana 17: 12–19.
- Castillo, M. R. y H. Cáliz De Dios. 1995. Primer curso teórico- práctico sobre el cultivo de Pitahaya. Memorias Curso. Universidad de Quintana Roo, México. 119 pp.
- Castillo M., R., H. Cáliz de D., y A. Rodríguez C. 1996. Guía técnica para el cultivo de la pitahaya. Universidad de Quintana Roo. México. pp. 41-46.
- Castillo, M., R., R. Ebel, H. Cáliz de Dios, J. Ferral P., R. Nava P. 2016. Guía para la producción sostenible de pitahaya en la península de Yucatán. Universidad de Quintana Roo (UAQ)- Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM). 42 pp.
- Castillo, M. R., Livera, M. M. y Márquez, G. G.J. 2005. Caracterización morfológica y compatibilidad sexual de cinco genotipos de pitahaya (*Hylocereus undatus*). Agrociencia 39(2): 183-194.
- Castillo, M., R. 2006. Aprovechamiento de la pitahaya: bondades y problemática. Caos conciencia 1:13-18.
- Cavalcante, L. I.H., Beckmann, M.Z., Geraldo, M. A.B., Galbiatti, J.A., and Ferreira, C. L. 2007. Water salinity and initial development of pitaya (*Hylocereus undatus*). International Journal of Fruit Science 7(3): 81-92. DOI: 10.1300/J492v07n03\_08.
- Cavalcante, L. I. H., Geraldo, M. A. B., Da Silva J., G. B., Fonseca Da R.L., Falcão, N. R., y Ferreira, C. L. 2011. Adubação orgânica e intensidade luminosa no crescimento e desenvolvimento inicial da pitaya em bom Jesus-Pi. Revista Brasileira de Fruticultura 33(3), 970-982. DOI: 10.1590/S0100-29452011005000086.
- Castillo, M. R., Livera, M.M. and Márquez, G. J, 2005. Morphological characterization and sexual compatibility of five pitahayas (*Hylocereus undatus*) genotypes. Agrociencia 39(2): 183-194.
- Centurión Y., A., S. Solís P., E. Mercado S., R. Báez S., C. Saucedo V., E. Sauri D. 1999. Variación de las principales características de la pitahaya (*Hylocereus undatus*) durante su maduración postcosecha. Horticultura Mexicana 7:419-425.
- Centurión Y., A.R.; Solís P., S.; Saucedo V., C.; Báez S., R. y Sauri D., E. 2008. Cambios físicos, químicos y sensoriales en frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) durante su desarrollo. Revista Fitotecnia Mexicana 31(1): 1-5.

- Chakma, S.P., Harunor, A.S.M., Roy, S. and Islam, M. 2014. Effect of NPK doses on the yield of dragon fruit (*Hylocereus costaricensis* [F.A.C. Weber] Britton & Rose) in chittagong hill tracts. *American-Eurasian Journal of Agricultural&Environmental Sciences* 14(6): 521–526. DOI: 10.5829/idosi.ajeaes.2014.14.06.12346
- Charoensiri, R., Kongkachuichai, R., Suknicom, and S., Sungpuag, P. 2009. Beta-carotene, lycopene, and alpha-tocopherol contents of selected Thai fruits. *Food Chemistry* 113(1): 202–207. DOI: 10.1016/j.foodchem.2008.07.074
- Chemah, T.C.; Aminah, A.; Noriham A. and Wan- Aida, W.M. 2010. Determination of pitaya seeds as a natural antioxidant and source of essential fatty acids. *International Food Research Journal* 17(4): 1003-1010.
- Chen, Y.C., and Lin, Y.Y. 2016. Research on preventing sunburn damages on the cladodes of pitaya by shadings treatments. *Research Bull Taitung District Agriculture Improve Station* 26:41-58. DOI:10.6959/RBTDAIS.
- Chien, Ch. Y., and Chang, J.Ch. 2019. Net Houses Effects on Microclimate, Production, and Plant Protection of White- fleshed Pitaya. *HortScience* 54(4), 692-700. DOI. 10.21273/HORTSCI13850-18.
- Choo Ch., J.; Koh R. and Ling A. P. 2016. Medicinal properties of pitaya: a review. *Spatula DD* 6(1):69-76. DOI: 10.5455/spatula.20160413015353
- Choo, W. S. and Yong W. K. 2011. Antioxidant properties of two species of *Hylocereus* fruits. *Advances in Applied Science Research* 2(3):418-425.
- Cerqueda, R. H. 2010. Propagación sexual y asexual de pitahaya. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro Interdisciplinario de Investigación y Desarrollo Integral Regional. Instituto Politécnico Nacional. Oaxaca, México. 62 pp.
- Contreras, M. S., S. De los Cobos S., R.A. Mora G., P. Lara V., M. A. Gutiérrez A. y E.A. Rincón G. 2020. Medición de cladodios de *Opuntia* spp. en fotografías en tercera dimensión. *Agrociencia* 54(2): 177-194.
- Córdoba, R. D., Vargas, H. J.J., López, U. J. y Muñoz, O. A. 2011. Crecimiento de la raíz en plantas jóvenes de *Pinus pinceana* Gordon en respuesta a la humedad del suelo. *Agrociencia* 45(4): 493-506. Recuperado de: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952011000400008](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952011000400008)

- Correa, M.C. de M., Bernardo, A. E. I., Braga M. V., Do Vale, S. J.C., e Freire de A., B. 2014. Crescimento Inicial De Pitaia Em Função De Combinações De Doses De Fósforo-Zinco. *Revista Brasileira de Fruticultura* 36(1): 261-270. DOI: 10.1590/0100-2945-297/13
- Costa, A.C., Ramos, J.D., Reis, S. F.O.D. y Duarte, M.H. 2014. Flora floração e frutificação em diferentes tipos de cladódios de pitaia-vermelha em Lavras-MG. *Revista Brasileira de Fruticultura Jaboticabal* 36(1): 279-284. DOI: 10.1590/0100-2945-304/13
- Crane, J. and Balerdi, C. 2005. The pitaya (*Hylocereus undatus*) and other spp.: Agricultural Sciences. University of Florida. Recuperado de <https://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/HS/HS30300.pdf>
- Da Silva C., A de C.; Cavallari L. de L.; Sabião R., R. y Martins G., A.B. 2015. Fenologia reproductiva da pitaya vermelha em Jaboticabal, SP. *Ciência Rural* 45(4): 585-590. DOI: 10.1590/0103-8478cr20120403.
- Dag, A. and Mizrahi, Y. 2005. Effect of pollination method on fruit set and fruit characteristics in the vine cactus *Selenicereus megalanthus* ("yellow pitaya"). *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 80(5): 618-622. DOI: 10.1080/14620316.2005.11511987.
- Damar, J. I.K. 2010. Morphology and physiology of pitaya and it future prospects in Indonesia. *Crop Agro* 3(1):44-50. Recuperado de <https://cropagro.unram.ac.id/index.php/caj/article/view/60>
- Del Alba, B. R. 2003. El cultivo de pitahaya y sus sistemas de producción. Folleto Técnico No. 10. SAGARPA. INIFAP. CIRSE. Campo Experimental Chetumal. Chetumal, Q. Roo, México. 40 p.
- Del Ángel P., A.L.; Hernández E., C.A.; Rebolledo M., A. y Zetina L., R. 2012. Pitahayas: patrimonio biocultural para diversificar la agricultura y la alimentación. Libro técnico No. 31. CIR- GOC-INIFAP. Veracruz, México. 183 pp.
- Díaz, S.E. 1977. Determinación de la evapotranspiración en trigo mediante riego por succión. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. ENA-Chapingo, México.
- Ebel, R.; Méndez A., M.J.; Brito E., E.E. y Cáliz de D., H. 2013. Arreglo óptimo del policultivo de chile habanero y pitahaya con manejo agroecológico. *Innovación para la vinculación* 3(2): 1-21. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/297032370\\_Arreglo\\_optimo\\_del\\_policultivo\\_chile\\_habanero\\_y\\_pitahaya\\_con\\_manejo\\_agroecologico](https://www.researchgate.net/publication/297032370_Arreglo_optimo_del_policultivo_chile_habanero_y_pitahaya_con_manejo_agroecologico).

- Elobeidy, A.A. 2006. Mass propagation of pitaya (dragon fruit). *Fruits* 61(5): 313-319. DOI: 10.1051/fruits:2006030
- Enríquez, E. L., Santamaría, C. E., y Castro, F. R. 2001. Generación, calibración y evaluación de modelos empíricos para estimar la evapotranspiración potencial en la Comarca Lagunera. *Revista Chapingo Seria Zonas Áridas*:114-118. Recuperado de [https://chapingo.mx/revistas/en/zonas\\_aridas/contenido.php?section=article&id\\_articulo=899&doi=0000](https://chapingo.mx/revistas/en/zonas_aridas/contenido.php?section=article&id_articulo=899&doi=0000).
- Escobar, B.A.; Gómez, G.Y.; Bautista, R.E. y Pérez, G.R.S. 2010. Evaluación de la actividad antimicrobiana de cactáceas mexicanas *Hylocereus sp.* y *Opuntia ficus*. Memorias del VII. Encuentro Nacional de Biotecnología del Instituto Politécnico Nacional. Sinaloa, México. 11-13 de octubre. 12 p.
- Esquivel, P. y Araya Q., Y. 2012. Características del fruto de la pitahaya (*Hylocereus sp.*) y su potencial de uso en la industria alimentaria. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos* 3(1):113-129. Recuperado de <http://oaji.net/articles/2017/4924-1495374112.pdf>
- Felker P. and Bunch R.A. 2009. Mineral Nutrition of Cactus for Forage and Fruits. *Acta Horticulturae* 811 (1): 389-394. DOI: 10.17660/ActaHortic.2009.811.53
- Feria, M.; Rojas, D.; Reyna, M.; Quiala E.; Solls J. and Zurita F. 2012. In vitro propagation of *Hylocereus purpusii* (Britton & Rose), a Mexican species in danger of extinction. *Biotecnología Vegetal* 12(2):77-83. Recuperado de: <https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/viewFile/154/132>
- Fernandes, D. R., Amato, M. R., Monteiro Da C., M. do C., Mendes, R. J., and De Oliveira, J. 2018. Improvement of production and fruit quality of pitayas with potassium fertilization. *Acta Scientiarum Agronomy* 40 (1): 1-9. DOI: 10.4025/actasciagron.v40i1.35290.
- Filho, T. P. F.S., Bernardo, A. E.I., Alcântara, B. M. M., Paulo, C. J., y De Medeiros, C. M.C. 2014. Comprimento de estacas e concentrações de ácido indolbutírico (AIB) na propagação vegetativa de pitaia, Brasil. *Revista Ciência Agronômica* 45(4), 788-793. Recuperado de <http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/3399>
- Flores M., L. 2011. Indicadores de rentabilidad en la producción de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en San Juan Ixcaquixtla, Puebla. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 138 pp.

- Franco, S. V.A. y J. A. Véliz. 2007. Respuesta de la tuna (*Opuntia ficus-indica* (L.) MILL) al NaCl. *Interciencia* 32(2): 125-130.
- Fumuro, M. 2016. Effects of light intensity, soil acidity and nitrogen concentration on the vegetative growth of pitaya seedlings. *Acta Horticulturae* 1140: 105-112. doi:10.17660/actahortic.2016.1140.21
- Galvão, E. C., J. Darlan R., L.A. Salles P., R. Reis L., F. O. dos Reis S. y J. M. de Sousa M. 2016. Substratos e ácido indol-3-butírico na produção de mudas de pitaya vermelha de polpa branca. *Revista Ceres* 63(6):860-867. DOI: 10.1590/0034-737x201663060016
- Gámez M., R. 2015. Polinización artificial de la pitaya. Conservación del polen. Trabajo fin de grado. Ingeniería Agrícola, Universidad de Almería.89 pp.
- Garbanzo, L. G., Chavarría, P. G. y Vega, V. E. V. 2019. Correlaciones alométricas en *Hylocereus costaricensis* y *H. monacanthus* (pitahaya): una herramienta para cuantificar el crecimiento', *Agronomía Mesoamericana* 30(2):425–436. DOI: 10.15517/am.v30i2.33574.
- García, M.C. 2003. Pitaya: cosecha y postcosecha. Bogotá: Corpoica-Pronatta. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 72 pp.
- García R., C.A. 1977. Efecto del riego por succión sobre la potencialidad del rendimiento de la fresa y eficiencia en el uso del agua. Tesis de Maestría en Ciencias. Programa de Riego y Drenaje. Montecillo. México.58 pp.
- García, M., C. Peña V., L. Trejo, S. Valle, J. Corrales y A. Sánchez U. 2007.Efecto del potencial hídrico del suelo en el potencial osmótico y membranas celulares. *Revista de la Facultad de Agronomía- Luz* 24(1): 305-311.
- García, A. M. de A., Terrazas, T. y Arias, S. 2009. Anatomía caulinar de tres especies del género *Hylocereus* (Berger) Britton & Rose (*Cactaceae*) en México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 32(3): 201-208. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-73802009000300007](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802009000300007)
- García R., L.A., O. Vargas P., F. de J. Ramírez M., G. Munguía L., C.A. Corona O., y T. Cruz H. 2015. Distribución geográfica de *Hylocereus* (*Cactaceae*) en México. *Botanical Sciences* 93(4): 921-939. DOI: 10.17129/botsci.282
- Geydan T., D. y L.M. Megarejo. 2005. Metabolismo Ácido de las Crasuláceas. *Acta Biológica Colombiana* 10(2): 3-16.

- Guimarães, S. C. M., Conceição, C. R., Souza, F. L. M, Novaes, D. F. W., y Orika, O E. 2010. Substratos e regulador vegetal no enraizamiento de estacas de pitaya. *Ciência Agronômica* 41(4): 625-629. Recuperado de <http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/733>
- Gunasena, H. P.M.; Pushpakumara D. K. N. G y Kariyawasam M. 2007. Dragon Fruit *Hylocereus undatus* (Haw.) Britton and Rose. *In: Pushpakumara D. K. N. G., Gunasena H. P. M. y Singh V. P. 2007. Underutilized fruit trees in Sri Lanka*, edit. World Agroforestry Center., New Delhi, India.110–142 pp.
- Harivaindaran, K.V.; O.P.S. Rebecca and Chandran S. 2008. Study of Optimal Temperature, pH and Stability of Dragon Fruti (*Hylocereus polyrhizus*) Peel for Use as Potential Natural Colorant. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 11(18): 2259-2263. DOI: 10.3923 / pjbs.2008.2259.2263
- Hernández, A. M., García B., W.J., Zavala R., W. E., Romero, S. L.F., Rojas, M. E., Rodríguez, C. A., Gutiérrez, Z. J., Bautista, R. D. N., y Reyes R. R. 2018. Pitahaya (*Hylocereus undatus*): Plan de Manejo Agroecológico para su cultivo en la Región de Halachó- Maxcanú, Yucatán. Universidad Autónoma Chapingo. 1ra Ed. Texcoco, Estado de México. 104 pp.
- Huachi, L., E. Yugsi, M.F. Paredes, D. Coronel, K. Verdugo y S. P. Coba 2015. Desarrollo de la pitahaya (*Cereus* sp.) en Ecuador. *LA GRANJA: Revista de Ciencias de la Vida* 22(2): 50-58. DOI: 10.17163/lgr.n22.2015.05
- Hultine, K.R., L.C. Majure, V.S. Nixon, S. Arias, A. Búrquez, B. Goettsch, R. Puente M. and A. Zavala H. 2016. The Role of Botanical Gardens in the Conservation of Cactaceae. *BioScience* 66(12): 1057-1065. DOI: 10.1093/biosci/biw128
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2002. Propagación y Mantenimiento de Cactáceas. Folleto técnico No. 21. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA)-Fundación Produce San Luís Potosí. San Luis Potosí, México. 37 pp.
- Jeronimo, M. C., Costa, O. J. V., and Garbi, N. M.R.C. 2017. Nutritional pharmacological and toxicological characteristic of pitaya (*Hylocereus undatus*): A review of the literature. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology* 11(27): 300-304. DOI: 10.5897 / AJPP2016.4582
- Jeong, S.J. 2007. Effect of stationary room temperature on graft-take and post-graft growth of grafted cactus Ruby Ball. *Horticulture Environment and Biotechnology* 48(6): 393-396.

- Jiang, Y.; Lin, T.; Lee C.; Yen C. and Yang W. 2011. Phenology, canopy composition, and fruit quality of yellow pitaya in tropical Taiwan. *HortScience* 46(11):1497–1502. DOI: 10.21273/HORTSCI.46.11.1497
- Jiang Y. L., Liao, Y. Y., Lin, T. S., Lee, Ch. L., Yen, Ch. R., and Yang W.J. 2012. The Photoperiod-regulated Bud Formation of Red pitaya (*Hylocereus* sp.) *HortScience* 47(8): 1063-1067. DOI: 10.21273/HORTSCI.47.8.1063
- Jordán, M. D., Vásconez, C.J.S. y Veliz Q. C. D. 2009. Producción y exportación de la pitahaya en el mercado europeo. Tesis de grado. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Economía y Negocios (FEN). Guayaquil, Ecuador. 25 pp.
- Jurado E., M.A., Y. Meza D. y K.M. López T. 2015. Coagulante de origen natural para la potabilización del agua. Universidad Mariana- Boletín informativo CEI 5(3): 70-72.
- Kamairudin, N., S.S. Abd G., H. R. Fard M. and P. Hashim. 2014. Optimization of natural lipstick formulation based on pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) seed oil using D-optimal mixture experimental design. *Molecules* 19(10): 16672–16683. DOI: 10.3390/molecules191016672
- Khaimov, A. and Mizrahi, Y. 2006. Effects of day length, radiation, flower thinning and growth regulators on flowering of the vine cacti *Hylocereus undatus* and *Selenicereus megalanthus*. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 81(3): 465–470. DOI: 10.1080/14620316.2006.11512089
- Khaimov, A.; Novák. O.; Strnad M. and Mizrahi Y. 2012. The role of endogenous cytokinins and environmental factors in flowering in the vine cactus *Hylocereus undatus*. *Israel Journal of Plant Sciences*, Jerusalém 60(3): 371-384.
- Kim, H.; Cho H., K; Moon J. Y.; Kim S. A. and Cho S.K. 2011. Comparative antioxidant and antiproliferative activities of red and white pitayas and their correlation with flavonoid and polyphenol content. *Journal of Food Science* 76(1):38-45. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2010.01908.x.
- Kishore, K. 2016. Phenological growth stages of dragon fruit (*Hylocereus undatus*) according to the extend BBCH-scale. *Scientia Horticulturae* 213(14) :294-302. DOI: 10.1016/j.scienta.2016.10.047
- Larqué, S.A. y Trejo, L. C. 1990. El agua en las plantas: manual de plantas de fisiología vegetal. Ed. Trillas, México. 88 pp.
- Le Bellec F.; Vaillant F. and Imbert E. 2006. Pitahaya (*Hylocereus* spp.): a new fruit crop, a market with a future. *Fruits*. 60(3):237-250. DOI: 10.1560/IJPS.60.1.371

- Le Bellec, F. and Vaillant F. 2011. Pitahaya(pitaya) (*Hylocereus* spp.) In: Yahia, E. M.(ed). Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits 4. Woodhead Publishing Ltd, Cambridge, pp. 247-273.
- Legaria, S.J.P.; C. M.E. Alvarado, H. R. Gaspar 2005. Diversidad genética en pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth. Britton y Rose). Revista Fitotecnia Mexicana 28(3): 179–185.
- Liaotrakoon, W., N. De Clercq, V. Van H. and K. Dewettinck. 2013. Dragon Fruit (*Hylocereus* spp.) Seed Oils: Their Characterization and Stability Under Storage Conditions. Journal of the American Oil Chemists’s Society 90(2): 207-215. DOI: 10.1007/s11746-012-2151-6.
- Litchenzweig, J., Abbo S., Nerd, A., Tel-Zur, N. and Mizrahi, Y. 2000. Cytology and mating systems in the climbing cacti *Hylocereus* and *Selenicereus*. American Journal of Botany 87(7): 1058-1065.
- Lim, H.K.; Tan C.P.; Karim, R.; Ariffin, A.A. and Bakar, J. 2010. Chemical composition and DSC thermal properties of two species of *Hylocereus* cacti seed oil: *Hylocereus undatus* and *Hylocereus polyrhizus*. Food Chemistry 119 (4): 1326-1331. DOI: 10.1016/j.foodchem.2009.09.002
- López, L., I. 2013. Evaluación hidráulica de cápsulas porosas para riego. Tesis de Maestría en Ciencias. Posgrado en Hidrociencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 75 pp.
- López T., O. y A. Guido M. 1998. Evaluación de dosis de nitrógeno y fósforo en el cultivo de pitahaya (*Hylocereus undatus*). Agronomía Mesoamericana 9(1): 66-71.
- López, C. C. J., A. Malpica V., J. López C., E. García P. y A. Sol S. 2013. Crecimiento de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. en la zona central del Veracruz. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 5:1005-1014.
- Lozano, L. 2011. Ecofisiología de la tuna (*Opuntia ficus- indica* (L.) Mill.). Horticultura Argentina 30(72): 37-52.
- Lum, M.S. and Norazira, M.A. 2011. Effects of hot water, submergence time and storage duration on quality of dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*). Journal of Agricultural Science 3(1):146-152. DOI: 10.5539/jas.v3n1p146
- Males, J., and Griffiths, H. 2017. Stomatal Biology of CAM plants. Plant Physiology 147(2):550-560. DOI: 10.1104/pp.17.00114.

- Manzanero A., L.A.; Isaac M. R.; Zamora C. P.; Rodríguez C., L. G.; Ortega Haas J.J. y Dzib C., B.B. 2014. Conservación de la pitahaya (*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose) en el estado de Campeche. *Foresta Veracruzana* 16(1): 9-16.
- Martínez, R. E.R. 2014. Fenología y desarrollo de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haw. Britt. & Rose) en la región central de Veracruz. Tesis de Maestría. Recursos Genéticos y Productividad Fruticultura. Colegio de Postgraduados, Montecillos, México. 101 pp.
- Martínez, M. D. y J. Reyes M. 2017. Variables ambientales en la síntesis de ácidos orgánicos en plantas MAC. *Elementos* 108: 41-46.
- Martínez, R. E.R., Tijerina, Ch. L., Becerril, R. A.E., Rebolledo, M. A., Velasco, C.C., Del Ángel, P. A.L. 2017. Fenología y constante térmica de la pitahaya (*Hylocereus undatus* Haw. Britt. & Rose). *Agroproductividad* 10(9): 3-8.
- Medina, S., J.A. 2015. Documentar las relaciones hídricas y requerimientos nutricionales de la pitaya amarilla *Selenicereus megalanthus* (K Schum. Ex Vaupel) Moran, durante distintas etapas fenológicas del cultivo en tres localidades del Valle del Cauca. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia 125 pp.
- Medrano, H., J. Bota, J. Cifre, J. Flexas, M. Ribas-Carbo y Javier Gulías. 2007. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones Geográficas* 4: 63-84. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17604304>
- Méndez, H. C. y Coello, T. A. 2016. El cultivo de pitaya. Cabildo de Tenerife. Tenerife, España. 92 pp.
- Menezes, P. T., Ramos, D.J., Lima, O. L.C., Costa, A.C., Mirela, R. N., R. de C. y Moraes, R. J.C. 2015. Características físicas e físico-químicas de pitaia vermelha durante a matura ção. *Semina: Ciências Agrárias* 36(2):631-643. DOI: 10.5433/1679-0359.2015v36n2p631
- Meráz A., M. del R., M. A., Gómez C., y R. Schwentesius R. 2003. Pitahaya de México- Producción y comercialización en el contexto internacional. *In: Flores V., C. A.* 2003. Pitayas y Pitahayas. CIESTAAM. Universidad Autónoma Chapingo, 175 pp.
- Mercado S., E.M. 2018. Pitaya- *Hylocereus undatus* (Haw). *In: Rodrigues, S., E. de O. Silva y E. Sousa de B.* Exotic Fruits. Academic Press. Brasil. p. 339-349.
- Merten, S. 2003. A review of *Hylocereus* production in the United States. *Journal de Professional Association for Cactus Development* 5: 98-105.

- Metz, Ch., Nerd, A. and Mizrahi, Y. 2000. Viability of Pollen of Two Fruit Crop Cacti of the Genus *Hylocereus* Is affected by Temperature and Duration of Storage. HortScience 35(2): 199-201. DOI: 10.21273/HORTSCI.35.2.199
- Mizrahi, Y., A. Nerd and P. S. Nobel. 1997. Cacti as crops. Horticultural Review 18: 291-320. DOI:10.1002/9780470650608.ch6
- Mizrahi, Y. and Nerd., A. 1999. Climbing and columnar cacti: New arid land fruit crops. *In: Perspectives on New Crops and New Uses*. American Society of Horticultural Science, Alexandria, Virginia, 358-366.
- Mizrahi, Y. 2014. Vine- Cacti Pitayas- The New Crops of the World. Revista Brasileira de Fruticultura 36(1):124-138. DOI: 10.1590/0100-2945-452/13
- Mizrahi, Y., Raveh, E., Yossov, E., Nerd, A. and Ben, A. J. 2007. New Fruit Crops With Water Use Efficiency. ASHS Press June: 216-222. Recuperado de <https://hort.purdue.edu/newcrop/ncnu07/pdfs/mizrahi216-222.pdf>
- Mohamed, I. S. R. 2017. Genus *Hylocereus*: Beneficial phytochemicals, nutritional importance, and biological relevance -A review. Journal of Food Biochemistry: 1-29. DOI: 10.1111/jfbc.12491.
- Montesinos C., J.A.; Rodríguez L. L.; P. R. Ortiz; M. de A., F.F., G. Ruíz H., y F. Guevara H. 2015. Pitahaya (*Hylocereus spp.*) un recurso fitogenético con historia y futuro para el trópico seco mexicano. Cultivo Tropicales 36(1):67-76.
- Muchjajib, S. y U. Muchjajib.2012. Application of Fertilizer for Pitaya (*Hylocereus undatus*) under Clay Soil Condition. Acta Horticulturae 928: 151-154. DOI: 10.17660/ActaHortic.2012.928.17
- Nazareno M.A. y Padrón P., C.A. 2011. Nuevas tecnologías desarrolladas para el aprovechamiento de las cactáceas en la elaboración de alimentos. Componentes funcionales y propiedades antioxidantes. Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos 2(1): 202-238.
- Nerd, A., Sitrit, Y., Kaushik, A.R., and Mizrahi, Y. 2002. High summer temperatures inhibit flowering in vine pitaya crops (*Hylocereus spp.*). Scientia Horticulturae 96(1-4):343-350. DOI: 10.1016/S0304-4238(02)00093-6
- Nerd, A. and Neumman, P. M. 2004. Phloem water transport maintains stem growth in a drought-stressed crop cactus (*Hylocereus undatus*). United States. Journal of the American Society Horticultural Science 129 (4): 486-490. DOI: 10.21273/JASHS.129.4.0486.

- Nobel, P.S. 1998. Los incomparables agaves y cactus (1<sup>ra</sup> edición). México D.F. Ed. Trillas. pp. 201
- Nobel P. S. 2006. Parenchyma–chlorenchyma water movement during drought for the hemiepiphytic cactus *Hylocereus undatus*. *Annals of Botany* 97(3): 469 – 474. DOI: 10.1093/aob/mcj054
- Nobel, P.S. 2011. Sabiduría del desierto, agaves y cactus: CO<sub>2</sub>, agua y cambio climático. Mundi-Prensa. Colegio de Postgraduados. México, D.F. 161 pp.
- Nobel, P.S., and De la Barrera, E. 2002. Stem water relations and net CO<sub>2</sub> uptake for a hemiepiphytic cactus during short-term drought. United States. *Environmental and Experimental Botany* 48, 129-137. DOI: [10.1016/S0098-8472\(02\)00016-3](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(02)00016-3).
- Nobel, P.S. and E. De la Barrera. 2003. Tolerances and acclimation to low and high temperatures for cladodes, fruits and roots of widely cultivated cactus, *Opuntia ficus indica* *New Phytologist* 157:271-279. DOI: 10.1046/j.1469-8137.2003.00675.x
- Nobel, P.S. and De la Barrera, E. 2004. CO<sub>2</sub> uptake by the cultivated hemiepiphytic cactus, *Hylocereus undatus*. *Annals of Applied Biology* 144(1): 1-8. DOI: 10.1111/j.1744-7348.2004.tb00310.x
- Nobel, P.S., E. Pimienta B., J. Zañudo H. and B.C. Ramírez H. 2002. Historical aspects and net CO<sub>2</sub> uptake for cultivated Crassulacean acid metabolism plants in Mexico. *Annals of Applied Biology* 140:133-142. DOI: 10.1111/j.1744-7348.2002.tb00165.x
- Nurmahani, M.M., Osman, A., Abdul, A. A., Mohamad, G. F. and Pak, D. M.S. 2012. Antibacterial property of *Hylocereus polyrhizus* and *Hylocereus undatus* peel extract. *International Food Research Journal* 19(1): 77-84.
- Odegard, I. Y.R. And E. Van der Voet. 2013. The future of food, -Scenarios and the effect on natural resource use in agriculture in 2050. *Ecological Economics* 97:51-59. DOI: [10.1016/j.ecolecon.2013.10.005](https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.10.005).
- Olguín, P.C. 1976. Observaciones sobre el efecto de riego por succión en el rendimiento de maíz (Variedad H-507), en el Distrito de Riego No.41, Río Yaqui, Sonora. ENA, Chapingo, México.
- Olguín, P. C. 2015. Suction irrigation; description of the method and advances in investigation. Colegio de Postgraduados. Veracruz, México. 11 pp.

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2002. El agua y la agricultura. [En línea]. Disponible en <http://www.fao.org/WorldFoodSummit/sideevents/papers/Y6899S.htm>.
- Orona, C. I., Flores, H.A., Rivera, G.M., Guillermo, M. J., and Espinoza, A. J. de J. 2003. Productividad del agua en el cultivo de nopal con riego por goteo en la Comarca Lagunera. México. *Terra Latinoamericana* 21(2), 195-201. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/573/57315595006.pdf>
- Ortiz, H. Y.D. 2000. Hacia el conocimiento y conservación de la pitahaya (*Hylocereus spp.*). IPN-SIBE-CONACYT-FMCN, Oaxaca, México. 113 pp.
- Ortiz, H., Y.D., M. Livera M., MT. Colinas León, y JA. Carrillo S. 1999. Estrés hídrico e intercambio de CO<sub>2</sub> de la pitahaya (*Hylocereus undatus*). *Agrociencia* 33(4):397-405.
- Ortiz, H., Y.D., y J.A., Carrillo S. 2012. Pitahaya (*Hylocereus spp.*): a short review. *Comunicata Scientiae* 3(4): 220-237. DOI: 10.14295/cs.v3i4.334.
- Ortiz H., Y., J.A. Carrillo S., y M. Livera M. 2012. Carbon Exchange rate of pitahaya (*Hylocereus undatus* L. Harwort) in contrasting season and irrigation regimes. *Israel Journal of Plant Sciences* 60(3):385-392. DOI: [10.1560/IJPS.60.3.385](https://doi.org/10.1560/IJPS.60.3.385).
- Ortiz, H. Y., Livera, M. M., Carrillo, S. J.A., Valencia, B. A.J., and Castillo, M. R. 2012. Agronomical, physiological, and cultural contributions of pitahaya (*Hylocereus spp.*) in México. *Israel Journal of Plant Sciences* 60(3): 350-370. DOI: 10.1560/IJPS.60.3.359
- Ortiz, T.A.; Moritz A. and Assari, L. S. 2015. Physiological maturity of pitahaya (*Hylocereus undatus*) seeds and its correlation whit fruit equatorial diameter. *Australian Journal of Crop Science* 9(12): 1197-1204.
- Ortiz, T.A. and Takahashi, L.S.A., 2015. Physical and chemical characteristics of pitaya fruits at physiological maturity. *Genetics and Molecular Research* 14(4): 14422–14439. DOI:: 10.4238/2015.November.18.5
- Ortiz, H.Y.D., Carrillo, S.J.A. y Livera, M. M. 2012. Carbon Exchange rate of pitahaya (*Hylocereus undatus* L. Harwort) in contrasting seasons and irrigation regimes). *Israel Journal of Plant Sciences* 60(3): 385-392. DOI: 10.1560/IJPS.60.3.385
- Osuna, E.T., Ibarra, Z. Ma. E., Muy, R. Ma. D., Valdez, T. J.B., Villareal, R. M. y Hernández, V. S. 2011. Calidad postcosecha de frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haw.) cosechados en tres estados de madurez. *Revista Fitotecnia Mexicana* 34(1): 63-72. Recuperado de

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-73802011000100010](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802011000100010)

- Osuna E., T.; Valdez T., J.B.; Sañudo B., J.A.; Muy R., Ma.D.; Hernández V., S.; Villareal R., M. y Osuna R., J.M. 2016. Fenología reproductiva, rendimiento y calidad de fruto de pitahaya (*Hylocereus undatus* (How) Britton and Rose) en el Valle de Culiacán, Sinaloa, México. *Agrociencia* 50(1): 61-78. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952016000100061](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952016000100061)
- Padrón, P. C.A. 2012. Innovaciones en el agordesarrollo de las cactáceas. *Revista Venezolanda de Ciencia y Tecnología de Alimentos* 3(1): 38-79.
- Peña, C. M.S., y Vargas, R. P. 2018. Tecnología del riego por succión para la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum*) en condiciones controladas. Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 27(2), 1-9. Recuperado de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2071-00542018000200006](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542018000200006)
- Perea E., H. 1993. Metodología de diseño y construcción de un sistema de riego a baja presión con cápsulas porosas. Tesis de Maestría en Ciencias. Posgrado en Hidrociencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 80 pp.
- Perea D. M.; Tirado, Y. A.; Micán G., G. Fischer y Rodríguez R. J. 2010. *Cactaceae: Hylocereus triangularis* – Pitahaya. *In: Biotecnología aplicada al mejoramiento de los cultivos tropicales*. Perea D., M.; Matallana R. L.P. y Tirado P. A. (eds). 2010. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 105-135 pp.
- Phuoc, M. N., Thuong, N. N.P., Thi, T. D., Kim, T.L., Quoc, K. L. and Ngoc, T., L. 2019. Different Aspects Affecting to Production of Dragon Fruit (*Hylocereus Undatus*) Nectar. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research* 11(3): 1040-1043.
- Pimienta, B. E., J. Zañudo H., V.C. Rosas E., A. Valenzuela T. and P. S. Nobel. 2005. Young daughter cladodes affect CO<sub>2</sub> uptake by mother cladodes of *Opuntia ficus-indica*. *Annals of Botany* 95: 363-369. DOI: 10.1093/aob/mci034
- Pimienta, B. E., I. Castillo C., J. Zañudo H., L. Méndez M. and P.S. Nobel. 2007. Effects of shade, drought and daughter cladodes on the CO<sub>2</sub> uptake by cladodes of *Opuntia ficus-indica*. *Annals of Applied Biology* 151(2): 137-144. DOI:10.1111/j.1744-7348.2007.00160.x
- Rana, M., Rahim, A., Jubayer, F., y Saqib, N. 2014. Manuring and irrigation effect on growth, flowering, and fruiting of dragon fruit (*Hylocereus undatus* haw) in Bangladesh. *Virtu and Foi*. 1(6): 28–32.

- Rahad, MAB K., M.A. Islam, M.A. Rahim and S. Monira. 2016. Effects of rooting media and varieties on rooting performance of dragon fruit cuttings (*Hylocereus undatus* Haw.). Research in Agriculture, Livestock and Fisheries 3(1): 67-77. DOI: 10.1016/j.iccn.2011.12.001
- Ranjan, P.; Ranjan, J.K.; Misra, R.L.; Dutta, M. and Singh, B. 2016. Cacti: notes on their uses and potential for climate change mitigation. Netherlands. Genetic Resources and Crop Evolution 63(5):901-917. DOI: 10.1007/s10722-016-0394-z
- Ricalde, M.F. y J.L. Andrade.2009. La pitahaya una delicia tropical. Ciencia-Comunicaciones libres, julio-septiembre: 36-43. Recuperado de [https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/60\\_3/PDF/05-488-La-pitahaya.pdf](https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/60_3/PDF/05-488-La-pitahaya.pdf).
- Ríos F., J.L., M. Torres M., J. Ruíz T. y M.A. Torres M. 2016. Eficiencia y productividad del agua de riego en trigo (*Triticum vulgare*) de Ensenada y Valle de Mexicali), Baja California, México. Acta Universitaria. 26(1): 20-29. DOI: 10.15174/au.2016.825.
- Rodríguez C., A. 1997. Guía técnica para la producción de plantas de pitahaya en viveros. Folleto técnico. Universidad Autónoma Chapingo. Yucatán, México. 69 pp.
- Sabino, L. J.E. 2010. Relación de las prácticas de manejo con la floración de la pitahaya (*Hylocereus undatus*). Tesis Maestría en Ciencias. Instituto Politécnico Nacional, Oaxaca, México. 66 pp.
- Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2008. El cultivo de la pitahaya. Ficha técnica. Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO), Puebla. 12 pp.
- Shafad, M.R., I.S. Ahamad, A. Idris and Z. Abidin. 2013. A preliminary study on Dragon Fruit Foliage as Natural Coagulant for Water Treatment. International Journal of Engineering & Technology (IJERT) 2(12): 1057-1063.
- Shetty, A. A., M. K. Rana, and S. P. Preetham. 2012. Cactus: A medicinal food. Journal of Food Science and Technology 49(5): 530–536.
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2018. Agricultura. Producción anual de pitahaya. Cierre de la producción agrícola por cultivo. México, D.F. Recuperado de <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.
- Silva, T. H. M., Antonio, B. G., Aparecida de A., R. 2006.Enraizamento de estacas de pitaya vermelha em diferentes substratos. Revista Caatinga 19(1): 61-64.

- Silva, H., Sagardia, S., Ortiz, M., Franck, N., Opazo, M., Quiroz, M., and Tapia, C. 2014. Relationships between leaf anatomy, morphology, and water use efficiency in *Aloe vera* (L) Burm f. as a function of water availability. *Revista Chilena de Historia Natural* 87(13): 1–10. DOI: 10.1186/S40693-014-0013-3
- Snyman, H.A. 2006. A greenhouse study on root dynamics of cactus pears, *Opuntia ficus-indica* and *O. robusta*. *Journal of Arid Environments* 65(4):529-542. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2005.10.004
- Snyman, H. A. 2013. Growth Rate and Water-Use Efficiency of Cactus Pears *Opuntia ficus-indica* and *O. robusta*. *Arid Land Research and Management* 27(4): 337–348. DOI: 10.1080/15324982.2013.771232
- Solís, M. B. 2014. Polinización y amarre de fruto de pitahaya solferina (*Hylocereus sp.*) en la Mixteca Poblana. Tesis de maestría. Recursos Genéticos y Productividad Fruticultura. Colegio de Postgraduados, Montecillos, México. 169 pp.
- Sotelo, R.D.E., Ortiz, T. C. y Rizo A., M.I. 2005. Áreas potenciales para el cultivo de Pitahaya (*Hylocereus undatus* (haw.) Britt. & rose) en el sur del estado de México. Nota técnica. *Revista Ciencia Forestal en México*. Vol. 30- No. 98. pp 87-97.
- Sotomayor, A., Pitzaca, S., Sánchez, M., Burbano, A., Díaz, A., Nicolalde, J., Viera, W., Caicedo, C. y Vargas, Y. 2019. Evaluación físico-química de fruta de pitahaya (*Selenicereus megalanthus*) en diferentes estados de desarrollo. *Enfoque UTE* 10(1): 89-96. DOI: 10.29019/enfoqueute. v10n1.386
- Tel-Zur N.; Mizrahi Y.; Cisneros A.; Mouyal J.; Schneider B. and Doyle J.J. 2011. Phenotypic and genomic characterization of a vine cactus collection (*Cactaceae*). *Genetic Resources and Crop Evolution* 58:1075-1085.
- Tel-Zur. 2013. Pitahaya: Introduction, Agrotechniques, and Breeding. *Acta Horticulturae* 995(7): 109-116. DOI: 10.17660/ActaHortic.2013.995.13
- Tijerina Ch., L. 1988. Cultivo de frijol irrigado por el método de riego por succión. *Terra* 6: 117-130.
- To, L.V., Ngu, N., Duc, N.D. and Houg, H.T.T. 2002. Dragon fruit quality and storage life: Effect to harvest time, use of plant growth regulators and modified atmosphere packaging. *Acta Horticulturae* 575(575): 611-621. DOI: 10.17660/ActaHortic.2002.575.72
- Tran, H.D., Yen C.R., and Chen Y.K.H. 2015. Effect of pollination method and pollen source on fruit set and growth of red-peel pitaya (*Hylocereus spp.*) in Taiwan.

- Trujillo, R. C. 2015. Diseño y evaluación de nuevas cápsulas porosas con fines de riego. Tesis de Maestría en Ciencias. Posgrado en Hidrociencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 92 pp.
- Valencia, B. A.J., Cruz, H. P. y Rodríguez, C. A. Avances de en la etiología y manejo de la pudrición blanda de tallos de pitahaya, *Hylocereus undatus* (Cactaceae). Fitosanidad (Cuba) 7(2):11-17.
- Valiente, B. A., Santos, G. R., Arizmendi, A. M.C. y Casas, A. 2007. Pollination biology of the hemiepiphytic cactus *Hylocereus undatus* in the Tehuacan Valley, México. Journal of Arid Environments. 68(1): 1-8. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2006.04.001
- Vargas, S. G., Y. D. Ortiz H. y G. E. Alcántar G. 2003. Propagación vegetativa de *Hylocereus undatus* y su relación con el AIB y sustrato. Cactáceas y Suculentas Mexicanas XLVII 48 (4): 111-117.
- Vargas R., P., M. Peña C., K. García V., D. Roble de la R., R. Álvarez A. 2010. Sistema de riego con emisores porosos para la producción de tomate con ahorro de agua y energía: propuesta de diseño: Ingeniería Hidráulica y Ambiental 31(1), 34-42. Recuperado de <http://riha.cujae.edu.cu/index.php/riha/article/view/59>
- Vázquez, W., Aguilar, K., Vilaplana, R., Viteri P., Viera, W. y Valencia Ch. S. 2016. Calidad del fruto y pérdidas poscosecha de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* Haw.) en Ecuador. Agronomía Colombiana 34(1): 1081-1083. DOI: 10.15446/agron.colomb.v34n1supl.58279
- Vázquez, S. M., Terrazas, T., y Arias, S. 2012. El hábito y forma de crecimiento en la tribu Cactea (Cactaceae, Cactoideae). Botanical Sciences 90(2): 97-108. DOI: 10.17129/botsci.477.
- Vázquez, V. C., R. Zuñiga T., I. Orona C., B. Murillo A., E. Salazar S., R. Vázquez A., J.L. García H. y E. Troyo D. 2007. Análisis del Crecimiento Radical en Cuatro Variedades de Nopal (*Opuntia ficus-indica*(L.) Mill). Journal of the Professional Association for Cactus Development 9: 82-90.
- Velázquez, J. Y. y C.A. Ortiz S. 2013. Propuesta metodológica para la zonificación de pitahaya (*Hylocereus* spp.) en Puebla. En: Sansón, R. L. XXII Congreso Mexicano y VII Congreso Internacional de Meteorología. Organización Mexicana de

Meteorólogos A.C. llevado a cabo en el municipio de Boca del Río, Veracruz, México. 4 -8 de noviembre, 2013.

- Villalobos, G. M.G.; Schweiggert, R. M.; Carle, R. and Esquivel, P. 2012. Chemical characterization of Central American pitaya (*Hylocereus* sp.) seeds and seed oil. *Journal of Food* 10(1): 78-83. DOI: 10.1080/19476337.2011.580063
- Wang, L., Zhang, X., Ma, Y., Qing, Y., Wang, H., and Huang, X. 2019. The highly drought-tolerant pitaya (*Hylocereus undatus*) is a non-facultative CAM plant under both well-watered and drought conditions. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 94(5), 643-652. DOI: [10.1080/14620316.2019.1595747](https://doi.org/10.1080/14620316.2019.1595747).
- Weiss, J., Nerd A., y Mizrahi Y. 1994. Flowering Behavior and Pollination Requirements in Climbing Cacti with Fruit Crop Potential. *HortScience* 29(12):1487-1492. DOI: 10.21273/HORTSCI.29.12.1487
- Wu, L. C.; Hsu, H.W.; Chen, Y.C.; Chiu, C. C.; Lin, Y.I. and Annie, Ho J. 2006. Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya. *Food Chemistry* 95(2): 319-327. DOI: 10.1016/j.foodchem.2005.01.002
- Yah, A.R.C.; Pereira S., S.; Veloz C., S.; Sañudo R., B. y Duch, E., S. 2008. Cambios físicos, químicos y sensoriales en frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) durante su desarrollo. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31(1):1-5.
- Zhang, Y., Lu, X., Huang, J., and Liu, Z. 2018. First report of a stunt nematode (*Tylenchorhynchus agri*) from pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) in Guangxi Province of China. *The American Phytopathological Society (APS)* 102 (12):2-8. DOI: 10.1094/PDIS-02-18-0343-PDN
- Zee, F.; Yen, C.; Nishina, M. 2004. Pitaya (Dragon Fruit, Strawberry Pear). College of Tropical Agriculture and Human Resources University of Hawaii at Manoa. 3 pp.
- Zúñiga, T. R., Cueto, W. J.A., Olivares, S.E. y Salazar, S.E. 2003. Crecimiento radical de nopal con diferentes dosis de nitrógeno en hidroponía. *Terra Latinoamericana* 21(1):41-45.

# **ANEXO 1. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE PITAHAYA BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO, CASO DE ESTUDIO: ESPAÑA- MÉXICO**

## **Resumen**

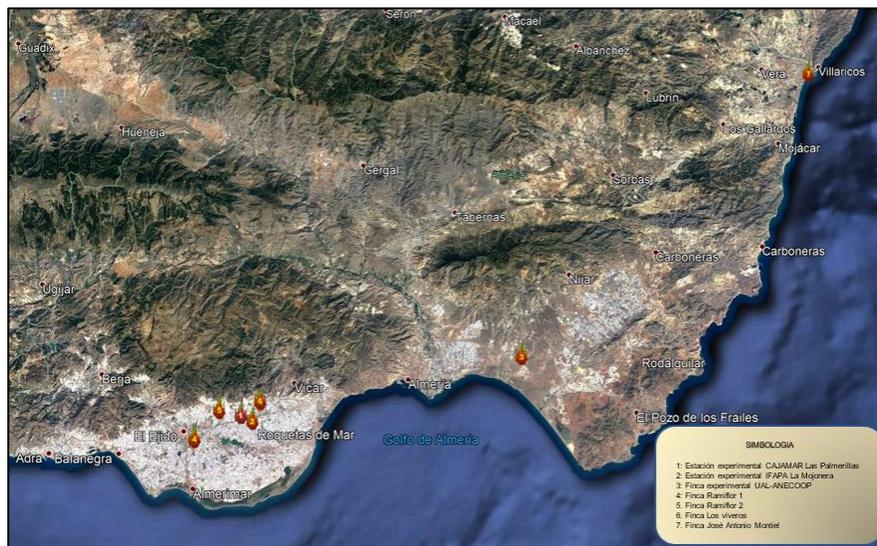
El presente trabajo contiene los resultados de la estancia de investigación realizada en Almería, España, en las instalaciones de la estación experimental CAJAMAR “Las Palmerillas”, gestionada a través de la Universidad de Almería (UAL), del 4 noviembre al 6 de diciembre de 2019. Los objetivos de la estancia fueron: Caracterizar el sistema de producción de pitahaya bajo condiciones de invernadero en Almería, España y realizar un análisis comparativo para México. Por otra parte, identificar los factores de manejo que afectan los sistemas de producción de pitahaya bajo condiciones de invernadero, una evaluación del sistema de riego y fertilización del cultivo.

La estancia realizada permitió establecer vínculos de colaboración para investigaciones más extensas y profundas, en un cultivo de mutuo interés para los dos países. Asimismo, se logró caracterizar los sistemas de producción de pitahaya en Almería, España con base a los recorridos de campo realizados a diferentes fincas productoras y se realizaron pruebas de calidad de algunas variedades de la zona. De la misma manera, se identificaron factores de manejo y uso del agua en los sistemas de producción, así como los principales retos y oportunidades que presenta este tipo de cultivo.

# 1. Producción en Almería

## 1.1. Situación actual del cultivo

El cultivo de pitahaya en España, se restringe a zonas del sureste de la península y Canarias, destaca la Isla de Tenerife con buena producción y precios de 9-12 €/kg, cuyo destino principal son los mercados de Madrid y Barcelona. En el caso de Almería, representa un cultivo alternativo para productores, debido a su alta rentabilidad y demanda en el mercado europeo, así como bajos requerimientos hídricos. Se establece en la periferia de los invernaderos, y recientemente en forma intensiva bajo invernadero con el uso de tutores inertes, destacan algunos productores pioneros en la producción, así como centros de investigación para el estudio y difusión del cultivo (Figura 17).



**Figura 17.** Producción de pitahaya en Almería: Fincas y Centros de investigación.

Fuente: Elaboración propia a partir de recorridos en campo.

## 1.2. Investigación y desarrollo

Existen centros de investigación que han realizado ensayos para establecer el cultivo bajo invernadero, como la estación Experimental CAJAMAR “Las Palmerillas” y el Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA) “La Mojenera”, con evaluaciones en tipo de tutores, variedades, manejo de riego y fertilización.

La estación experimental CAJAMAR, estableció pitahaya desde el 2012 en una fase inicial para conocer el potencial de los cultivos tropicales y subtropicales en las condiciones de Almería. Las especies establecidas son *H. undatus* (cáscara rosa y pulpa blanca), *H. purpusii* (cáscara rosa, pulpa fuchsia), clon JC01 (cáscara rosa, pulpa rosa) y *Selenicereus megalanthus* (cáscara amarilla y pulpa blanca), provenientes de un vivero en Tenerife y propagadas asexualmente mediante esquejes (Figura 18). El invernadero empleado es de tipo parral modificado de 400 m<sup>2</sup>, con cubierta de polietileno de baja densidad de 800 galgas de espesor. El sistema de tutoreo es un emparrillado de tubo galvanizado, con una altura del cultivo de 1.5 m, distancia entre plantas de 0.50 a 1 m y entre hileras de 2 m.



**Figura 18.** Vista general del cultivo de pitahaya en invernadero, en la Estación experimental Cajamar “Las Palmerillas”.

El riego se realiza por goteo, 3 veces por semana, durante 20 minutos con un gasto del gotero de 1.5 L h<sup>-1</sup>, en un suelo tipo enarenado, con fertilización vía riego en una sola línea con goteros cada 50 cm.

En el caso de *H. undatus* y JC01, presentan 3 flujos de floración: la primera en mayo-junio, siendo poco abundante, la segunda en julio-agosto, abundante, y la tercera en octubre-noviembre, de mayor abundancia de flores, mientras que *Selenicereus megalanthus*, solo una en los últimos meses (Figura 19). La polinización es de tipo manual, consiste en recolectar el polen de las anteras con una brocha en una bandeja de plástico, en las primeras horas de la mañana y colocarlo sobre el pistilo de cada flor,

el cual se encuentra completamente receptivo, donde la cantidad de polen determinará el número de semillas producidas y por el ende el tamaño de fruto.



**Figura 19.** Polinización manual en *S. megalanthus* (pitahaya amarilla).

Algunos estudios realizados en pitahaya, ha sido en colaboración con la Universidad de Almería (UAL), para la evaluación de un método de conservación de polen y el comportamiento fenológico reproductivo de la pitahaya entre distintos genotipos, incluyendo cultivares con potencial polinizador (*H. undatus* y JC01) y el cultivar principal (*H. purpusii*). La fenología incluyó el registro de fechas y traslape de floraciones entre los diferentes ejemplares. La evaluación de los métodos de conservación del polen abarcó pruebas de viabilidad con microscopía de fluorescencia, efecto de diferentes temperaturas (temperatura ambiente, 4, -20 y -72°C) y humedad relativa (10, 33, 50, y 70%), en función de cada cultivar.

La conclusión del estudio indica que la viabilidad del polen más alta, se obtuvo a una temperatura de -20°C, a los 7 días de almacenamiento, mientras que la edad de la flor afecta la viabilidad y rendimiento del polen para *H. undatus*, es decir, el polen de una flor recién abierta, es mayor a una flor cerrada o en botón floral (Gámez, 2015).

En el caso de IFAPA “La Mojonera”, se han enfocado a la evaluación de especies y sistemas de tutoreo en el cultivo. Cuentan con las variedades de *H. undatus* (cáscara rosa y pulpa blanca), *H. purpusii* y *Selenicereus megalanthus* (cáscara amarilla y pulpa

blanca), clones como JC01 (cáscara rosa, pulpa rosa), provenientes de Vietnam, Tenerife y Sudamérica principalmente (Figura 20).



**Figura 20.** Pitahaya cultivada en invernadero en estación experimental IFAPA, La Mojonera.

Los sistemas de tutoreo del cultivo en evaluación con diversas formas: triangular, dosel a dos aguas, espaldera modificada, estructura cuadrangular, dosel a un agua y la combinación de estas (Figura 21).



**Figura 21.** Sistemas de tutoreo en pitahaya: a) Triangular, b) Dosel a dos aguas, c) Dosel a un agua, d) Espaldera y e) Tipo palmera

### 1.3. Universidad de Almería (UAL)- ANECOOP

Con fines de investigación, la finca Experimental UAL-ANECOOP, cuenta con dos áreas destinada a pitahaya, la primera de ellas se estableció en mayo de 2019 mediante una reproducción asexual (esqueje 40 cm). Cuyos objetivos son: comparar la respuesta de diferentes ejemplares de pitahaya bajo condiciones de Almería en invernadero; cuantificar y clasificar los flujos de floración por especie/variedades/clones, con el fin de disponer de polen para la polinización cruzada, y la caracterización varietal para una mejor identificación de los materiales disponibles (Figura 22).

Las plantas se encuentran en pares a 50 cm de distancia entre estas, a 2 m entre par siguiente, y una distancia de 4 m entre hileras. Como sistema de tutores se emplea rafia a dos brazos laterales, sostenida de un sistema de conducción de alambre en la parte superior a 2.5 m de altura. El riego se realiza por goteo con un gasto del emisor de 3 l/h, con una frecuencia de riego de 3 veces por semana durante 20 minutos, y un consumo de 3 L/ semana. Se evalúan variables de crecimiento del cultivo como altura (m), número de brotes vegetativos y botones de florales, entre otros.



**Figura 22.**Ensayo de pitahaya en instalaciones de UAL-ANECOOP.

En la segunda área, cuentan con una plantación de pitahaya de 3 años de edad en producción, a una altura de 1.5 m, donde se evalúa el efecto de las labores de manejo, con referencia a podas, riego y fertilización, en la emisión de botones florales, en un

entutorado tipo dosel a dos aguas (Figura 23). Las especies con las que cuentan son: *H. undatus*, *S. megalanthus*, *H. purpusii*, e *H. polyrhizus*, con una separación entre plantas de 1 m, mientras que entre hileras a 2.5 m. El riego es por goteo, 3 veces por semana con una duración de 10 min con un gasto del gotero de 3 L/h.



**Figura 23.** Vista general del cultivo de pitahaya en invernadero en UAL- ANECOOP.

#### **1.4. Producción local**

Existen algunos productores precusores del cultivo de pitahaya en la zona de Almería, desde hace 20 años como el caso del Sr. Emilio Salmerón, que cuenta una finca de 7000 m<sup>2</sup>. Destaca su inquietud por la obtención de híbridos propios por cruzamiento, a partir de especies que ha coleccionado a lo largo de su experiencia en el cultivo, reproducidas mediante semilla, donde se incluyen especies como *H. undatus*, *H. costarricensis*, JC01, JC02, entre otras, con mejoras importantes en el sabor y dulzor de la fruta.

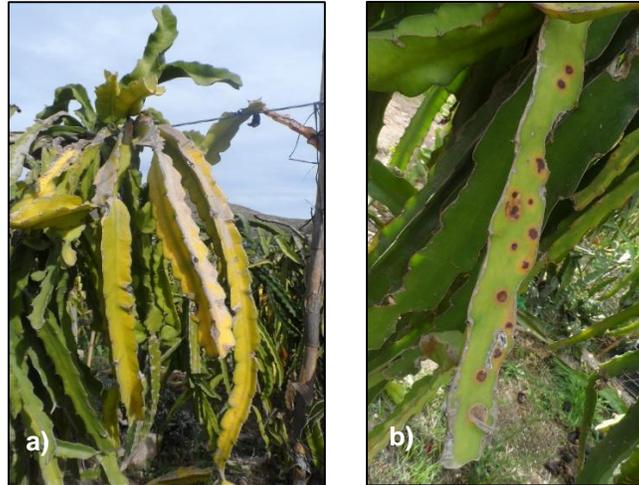
El sistema de tutoreo es tipo T, con tubo galvanizado y un emparrillado de 50 cm de ancho, con una separación entre plantas de 50 cm e hilera de 2 m, y altura del cultivo de 1.60 m (Figura 24). El sistema de poda, consiste en el corte de la parte basal de cada cladodio con tijeras de poda, ya sea para formación del dosel de la planta, o sanidad de la misma, el destino de los esquejes es para la obtención de plantas nuevas.



**Figura 24.** Finca de pitahaya en Jardín Botánico “Los injertos”, Almería, España

El riego varía de acuerdo a la época del año, es decir, en verano se aplica solo un riego por semana, mientras que, en invierno, debido a un cese en la producción, el riego se suspende parcialmente, hasta el inicio de la primavera. El agua empleada proviene de pozo profundo lo que mejora su calidad, para el cultivo, debido a su CE (2.6 dS/cm) y niveles bajos de cloruros y sodio. El abonado de la planta, consiste en aplicar estiércol de caballo sobre el suelo y una fertilización mediante el riego. En promedio, se presentan dos flujos de floraciones en los meses de Julio y septiembre principalmente, la polinización es de tipo manual y cruzada, realizada por 2 personas en toda la finca, mediante la recolección del polen y su aplicación en cada flor desde la madrugada hasta el amanecer.

Con respecto a las enfermedades, se encuentra el ojo de pescado (*Dothiorela spp.*), cuyo tratamiento es con productos a base de cobre. Las plagas más comunes en el cultivo, son la mosca del mediterráneo, hormigas y salta montes con daño en fruto y esquejes tiernos, mientras que los roedores como ratas, dañan los esquejes maduros únicamente. La falta de sombra en el cultivo, provoca amarillamiento y quemaduras en los esquejes, bajo este contexto, la cubierta plástica o malla sombra atenúa la cantidad de radiación sobre el cultivo, por lo tanto, es primordial para su buen desarrollo (Figura 25).



**Figura 25.** Daños en tallos de pitahaya: a) Exceso de luz y b) Enfermedad ojo de pescado (*Dothiorela* spp.).

La comercialización de la fruta, es en fresco, de manera directa en Barcelona, Madrid y Mercabarna, con un precio de 6 euros por caja con 3 a 4 frutos y una vida de anaquel de 15 días.

Desde una vista empresarial, destacan sistemas de producción de forma intensiva, cuyo objetivo radica en la optimización del espacio disponible con el mayor número de plantas por superficie. El caso de la empresa Blasmira S.L., a cargo del Sr. Antonio Mira e Hijos dedicada a la producción de pimientos principalmente, sin embargo, ha incursionado en el cultivo de pitahaya desde 2010, cuenta con una superficie de 2.5 ha bajo cubierta y 60 variedades diferentes de pitahaya, entre las que destacan la JC01 a la JC05, *H. guatemaltensis*, *H. undatus*, *purpusii*, *Costarrica*, *Connie mayer*, *Hybridum*, entre otras, obtenidas mediante cruzamiento de especies propias y provenientes de viveros(Figura 26).



**Figura 26.** Área para el ensayo de selección de variedades.

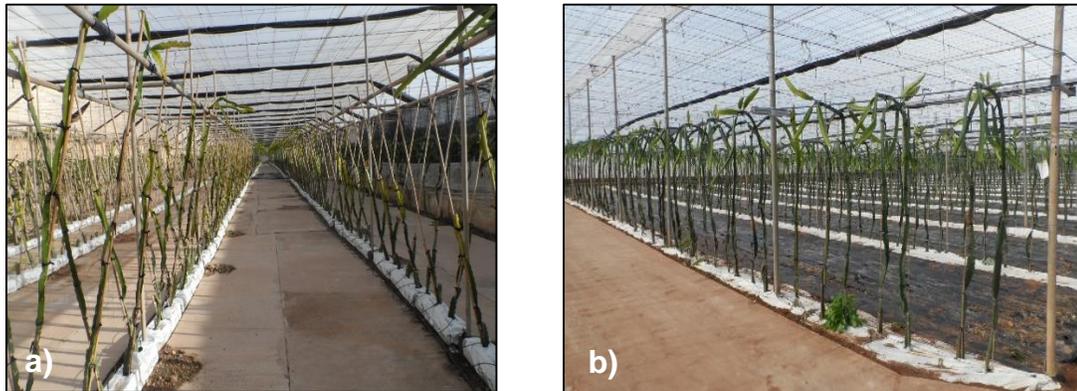
La reproducción de la pitahaya es de tipo asexual, mediante esquejes de 40 cm obtenidos de las podas y enraizados en el vivero de la empresa, donde se le proveen las condiciones necesarias para obtener una raíz vigorosa y sana, durante 30 días. El sustrato empleado es una mezcla de humus de lombriz y uno de tipo comercial (Figura 27), sin embargo, también se realiza la siembra del esqueje de forma directa sin un enraizado previo.



**Figura 27.** Producción de esqueje de pitahaya: a) Vista general del vivero y b) Esqueje enraizado de pitahaya.

El sistema de plantación contempla diferentes sistemas de tutoreo (espaldera de un lado, tipo T, emparrillado y sus combinaciones), en los cuales la pitahaya se sujeta sobre el tutor, con una cinta plástica hasta conducirla sobre un emparrillado final (Figura 28); la distancia entre planta es de 40 cm y 4 m entre hileras para intercalar otro cultivo como pimiento u otro de interés comercial, con una altura de planta de 1.80 m principalmente.

La poda se realiza con tijeras, previamente desinfectadas, dejando de 3 a 5 brazos desde el esqueje principal, y cuando el dosel de la planta se ha formado.



**Figura 28.** Sistema de tutoreo en finca de pitahaya, Blasmira S.L.: a) dosel a dos aguas y b) tipo “T”.

El riego se aplica por goteo, a una sola línea y goteros cada 50 cm, de acuerdo a la época del año, en verano de 2 a 3 riegos, mientras que en invierno solo uno de 30 minutos y la humedad del suelo se controla con tensiómetros. En el caso de la polinización, se tienen 3 oleadas de flores en promedio, se realiza de forma manual, sin embargo, se emplea una aspiradora para la recolección del polen similar a la utilizada en el chirimoyo, en el cual el polen recolectado, se almacena en un pequeño recipiente, y posteriormente es aplicado de manera directa sobre el pistilo de cada flor, de forma más rápida, cubriendo un mayor número de flores, en un menor tiempo. Se realiza el monitoreo de las variables ambientales con sensores digitales de temperatura(°C) y humedad relativa (%), al interior de la plantación, para prevenir la aparición de enfermedades (Figura 29).



**Figura 29.**Sensor de temperatura (°C) y humedad relativa (%) en finca de pitahaya.

Una diferencia en el proceso de producción de la pitahaya en esta finca, radica en un manejo ecológico del cultivo tanto a nivel nutricional como en sanidad, la optimización del espacio y el intercalado con otro cultivo, así como el uso de organismos, insectos y plantas benéficas para el control de enfermedades y plagas (Figura 30), como las diatomeas para las hormigas, los sirfidos para pulgón y plantas como *Lobularia marítima* al interior de la plantación, como plantas benéficas para control de plagas.



**Figura 30.**Plantas benéficas al interior de una plantación de pitahaya- pimiento morrón.

La cosecha de la fruta, es mediante indicadores de madurez visuales tanto en color de la cáscara y bordes de las brácteas de la misma, sin embargo, en este último caso, varía en función de la especie. La recolección es manual y con ayuda de una tijera para evitar un daño en el esqueje y evitar pudriciones. La empresa cuenta con sus instalaciones

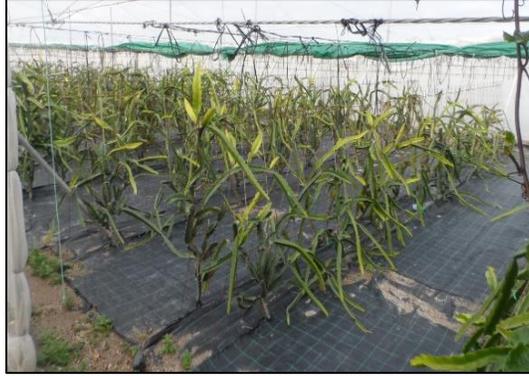
para el manejo postcosecha de la fruta y realizar el acopio de la producción en la región de Almería. El proceso de empaque inicia en un lavado de la fruta, posteriormente un tratamiento con ozono y finalmente el secado de la misma, el procedimiento permite eliminar hongos y bacterias que puedan causar daños en la fruta durante su almacenamiento.

La clasificación de la fruta para su empaque es por calibres, mediante una banda seleccionadora, cuyos límites se establecen de acuerdo al peso comercial de los frutos (450-650 g) y número de frutos por caja, 6 u 8 piezas respectivamente (Figura 31). Su almacenamiento se lleva a cabo en cámaras de refrigeración a 7°C de temperatura, con una vida de anaquel de 15 días en promedio. El destino de la producción es para exportación a países nórdicos y Asia principalmente, la venta local en menor proporción.



**Figura 31.** Pitahaya de exportación en empaque finalizado.

Por otra parte, hay productores que inician con la producción del cultivo, tal es el caso del Sr. José Antonio Montiel con una plantación de 1000 m<sup>2</sup> y 2 años de edad. Cuenta con tres tipos de pitahaya *H. undatus*, *JC01* e *H. purpusii*, provenientes de un vivero de Tenerife (Figura 32). La distancia de plantación es de 1.20 m entre plantas y 2 m entre hileras, con una altura del cultivo de 1.5 m, y un sistema de tutoreo tipo dosel a dos aguas, sobre malla electrosoldada. El suelo es de tipo enarenado, con riego por goteo, con tiempos de 30 a 60 minutos por semana y una fertilización orgánica.



**Figura 32.** Finca de pitahaya en la localidad de Palomares, Almería.

La polinización es de tipo manual y cruzada, la realizan dos personas, hasta el momento solo se presentó un primer flujo de floración en el mes de agosto, debido a la corta edad de la plantación, por lo que la producción inicial no rebasa los 250 kg, lo cual sería acorde a lo esperado en el cultivo en sus primeros años.

## **2. Producción en México**

### **2.1. Situación actual del cultivo**

En México, la producción anual en 2018 fue de 6,457.2 t que se concentró en los estados de Yucatán con 3,541.4 t, Quintana Roo con 2,306.1 t y Puebla con 467.7 t, de acuerdo con el Servicio de Información Agropecuario y Pesquero (SIAP). El 80.8% de la superficie sembrada es de temporal con rendimientos promedio de 4.7 t ha<sup>-1</sup>, mientras que solo el 19.2% es bajo condiciones de riego, con rendimiento promedio de 11 t ha<sup>-1</sup> para ese mismo año (Figura 33). Los sistemas de producción en la mayoría del país son a nivel de traspatio, sin embargo, las plantaciones en sistemas de producción intensivos con tutores vivos o inertes se han incrementado en los últimos años, debido a la alta rentabilidad que presentan y la calidad de la fruta que se obtiene.



**Figura 33.** Principales estados productores de pitahaya en México en 2018. Fuente: Elaboración propia a partir SIAP (2018).

## 2.2. Investigación y desarrollo

En el ámbito nacional hay avances en el estudio de *H. undatus*, debido a su importancia en el mercado y su enfoque cultural, se ha realizado:

- Caracterización morfológica y compatibilidad genética entre especies (Castillo *et al.*, 2005; Grimaldo *et al.*, 2001; Legaria *et al.*, 2005).
- Distribución geográfica (García *et al.*, 2015) y zonificación agroecológica (Bárceñas, 2002; Sotelo *et al.*, 2005).
- Aspectos fisiológicos (Ortiz *et al.*, 2012),
- Reproducción (Bárceñas y Jiménez, 2010; González, 2013).
- Polinización (Solís, 2014).
- Estrés hídrico (Ortiz *et al.*, 2000).
- Fertilización (Salais, 2011) y efecto de dosis fertilización y riego (Corres, 2006).
- Sobre fenología (Martínez, 2014; Osuna *et al.*, 2016).
- En Sistemas agroforestales (Cálix *et al.*, 2014).
- Análisis económico de la cadena productiva (Flores, 2011).

Por otra parte, existen 12 colecciones botánicas nacionales del género *Hylocereus* (Cuadro 23), y se tienen identificadas cuatro especies para México: *H. ocamponis*, *H. purpusii*, *H. undatus* e *H. aff. Escuintlensis*.

**Cuadro. 23.** Principales colecciones botánicas del género *Hylocereus* en México

No	Nombre	Acrónimo	Institución	Estado/Región
1	Herbario Hortorio del Colegio de Postgraduados	CHAPA	Colegio de Postgraduados, Montecillo	Estado de México
2	Herbario del Centro de investigación Científica de Yucatán	CICY	Centro de investigación Científica de Yucatán	Yucatán
3	Herbario del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional	CIIDIR	Instituto Politécnico Nacional	Oaxaca
4	Herbario <i>Eizi Matuda</i>	CODAGEM	Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México	Estado de México
5	Herbario de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas	ENCB	Instituto Politécnico Nacional	Distrito Federal
6	Herbario de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas	HEM	Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas	Chiapas
7	Herbario de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos	HUMO	Universidad Autónoma del Estado de Morelos	Morelos
8	Herbario Luz María Villarreal de Puga del Instituto de Botánica	IBUG	Universidad de Guadalajara	Guadalajara
9	Herbario del Centro Regional del Bajío	IEB	Instituto de Ecología A.C.	Guanajuato
10	Herbario Nacional del Instituto Nacional de Biología	MEXU	Universidad Nacional Autónoma de México	Distrito Federal
11	Herbario del Instituto de Ecología A.C.	XAL	Instituto de Ecología A.C.	Xalapa
12	Herbario del Instituto Manantlán de ecología y biodiversidad	ZEA	Centro Universitario de la Costa Sur de la Universidad de Guadalajara	Guadalajara

Fuente: García *et al.*, 2015

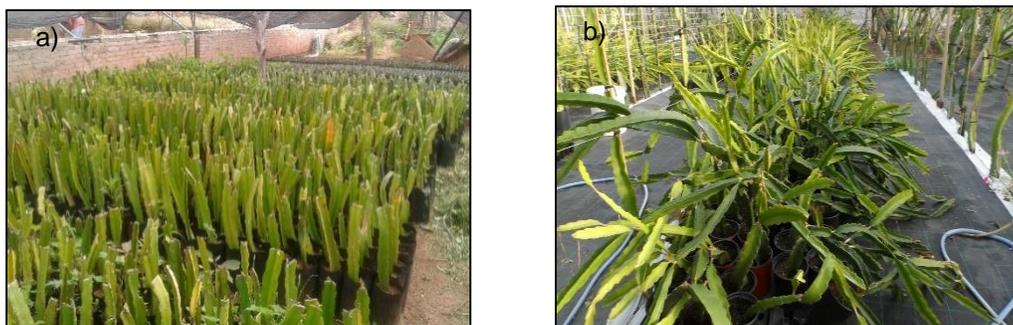
Dentro de los centros de investigación, destacan el Colegio de Postgraduados, la Universidad Autónoma Chapingo, así como el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR OAXACA), Universidad Agraria Antonio Narro (UAAN), Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) y otras, en el ámbito de ciencias agrícolas y que cuentan con líneas de investigación en el cultivo. Existen algunas publicaciones especializadas (libros, folletos), enfocadas principalmente al manejo agronómico del cultivo, desde la producción de esqueje en vivero hasta manejo postcosecha de la fruta, editadas por la Universidad Autónoma Chapingo, misma que a su vez, brinda capacitación y asistencia técnica a productores en su centro regional de Yucatán, principal estado productor y en su sede central, en Texcoco, Estado de México.

### 3. Análisis comparativo de los sistemas de producción del cultivo España- México

#### 3.1. Establecimiento del cultivo

La reproducción del cultivo se lleva a cabo de forma asexual, es decir, por cladodios de diferentes tamaños, en ambas zonas de interés. La selección de los esquejes debe provenir de plantas madre en etapa productiva, sana, de buen porte y mejores características, preferentemente de tallos no ramificados, y de la parte baja de la planta en plantaciones de 1.5 años (Méndez y Coello, 2016). Los tamaños empleados son de 60 cm en promedio, los cuales deben pasar por un proceso de curado después del corte para después plantarse de forma directa. La aplicación de enraizadores comerciales es opcional, esto favorece la emisión de raíces. Por otra parte, existe un método indirecto de enraizado del esqueje, mediante vivero, donde se plantan en bolsas de polietileno o macetas, y se le proveen las condiciones para su adecuado enraizamiento antes del trasplante (luz, humedad, nutrientes).

Los esquejes empleados en las plantaciones comerciales en ambos países provienen de viveros establecidos. Sin embargo, en México son pocos los viveros especializados en el cultivo, que acaparan la venta de esquejes y fijan los precios de venta, de esta forma, algunos esquejes son recolectados de plantas madre localizados en los traspatios (Figura 34a).

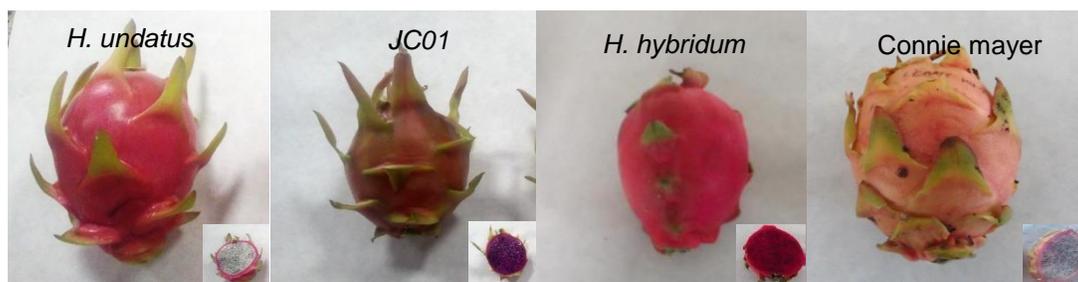


**Figura 34.** Viveros para enraizado de esqueje de pitahaya: a) México y b) Almería, España

Las especies utilizadas son *Hylocereus undatus* (pulpa blanca, cáscara rosa) y *Hylocereus polyrhizus* (pulpa roja cáscara rosa), principalmente, las cuales cuentan con alto interés comercial en el mercado internacional (Europa), por ser una fruta exótica, dada sus propiedades nutrimentales y características físicas. La pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*), ha tenido poco auge y éxito en los dos países, debido a que su adaptación se ha limitado por las condiciones ambientales principalmente por su zona de origen.

En la región de Almería se destaca la *H. undatus*, JC01, *H. polyrhizus*, *H. purpusii*, principalmente debido a la adaptación del cultivo, interés comercial y flujos de floración que presentan. Existen otros ejemplares obtenidos mediante cruza, por algunos agricultores, como los clones J02, J03, Connie Mayer, entre otros, sin embargo, siguen siendo de uso particular aún (Figura 35).

En México, destaca la *H. undatus* como principal especie sembrada y cosechada, sin embargo, *H. polyrhizus*, *H. purpusii* también, se cultivan en menor proporción debido a un problema de polinización que se presenta y el tamaño de fruto que se obtiene.



**Figura 35.** Algunas especies de pitahaya presentes en la zona de Almería, España y México (*H. undatus*).

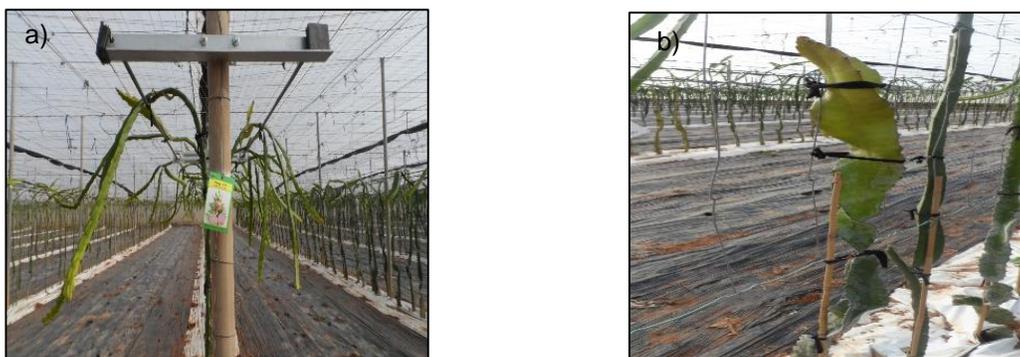
### 3.2. Tutoreo

La selección de los tutores está en función de su vida útil (igual o superior a la edad de la planta), ser resistente al peso de la planta en producción, y que su superficie facilite que las raíces adventicias de la planta de adhieran sin dificultad (Bárceñas y Jiménez,2010).

El uso de tutores inertes es una práctica común en sistemas de producción intensivos, que se asocian con tubo de aluminio en forma de T, con soporte de alambre, malla electrosoldada o postes de concreto. Sin embargo, existen otro tipo de sistemas de tutoreo, con tutores vivos (árboles frutales o especies nativas) que proporcionan sombra al cultivo, el uso de estos depende en gran medida de los recursos disponibles por el productor, en términos financieros y materiales de la zona.

En Almería, se tienen diferentes tipos de tutores donde destaca principalmente dos tipos:

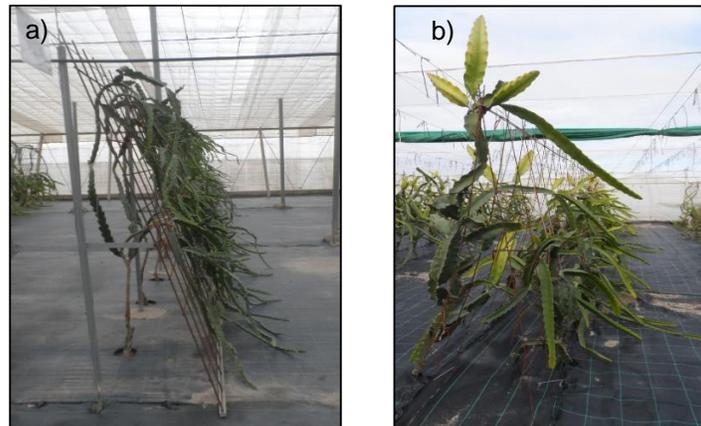
**Parral:** Se emplea en el interior de los invernaderos, colocándose un tubo de 0.5 a 1 m de forma perpendicular a los tubos del invernadero, a una altura de 1.60 m, para facilitar el manejo de la planta. El dosel de la planta recae sobre dos alambres previamente tensados de extremo a extremo, en la parte superior, lo cuales debe estar recubiertos de manguera negra o cinta de riego, para evitar daños en los cladodios por el propio peso de la planta. (Figura 36). El uso de tubos como tutores facilita la conducción de la planta, en su primer año de establecimiento, atándola con tiras de tela para evitar daños en los cladodios. La distancia entre hileras es de 2 a 4 m, para labores de mantenimiento de la planta y cosecha de la fruta, así mismo colocar otro cultivo de interés. Los esquejes pueden ser plantados a 50 cm o un 1 m, en función de la disponibilidad de espacio dentro del invernadero.



**Figura 36.** Tutoreo en parral para pitahaya, bajo sistema intensivo en Almería, España:  
a) Soporte superior en T y b) Amarre de cladodio sobre el tutor.

**Malla electrosoldada:** Es una malla cuadrada de 30 cm, que permite que las pitahayas crezcan sobre la misma, cubriendo la totalidad de esta e incrementando la superficie de

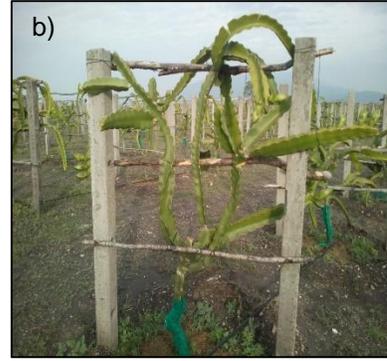
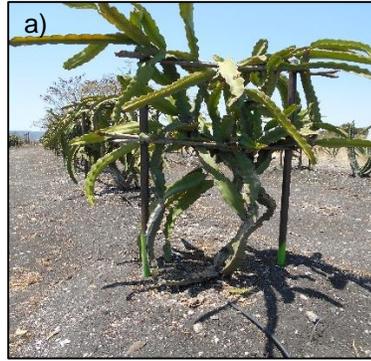
producción desde el primer año. Las pitahayas se siembran cada 50 a 90 cm, mientras que la altura de la malla es de 1.50 m, a una distancia de 2 m entre hileras. Existen dos formas de utilizar la malla a dosel a dos aguas o a un agua, para un mejor aprovechamiento del espacio del invernadero y para facilitar el mantenimiento del cultivo, sin embargo, este tipo de tutores incrementan el precio de inversión en su establecimiento (Figura 37).



**Figura 37.** Tutoreo de pitahaya en malla electrosoldada: a) dosel a un agua y b) dosel a dos aguas.

La ventaja en el uso de este tipo de tutores radica en el óptimo aprovechamiento del espacio disponible y el máximo número de plantas por unidad de superficie, sin embargo, la selección del tipo de tutor, está en función de los recursos financieros y de espacio, por parte del productor.

En el caso de México, las plantaciones con sistema de producción intensiva de pitahaya, utilizan como sistema de tutoreo, postes de concreto o tubo galvanizado, a una distancia de 2.5 x 2.5 m o 3 x 3 m, lo cual recientemente se ha intensificado su implementación, debido a su durabilidad y el soporte que ofrece para la planta, sin embargo, los costos de instalación suelen ser elevados al inicio de la plantación (Figura 38).



**Figura 38.** Sistema de tutores inertes usados en Puebla, México: a) Tubo galvanizado y b) Postes de concreto

Por otra parte, se utilizan otro sistema de tutores, donde se usan especies de árboles nativos de cada zona, para brindar el soporte y sombra a la planta a cierta edad. En la zona centro se emplea el mezquite, mientras que en la península de Yucatán y Quintana Roo, la implementación de plantaciones con especies intercaladas es una actividad muy común: piña (*Ananas comusus*), cedro (*Cedrela odorata*), caoba (*Swietenia macrophylla King*), ciruelo (*Spondias purpurea*) entre otros (Figura 39).



**Figura 39.** Uso de tutores vivos como soporte para la pitahaya en Yucatán, México: a) piña-cedro y b) ciruelo (Cálix *et al.*, 2014; Hernández *et al.*, 2018).

### 3.3. Sombra

Las plantas no toleran la intensidad luminosa fuerte y directa, por lo tanto, necesitan un porcentaje de sombra como protección de la radiación en verano (30%), debido a su origen tropical, por lo tanto, el uso de mallas sombras y el blanqueado es una opción para atenuar la cantidad de luz en la zona de Almería, que cuenta con un mayor número

de días despejados (Figura 40a). Por otro lado, en México, existen zonas donde los días con nubosidad favorecen el establecimiento del cultivo al aire libre, como municipios de Quintana Roo, Yucatán y Puebla, donde no se requiere el uso de mallas o cubiertas para el cultivo, sin embargo, el uso de tutores vivos con cierto sombreo y el uso de mallas sombras es utilizado en algunos sitios de acuerdo a sus condiciones de luz (Figura 40b y 40c).



**Figura 40.**Plantaciones de pitahaya: a) Bajo cubierta en Almería, España, b) Al aire libre y c) Malla sombra en México.

El exceso de sombra afecta la producción y la calidad de los frutos, con sombras menores a 50%, el crecimiento vegetativo se favorece, sin embargo, algunas especies como *Hylocereus polyrhizus* e *Hylocereus costaricensis*, toleran más la luz, debido a un mayor grosor y serosidad en la epidermis (Del Ángel *et al.*,2012).

### 3.4. Polinización

Esta actividad es esencial para la pitahaya, dado la corta duración de apertura de la flor (solo una noche), por tanto, la efectividad de los polinizadores depende en gran medida del tamaño de frutos a obtener, de manera natural los murciélagos, abejas y mariposas realizan dicha actividad.

En Almería, para el caso de *Hylocereus undatus*, dada su parcial autocompatibilidad de la flor (polinizarse a sí misma), no representa un problema para su producción dentro del invernadero, sin embargo, para incrementar los tamaños de fruto de acuerdo a lo requerido por el mercado (400-600 gramos) es necesario una polinización manual y cruzada (colocar polen de otra planta en el estigma) para un mejor amarre de fruto, lo

cual representa un costo adicional del uso de personal para hacer esa actividad, debido a la ausencia de polinizadores naturales (Figura 41).



**Figura 41.** Floración y polinización en *Selenicereus megalanthus* en estación Experimental CAJAMAR “Las Palmerillas”, Almería, España.

En México, se realiza la polinización cruzada en menor frecuencia, dada la existencia de polinizadores naturales en Quintana Roo y Yucatán (Figura 42), sin embargo, para homogeneizar el tamaño de la fruta y obtener mejor calidad, la polinización cruzada, se ha intensificado en las plantaciones intensivas de pitahaya, en el centro del país.

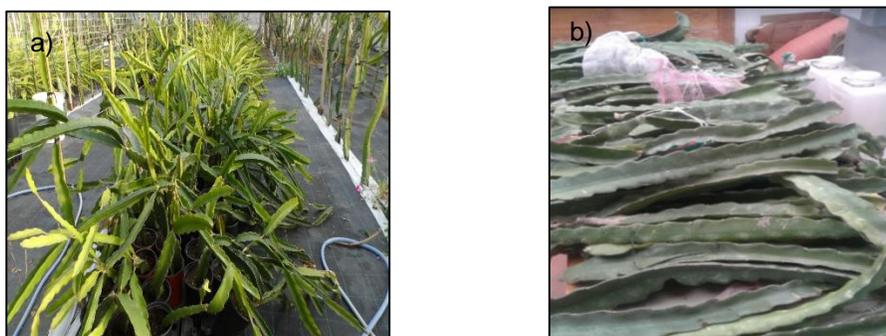


**Figura 42.** Polinizadores naturales de pitahaya en México.

Por otra parte, establecer diversas especies de pitahaya es una práctica recurrente para contar con polen viable para la polinización a lo largo del año, y realizar la sincronización de la apertura floral entre estas, sin embargo, dado que es un cultivo en auge, se siguen caracterizando la floración de cada uno de los ejemplares existentes, así mismo, la conservación del polen, aún sigue siendo tema de investigación para ambas regiones de estudio, dado el poco tiempo de su viabilidad para un uso posterior.

### 3.5. Podas

En su primer año de establecimiento, se realiza la poda de formación, cuyo fin es formar el dosel de la planta para garantizar el crecimiento para su adecuado manejo e iluminación. Los esquejes deben ser retirados desde la parte basal del cultivo, con ayuda de tijeras desinfectadas previamente, el destino final de los esquejes producto de la poda, es la obtención de nuevas plantas, ya sea para la venta al público o para reemplazar plantas en ambas zonas de interés (Figura 43). También existen podas de sanidad que permiten eliminar los cladodios enfermos o con daño físico, de esta forma se estimula la emisión de nuevos brotes en la planta.



**Figura 43.** Cladodios producto de poda: a) Reemplazo en plantación y b) Venta al público.

### 3.6. Riego y fertilización

Las adaptaciones morfológicas y fisiológicas que la planta presenta, le permiten soportar sequías prolongadas y reponerse rápidamente cuando inicia la temporada de lluvias, por lo tanto, puede ser cultivada en condiciones de temporal, *H. undatus* tolera sequías prolongadas hasta por 6 semanas, sin afectar su crecimiento (Castillo, 2006; Tel-Zur *et al.* 2011; Nobel, 2006).

En el caso de Almería, la producción de pitahaya se realiza con sistemas de riego por goteo, con una distancia entre goteros de 50 cm en promedio, un gasto de  $3 \text{ L h}^{-1}$ , a una sola línea, durante 20 minutos, tres veces por semana, y un consumo semanal de 3 L. El control de humedad en el cultivo es con tensiómetros, sin embargo, aún no se tienen límites establecidos para definir un nivel de humedad óptimo para el mismo, por lo que

se tiene un manejo similar a los cultivos hortícolas (Figura 44), mientras que la dosis de fertilización se realiza vía riego.



**Figura 44.** Sonda de succión y tensiómetros a 30 y 45 cm en pitahaya, estación experimental CAJAMAR “Las Palmerillas”, Almería, España.

En el caso de México, en las plantaciones intensivas de pitahaya, el riego se realiza por goteo a una sola línea, con una separación entre goteros de 2.5 metros y entre líneas de 3 metros, con tres riegos por semana, con un gasto de 2 L h<sup>-1</sup>, por 15 minutos, y un consumo semanal de 1.5 L. Las fuentes de fertilización abarcan, desde un abonado directo a la siembra con estiércol de origen animal (bovino, caprino, gallinaza) previamente seco incorporando de 1 a 1.5 kg por planta, hasta el uso de solución Steiner vía riego, sin embargo, no hay una dosis definida en el cultivo, por lo que los productores siguen recomendaciones de las casas comerciales y no se implementa un control adecuado de nutrición hasta ahora (Figura 45).

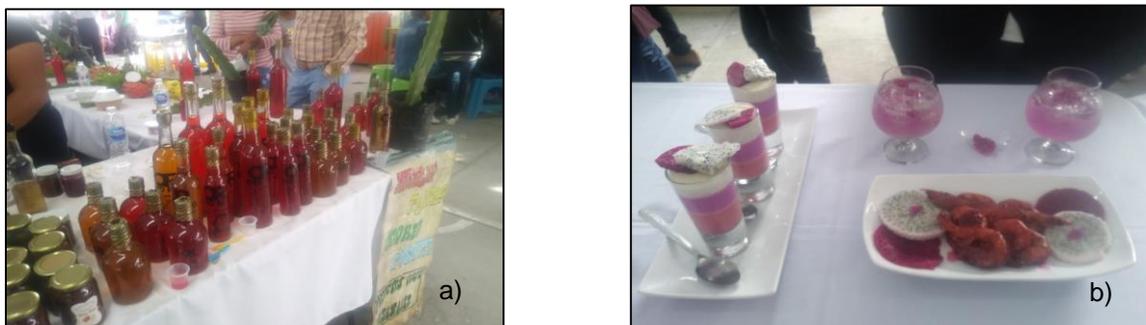


**Figura 45.** Riego por goteo en sistema intensivo de pitahaya, Santa Clara Huitziltepec, Puebla, México.

### 3.7. Usos potenciales

En Almería, España, se ha impulsado la difusión del cultivo, mediante jornadas técnicas realizadas por IFAPA y la Fundación CAJAMAR, donde se brinda información acerca del cultivo, se incluyen recorridos y conferencias. Así mismo, se realizan exposiciones en la noche europea de los investigadores en el centro de la ciudad de Almería, donde se da a conocer la fruta a los asistentes y sus propiedades, como una fruta exótica.

En el caso de México, en los últimos años se ha intensificado la difusión del cultivo y han surgido organizaciones de productores en los estados donde se produce, como en el estado de Puebla, con el fin de promover el cultivo, difundir y generar una fuente de empleos para ellos en sus lugares de origen. Destacan algunos eventos referentes al cultivo, principalmente en la zona de la mixteca poblana, en el municipio de Santa Clara Huitziltepec y Santa Inés Ahuatempan, donde a partir del 2018 se lleva a cabo la feria agroartesanal dedicada a la pitahaya y xoconostle en la primera semana de agosto (Figura 46).



**Figura 46.** Feria agroartesanal de pitahaya 2019, Santa Clara Huitziltepec, Puebla, México: a) Licor de pitahaya b) Alimentos preparados con pitahaya.

En el evento, se muestran los productos derivados de la pitahaya, como son mermeladas, helados, gelatinas, pay, yogurth, cremas, licores y algunos productos cosméticos como shampoos y jabones corporales, se destaca por el concurso gastronómico que se realiza, lo cual atrae a turismo nacional e internacional (Figura 47).



**Figura 47.** Usos potenciales de la pitahaya

#### **4. Retos y perspectivas**

Existen retos importantes en la producción de pitahaya bajo invernadero, en las dos zonas de estudio. Uno es la polinización del cultivo, dada la autoincompatibilidad de las especies establecidas y la no existencia de polinizadores naturales en la región de Almería como murciélagos e insectos, por lo que se recurre a la polinización manual para mejorar el tamaño de fruto, sin embargo, esto representa un costo de la mano de obra y tiempo adicional para realizarla, en el primer año de establecimiento del cultivo, lo absorbe el productor. Bajo este contexto, es necesario promover la investigación con respecto a variedades auto compatibles y adaptadas a la región de Almería y México, lo cual permitirá contar con más variedades y escalonar las floraciones, para disponer de polen en cantidad y calidad requerido.

Otro reto es la búsqueda del conocimiento en el requerimiento hídrico del cultivo, sigue siendo un reto importante en su implementación, por lo que se requiere de estudios que permitan establecer el consumo óptimo de agua en las diferentes regiones de interés, ya que la información existente es muy generalizada, principalmente de países como Israel, Vietnam o Taiwán.

Un tercer reto es la comercialización de la fruta en ambas regiones, lo cual coincide con los periodos de floración, donde se concentra el volumen de producción de forma estacional, para ello debe contarse con un mercado previamente identificado y

comercializarse en lo inmediato. Sí el uso es consumo en fresco, debido a una corta vida de anaquel del fruto, si no se tiene un proceso adecuado de postcosecha para su conservación y así evitar pérdidas económicas al productor. Las alternativas para la comercialización es la asociación de los productores, siendo un caso de éxito en otras regiones de España, como Málaga, mientras que en México la integración del sistema producto pitahaya, para la integración de servicios en una cadena facilitaría al productor mejorar sus canales de comercialización

Por otro lado, la versatilidad de la fruta permite diferentes usos, no solo el consumo en fresco, sino la transformación de esta para obtener subproductos, lo que cual puede resultar atractivo a los productores, para generar un ingreso adicional, y la oportunidad de abrir nuevos nichos de mercado.

## 5. Literatura citada

- Bárcenas A., P. 2002. Determinación de zonas potenciales para el establecimiento de plantaciones de pitahaya (*Hylocereus spp.*). Tesis Doctorado en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 111 pp.
- Bárcenas A., P., Tijerina Ch. L., Martínez G. A., Becerril R., A.E., Larqué S. A. y Colinas de L., Ma. T. 2002. Respuesta de tres materiales del género *Hylocereus* a la salinidad sulfático-clorhídrica. *Terra* 20(2):123-127.
- Bárcenas P., y Jiménez C., V. 2010. Pitayas y pitahayas (*Stenocereus spp.* e *Hylocereus spp.*), recursos agrícolas en el Valle de Tehuacán Puebla. *Sociedades rurales, producción y medio ambiente* 10:101-120.
- Cáliz de D., Castillo M., R. y Caamal C., H.J. 2014. Caracterización de la producción de pitahaya (*Hylocereus spp.*) en la zona maya de Quintana Roo, México. *Agroecología*: 123-132.
- Castillo, M., R. 2006. Aprovechamiento de la pitahaya: bondades y problemática. *Caos conciencia* 1:13-18.

- Castillo M. R.; Livera M. M., y Márquez G. J. G. 2005. Caracterización morfológica y compatibilidad sexual de cinco genotipos de pitahaya (*Hylocereus undatus*). *Agrociencia* 39 (2): 183-194.
- Centurión Y., A.R., Solís P. S., Saucedo V.C., Báez S.R., y Sauri D. E. 2008. Cambios físicos, químicos y sensoriales en frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) durante su desarrollo. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31: 1-5.
- CIATA.1998. Manejo del riego con tensiómetros. *Tecnología Agroalimentaria. Horticultura. Edición especial*:8-10 pp.
- Corres A., D. 2006. Efecto del fertirriego en la propagación sexual y asexual de la pitahaya (*Hylocereus undatus*) bajo cultivo sin suelo. Tesis Maestría en Ciencias. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Investigación y Desarrollo Integral. Oaxaca, México.115 p.
- Choo Ch., J.; Koh, R.Y. and Kiong L., A. P. 2016. Medicinal properties of pitaya: a review. *Malaysia. Spatula DD* 6 (2):69-76.
- Del Ángel P., A.L.; Hernández E., C.A.; Rebolledo M., A. y Zetina L., R. 2012. Pitahayas: patrimonio biocultural para diversificar la agricultura y la alimentación. Libro técnico No. 31. CIR- GOC-INIFAP. Veracruz, México.183 pp.
- Flores M., L. 2011. Indicadores de rentabilidad en la producción de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en San Juan Ixcaquixtla, Puebla. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 138 pp.
- Gámez M., R. 2015. Polinización artificial de la pitaya. Conservación del polen. Trabajo fin de grado. Ingeniería Agrícola, Universidad de Almería.89 pp.
- García R., L. A.; Vargas P.O.; Ramírez M., F. de J.; Munguía L., G.; Corono O., C.A. y Cruz H., T. 2015. Distribución geográfica de *Hylocereus* (Cactaceae en México). *Botanical Sciences* 93(4): 921-939.
- Grimaldo J., O.; García, V.A.; Ortiz, C.J. y Ruiz, P., L.M. 2001. Características cariotípicas de seis genotipos de pitahaya. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 7: 177–195.
- González H., O. 2013. Germinación y longevidad de semillas de genotipos de pitahaya (*Hylocereus spp.*) y pitaya (*Stenocereus spp.*). Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 94 pp.

- Hernández A., M.; García B., W.J.; Zavala R., W.E.; Romero S., L.F.; Rojas M., E.; Rodríguez C., A.; Gutiérrez Z., J.; Bautista R., D.N. y Reyes R., R. 2018. Pitahaya (*Hylocereus undatus*): Plan Agroecológico para su cultivo en la Región de Halachó-Maxcanú, Yucatán. 1ra ed. Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Texcoco, Estado de México. 57 pp.
- Legaria, S.J.P.; Alvarado C., M.E., Gaspar H. R. 2005. Diversidad genética en pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth. Britton y Rose). Revista Fitotecnia Mexicana. 28: 179–185.
- Martínez R., E. R. 2014. Fenología y desarrollo de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haw. Britt. & Rose) en la región central de Veracruz. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo. 86 pp.
- Ortiz, H., Y.D., Livera M., M., Colinas L., M.T. y Carrillo S., JA 1999. Estrés hídrico e intercambio de CO<sub>2</sub> de la pitahaya (*Hylocereus undatus*). Agrociencia.33:397-405.
- Ortiz, H., Y.D. y Carrillo, S., J.A. 2012. Pitahaya (*Hylocereus spp.*): a short review. Brasil. Comunicata Scientiae 3(4): 220-237.
- Ortiz H. Y.; Carrillo S. J.A., y Livera M. M. 2012. Carbon Exchange rate of pitahaya (*Hylocereus undatus* L. Harwort) in contrasting season and irrigation regimes. Israel Journal of Plant Sciences 60(3):385-392.
- Osuna E., T., Ibarra Z., Ma E., Muy R., Ma. D., Valdez T., J.B., Villarreal R., M. y Hernández V., S. 2011. Calidad postcosecha de frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haw.) cosechados en tres estados de madurez. Revista Fitotecnia Mexicana 34(1): 63-72.
- Osuna E., T.; Valdez T., J.B.; Sañudo B., Josefa A.; Muy R., Ma. D.; Hernández V., S.; Villarreal R., M. y Osuna R., J.M. 2016. Fenología reproductiva, rendimiento y calidad del fruto de pitahaya (*Hylocereus undatus* (How.) Britton and Rose) en el Valle de Culiacán, Sinaloa, México. Agrociencia 50: 61-78.
- Ranjan, P.; Ranjan, J.K.; Misra, R.L.; Dutta, M. and Singh, B. 2016. Cacti: notes on their uses and potential for climate change mitigation. Netherlands. Genetic Resources and Crop Evolution 63:901-917.
- Ricalde, M.F. y Andrade, J.L. 2009. La pitahaya una delicia tropical. México. Ciencia-Comunicaciones libres, julio-septiembre: 36-43.

- Salais L., O. 2011. Evaluación de materiales orgánicos como fuente de fertilización para la pitahaya (*Hylocereus spp.*). Tesis de Maestría en Ciencias. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Investigación y Desarrollo Integral. Oaxaca, México. 83 pp.
- Sotelo, R.D.E., Ortiz T., C. y Rizo A., M.I. 2005. Áreas potenciales para el cultivo de Pitahaya (*Hylocereus undatus* (haw.) Britt. & rose) en el sur del estado de México. Nota técnica. Rev. Ciencia Forestal en México 30(98): 87-97.
- Solís, M., B. 2014. Polinización y amarre de fruto de pitahaya solferina (*Hylocereus sp.*) en la mixteca poblana. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo. 169 pp.
- Tel-Zur N., Mizrahi Y., Cisneros A., Mouyal J., Schneider B. y Doyle J.J. 2011. Phenotypic and genomic characterization of a vine cactus collection (*Cactaceae*). Genetic Resources and Crop Evolution 58:1075-1085.