



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

**DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
POSGRADO DE HORTICULTURA**

**MANEJO AGRONÓMICO EN EL RENDIMIENTO Y LAS
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE PITAHAYA
(*Hylocereus spp.*)**

**TESIS PROFESIONAL
QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA:

LYZBETH HERNÁNDEZ RAMOS

BAJO LA DIRECCIÓN DE:

DRA. MARÍA DEL ROSARIO GARCÍA MATEOS



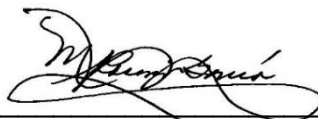
CHAPINGO, TEXCOCO, MÉXICO, MAYO DE 2021.

**MANEJO AGRONÓMICO EN EL RENDIMIENTO Y LAS
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE PITAHAYA (*Hylocereus* spp.)**

Tesis realizada por **LYZBETH HERNÁNDEZ RAMOS** bajo la supervisión del
Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito
parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR:



Dra. María del Rosario García Mateos

ASESOR:



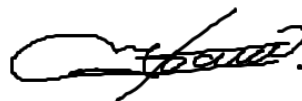
Dra. Ana María Castillo González

ASESOR:



Dr. Raúl Nieto Ángel

ASESOR:



Dra. Ma. Carmen Ybarra Moncada

LECTOR EXTERNO:



Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS.....	VII
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE APÉNDICES.....	XII
DEDICATORIA	XIV
AGRADECIMIENTOS.....	XV
DATOS BIOGRÁFICOS	XVII
RESUMEN GENERAL.....	19
GENERAL ABSTRACT.....	20
I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	21
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	25
2.1. Pitahaya.....	25
2.2. Situación actual de la pitahaya en México	28
2.3. Importancia económica y social de la pitahaya.....	30
2.4. Importancia nutricional y nutracéutica de la pitahaya	31
2.5. Metabolismo fotosintético de la pitahaya	33
2.6. Fenología de la pitahaya.....	34
2.7. Manejo agronómico de la pitahaya	35
2.8. Requerimientos edafoclimáticos de la pitahaya.....	37
2.8.1. Luz	37
2.8.2. Temperatura.....	39
2.8.3. Agua.....	39
2.8.4. Suelo y disponibilidad nutrimental	40
2.9. Postcosecha de pitahaya.....	42
2.10. Literatura citada	44
III. FRUITS OF THE PITAHAYA (<i>Hylocereus undatus</i> AND <i>H. ocamponis</i>): NUTRITIONAL COMPONENTS AND ANTIOXIDANTS.....	52
SUMMARY	53

RESUMEN	54
1. INTRODUCTION	55
2. MATERIALS AND METHODS	58
2.1. Vegetal Material	58
2.2. Physical Characterization	59
2.3. Chemical Characterization	59
2.4. Proximate Analysis	59
2.5. Mineral Quantification	59
2.6. Analysis of Fatty Acid in Seed.....	60
2.7. Nutraceutical Quantification	60
2.8 Quantification of Antioxidant Activity	62
2.9. Statistical Analysis	63
3. RESULTS AND DISCUSSION.....	63
3.1. Physical Characteristics of the Fruits	63
3.2. Chemical Characteristics of Fruits	66
3.4. Fatty Acid Profile of the Pitahaya Seed.....	68
3.5. Nutraceutical Content	69
4. CONCLUSIONS	72
5. REFERENCES	72
IV. POSTCOSECHA DE FRUTOS DE PITAHAYA (<i>Hylocereus ocamponis</i>)	
ALMACENADOS A DIFERENTES TEMPERATURAS.....	77
RESUMEN	78
SUMMARY	79
1. INTRODUCCIÓN.....	80
2. MATERIALES Y MÉTODOS	83
2.1. Material vegetal.....	83
2.1.1. Indicadores de madurez del fruto	83
2.2. Tratamientos, diseño y unidad experimental	84
2.7. Análisis Estadístico	87
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	88
3.1. Características físicas del fruto	88

3.2. Atributos químicos del fruto	92
3.3. Parámetros de color y contenido de betalaínas	94
3.4. Contenido de compuestos fenólicos	101
3.5. Actividad antioxidante	103
4. CONCLUSIONES	103
5. LITERATURA CITADA.....	103
V. RESPUESTA DE PITAHAYA (<i>Hylocereus ocamponis</i> Y <i>Hylocereus undatus</i>) A DIFERENTES NIVELES DE SOMBRA, APLICACIÓN DE LOMBRICOMPOSTA Y PH DE SUELO.....	113
RESUMEN	114
SUMMARY	115
1. INTRODUCCIÓN.....	116
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	118
2.1. Sitio experimental	118
2.2. Material vegetal y sustrato	119
2.4. Aplicación de lombricomposta	120
2.5. Tratamientos, diseño y unidad experimental	120
2.6. Variables evaluadas.....	121
2.7. Análisis estadístico	122
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	123
3.1. Efecto de la lombricomposta en el pH del suelo	123
3.2. Contenido de clorofila	124
3.3. Crecimiento, grosor y peso seco de tallos de pitahaya.....	126
3.4. Análisis nutrimental.....	129
3.5. Agrupamiento de tratamientos según similitudes	136
3.6. Correlación canónica	139
4. CONCLUSIONES.....	140
5. LITERATURA CITADA	140
6. APÉNDICES.....	150
VI. CRECIMIENTO Y COMPUESTOS BIOQUÍMICOS EN PLANTA DE PITAHAYA (<i>Hylocereus ocamponis</i> Y <i>H. undatus</i>) AL SOMBREADO Y A LA FERTILIZACIÓN CON LOMBRICOMPOSTA	157

RESUMEN	158
ABSTRACT	159
1. INTRODUCCIÓN	160
2. MATERIALES Y MÉTODOS	162
2.1. Sitio experimental	162
2.2. Material vegetal y sustrato	163
2.3. pH del sustrato.....	165
2.4. Aplicación de lombricomposta	165
2.5. Tratamientos, diseño y unidad experimental	166
2.6. Variables evaluadas.....	167
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	170
3.1. Crecimiento y producción de brotes.....	170
3.2. Acidez	172
3.3. Acumulación de azúcares solubles.....	173
3.4. Almidón.....	175
3.5. Proteína	175
3.6. Concentración de pigmentos fotosintéticos	175
3.7. Contenido de compuestos fenólicos y flavonoides en tallo.....	179
3.8. Agrupamiento de datos con base a tratamientos por similitud....	181
3.9. Correlación canónica	184
4. CONCLUSIONES	185
5. LITERATURA CITADA.....	186
6. APÉNDICES	195
VII. CONCLUSIONES GENERALES	202

LISTA DE CUADROS

CAPÍTULO III

- Table 1:** Physical and chemical characterization of pitahaya fruits with white (*Hylocereus undatus*) and red pulp (*H. ocamponis*)..... **65**
- Table 2:** Nutritional components in pitahaya fruits with white (*Hylocereus undatus*) and red pulp (*H. ocamponis*)..... **68**
- Table 3:** Fatty acid compositions (%) of pitahaya seed oil white (*Hylocereus undatus*) and red pulp (*H. ocamponis*)..... **69**
- Table 4:** Nutraceutical components and antioxidant activity (aa) in pulp and epicarp of pitahaya fruits: *hylocereus undatus* and red *H. ocamponis*..... **70**

CAPÍTULO IV

- Cuadro 1.** Características morfológicas y físicas del fruto de pitahaya (*Hylocereus ocamponis*) cosechado en madurez preconsumo y madurez de consumo. **89**
- Cuadro 2.** Parámetros de color y contenido de betalaínas en frutos de pitahaya (*H. ocamponis*) cosechados en madurez preconsumo y madurez de consumo. **95**

CAPÍTULO V

- Cuadro 1.** Intensidad de radiación, temperatura y humedad relativa registrada en el día y la noche durante el cultivo de pitahaya (*Hylocereus* spp.), bajo diferentes niveles de sombra..... **117**
- Cuadro 2.** Tratamientos aplicados bajo un diseño de parcelas subdivididas, considerando tres factores: especies de *Hylocereus*, nivel de sombra y aplicación de lombricomposta..... **121**
- Cuadro 3.** Biomasa acumulada y grosor de tallos de dos especies de pitahaya (*Hylocereus ocamponis* y *h. undatus*) cultivadas en invernadero bajo diferentes niveles de sombra y aplicación de lombricomposta a diferentes pH de suelo. **128**

CAPÍTULO VI

Cuadro 1. Intensidad de radiación, temperatura y humedad relativa registrada en el día y la noche durante el cultivo de pitahaya (<i>Hylocereus</i> spp.), bajo diferentes niveles de sombra.....	163
Cuadro 2. Propiedades químicas, físicas y cantidad de elementos minerales como nutrimentos en la mezcla de suelo de tierra negra de monte: tierra compuesta con más de 50 % de hoja seca, utilizado en el experimento....	164
Cuadro 3. Características químicas de la lombricomposta utilizada en los tratamientos del experimento.....	165
Cuadro 4. Tratamientos aplicados bajo un diseño de parcelas subdivididas, considerando tres factores: especies de <i>Hylocereus</i> , nivel de sombra y aplicación de lombricomposta.....	166
Cuadro 5. Crecimiento, número de tallos producidos y biomasa acumulada en dos especies de pitahaya (<i>Hylocereus ocamponis</i> y <i>H. undatus</i>) cultivadas bajo diferentes niveles de sombra y aplicación de lombricomposta a diferentes pH de suelo.	172

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II

- Figura 1.** Plantas de pitahaya en un sistema de espaldera tradicional (tutor metálico). **26**
- Figura 2.** Flores de *Hylocereus ocamponis* (A) y *H. undatus* (B) durante la floración en molcaxac, puebla, México. **27**
- Figura 3.** Frutos de pitahaya de *Hylocereus ocamponis* (A) y *H. undatus* (B). **28**
- Figura 4.** Comportamiento de la producción de pitahaya en el periodo 2010 - 2019 **28**
- Figura 5.** Producción agrícola de pitahaya por entidad federativa durante el 2019..... **29**

CAPÍTULO III

- Figure 1.** Pitahaya: a) white pulp fruit (*Hylocereus undatus*); b) red pulp fruit (*Hylocereus ocamponis*). **64**

CAPÍTULO IV

- Figura 1.** Frutos de pitahaya de pulpa roja cosechados en madurez preconsumo (A) y madurez de consumo (B)..... **84**
- Figura 2.** Pérdida de peso (A), grosor de cáscara (B) y firmeza de cáscara (C), de frutos de pitahaya (*H. ocamponis*) cosechados en dos estados de madurez y almacenados a 6 y 22 °C durante 24 d. **91**
- Figura 3.** Sólidos solubles totales (A), azúcares solubles totales (B) y acidez titulable (C) en pulpa de frutos de pitahaya (*Hylocereus ocamponis*) cosechados en dos estados de madurez y almacenados a 6 y 22 °C durante 24 d. **93**
- Figura 4.** Frutos de pitahaya (*Hylocereus ocamponis*) cosechados en madurez preconsumo y madurez de consumo. **94**
- Figura 5.** Cambios de color en frutos de pitahaya (*Hylocereus ocamponis*) cosechados en dos estados de madurez y y almacenados a diferente

temperatura: T₁: madurez preconsumo / 22 ± 3 °C, T₂: madurez de consumo / 22 ± 3 °C, T₃: madurez preconsumo / 6 ± 1 °C, T₄: madurez de consumo / 6 ± 1 °C..... **97**

Figura 6. Atributos de color en frutos de pitahaya (*Hylocereus ocamponis*) cosechados en dos estados de madurez y almacenados a 6 y 22 °C durante 24 d: luminosidad, ángulo de tono y *chroma* en pulpa (A, C y E) y cáscara (B, D, y F). **98**

Figura 7. Contenido de betalaínas totales en pulpa y cáscara de frutos de pitahaya (*Hylocereus ocamponis*) cosechados en dos estados de madurez y almacenados a 6 y 22 °C durante 24 d..... **100**

Figura 8. Contenido de fenoles solubles totales y actividad antioxidante en pulpa de frutos de pitahaya (*Hylocereus ocamponis*) cosechados en dos estados de madurez y almacenados a 6 y 22 °C durante 24 d..... **102**

CAPÍTULO V

Figura 1. Cambios en el pH del suelo de las macetas de pitahaya (*Hylocereus* spp.), después de la aplicación de subtratamientos de fertilización (pH del suelo y aplicación de lombricomposta) a las parcelas chicas..... **124**

Figura 2. Contenido de clorofilas totales en tallos de pitahaya (*Hylocereus* spp.) cultivada bajo diferentes niveles de sombra.. **125**

Figura 3. Crecimiento de los tallos de pitahaya (*Hylocereus ocamponis* y *H. undatus*) cultivada bajo diferentes niveles de sombra..... **126**

Figura 4. Concentración de nitrógeno (A) y calcio (B) en tallos de pitahaya (*Hylocereus ocamponis* y *H. undatus*), cultivados en invernadero bajo diferentes niveles de sombra y aplicación de lombricomposta a diferentes pH de suelo. **130**

Figura 5. Concentración de potasio (A) y fósforo (B) en tallos de pitahaya (*Hylocereus ocamponis* y *H. undatus*), cultivados en invernadero bajo diferentes niveles de sombra y aplicación de lombricomposta a diferentes pH de suelo. **132**

Figura 6. Concentración de magnesio en tallos de pitahaya (*Hylocereus ocamponis* y *H. undatus*), cultivados en invernadero bajo diferentes niveles de sombra y aplicación de lombricomposta a diferentes pH de suelo. **134**

Figura 7. Concentración de hierro (A) y zinc (B) en tallos de pitahaya (*Hylocereus ocamponis* y *H. undatus*), cultivados en invernadero bajo diferentes niveles de sombra y aplicación de lombricomposta a diferentes pH de suelo. **135**

Figura 8. Dendrograma de observaciones agrupadas en función a todas las variables respuesta..... **138**

Figura 9. Correlación canónica de la primera variable canónica y la correlación simple con sus respectivas variables originales: a) valor nutrimental del tallo de pitahaya y condiciones edafoclimáticas en el cultivo de pitahaya; b) crecimiento del tallo de pitahaya y condiciones edafoclimáticas.	139
--	------------

CAPÍTULO VI

Figura 1. Efecto de la interacción especie por sombra sobre el crecimiento de tallos de dos especies de pitahaya (<i>Hylocereus ocamponis</i> y <i>H. undatus</i>).	171
Figura 2. Cambios en acidez titulable (A), azúcares solubles totales (B), almidón (C) y proteína en tallos de pitahaya (<i>Hylocereus ocamponis</i> y <i>H. undatus</i>), cultivados bajo diferentes niveles de sombra (sin sombra, 35 y 50 %) y con aplicación de lombricomposta a diferentes pH de suelo (6.2 y 8.0).	174
Figura 3. Concentración de clorofila a (A), clorofila b (B), clorofilas totales (C), proporción cla / clb (D) y carotenoides (E) en tallos de pitahaya (<i>H. ocamponis</i> y <i>H. undatus</i>), cultivados bajo diferentes niveles de sombra (sin sombra, 35 y 50 %) y con aplicación de lombricomposta a diferentes pH de suelo (6.2 y 8.0).	178
Figura 4. Contenido de flavonoides (A) y compuestos fenólicos solubles totales (B) en tallos de pitahaya (<i>H. ocamponis</i> y <i>H. undatus</i>), cultivados bajo diferentes niveles de sombra (sin sombra, 35 y 50 %) y con aplicación de lombricomposta a diferentes pH de suelo (6.2 y 8.0).	179
Figura 5. Dendrograma (enlace completo, distancia eucladiana cuadrada) de observaciones agrupadas en función a todas las variables respuesta.	183
Figura 6. Correlación canónica entre el primer par de variables canónicas (v1: bioquímica y u1: edafoclimática) y la correlación simple con sus respectivas variables originales: características bioquímicas del tallo de pitahaya y condiciones edafoclimáticas durante su cultivo.....	185

LISTA DE APÉNDICES

CAPÍTULO V

- Apéndice 1.** Valores percentiles de la distribución de fisher ($F_{0.05}$) y valores de f correspondientes al análisis de varianza para la evaluación del efecto de la especie (*Hylocereus ocamponis* y *H. undatus*), niveles de sombra y aplicación de lombricomposta a diferentes pH de suelo, sobre el crecimiento, contenido de clorofila y concentración nutrimental en tallos de plantas de pitahaya. **150**
- Apéndice 2.** Contenido de clorofilas totales en tallos de dos especies de pitahaya (*Hylocereus ocamponis* y *H. undatus*) cultivadas en invernadero bajo diferentes niveles de sombra y aplicación de lombricomposta a diferentes pH de suelo. **150**
- Apéndice 3.** Efecto de diferentes niveles de sombra (A) y aplicación de lombricomposta a diferentes pH de suelo (B) sobre la acumulación de biomasa seca en tallos pitahaya (*Hylocereus* spp.). **151**
- Apéndice 4.** Efecto de diferentes factores (especie (A), sombra (B) y aplicación de lombricomposta (C) a diferentes pH de suelo) sobre el grosor del tallo de pitahaya (*Hylocereus* spp.). **152**
- Apéndice 5.** Concentración de nitrógeno (A) y calcio (B) en tallos de pitahaya (*Hylocereus ocamponis* y *H. undatus*), cultivados en invernadero bajo diferentes niveles de sombra y aplicación de lombricomposta a diferentes pH de suelo. **153**
- Apéndice 6.** Efecto de la aplicación de lombricomposta, a diferentes pH de suelo, sobre la concentración de potasio en tallos de pitahaya (*Hylocereus* spp.). **154**
- Apéndice 7.** Efecto de la interacción sombra por aplicación de lombricomposta a diferentes pH de suelo (A) y de la interacción especie por sombra (B) sobre la concentración de fósforo en tallos de pitahaya (*Hylocereus* spp.). **154**
- Apéndice 8.** Efecto de diferentes niveles de sombra (A) y aplicación de lombricomposta a diferentes pH de suelo (B) sobre la concentración de magnesio en tallos pitahaya (*Hylocereus* spp.). **155**
- Apéndice 9.** Efecto de la interacción sombra por aplicación de lombricomposta a diferentes pH de suelo (A) y de la interacción especie por sombra (B) sobre la concentración de hierro en tallos de pitahaya (*Hylocereus* spp.). **156**

Apéndice 10. Efecto de la interacción especie por sombra sobre la concentración de zinc en tallos de pitahaya (<i>Hylocereus</i> spp).....	156
--	------------

CAPÍTULO VI

Apéndice 1. Curso diario promedio de la temperatura (A), humedad relativa (B) y radiación solar (C) en los tres niveles de sombra (sin sombra, 35 y 50 %) donde se cultivaron las pitahayas (<i>H. ocamponis</i> y <i>H. undatus</i>), durante el periodo de julio de 2018 a agosto de 2019.	195
--	------------

Apéndice 2. Valores percentiles de la distribución de fisher ($F_{0.05}$) y valores de f correspondientes al análisis de varianza para la evaluación del efecto de la especie (<i>Hylocereus ocamponis</i> y <i>H. undatus</i>), niveles de sombra y aplicación de lombricomposta a diferentes ph de suelo, sobre el crecimiento, contenido de clorofila y concentración nutrimental en tallos de plantas de pitahaya.	196
--	------------

Apéndice 3. Efecto de diferentes factores (sombra (A) y fertilización (B)) sobre la acumulación de peso fresco en dos especies de pitahaya (<i>Hylocereus ocamponis</i> y <i>H. undatus</i>).	197
---	------------

Apéndice 4. Efecto de la interacción sombra por fertilización sobre el crecimiento de tallos de pitahaya (<i>Hylocereus</i> spp.).....	198
--	------------

Apéndice 5. Efecto del nivel de sombra sobre el crecimiento de tallos de pitahaya (<i>Hylocereus</i> spp.).	198
--	------------

Apéndice 6. Efecto de los factores especie y sombra sobre la concentración de clorofila “a” y “b” en dos especies de pitahaya (<i>Hylocereus ocamponis</i> y <i>H. undatus</i>).	199
--	------------

Apéndice 7. Efecto de los factores especie y sombra sobre la concentración de clorofila total y carotenoides de pitahaya (<i>Hylocereus ocamponis</i> y <i>H. undatus</i>).	200
---	------------

Apéndice 8. Efecto de la interacción sombra por fertilización sobre el contenido de compuestos fenólicos solubles totales de tallos de pitahaya (<i>Hylocereus</i> spp.).....	201
---	------------

DEDICATORIA

A mi mamá, Dora Ramos Silva, por su apoyo incondicional, ejemplo de superación y por sus sacrificios realizados, gracias por motivarme a ser alguien en la vida. A ti es a quien le debo más este logro, porque siempre me apoyaste sacrificando tu tiempo para que yo pudiera hacer mi investigación, has tolerado mis momentos de enojo, me has motivado y no me has dejado caer en mis peores momentos; pero sobre todo, por cuidar a mi niño, amarlo y ser una madre para él en los momentos que yo he estado ausente.

A mi hijo, Leonardo Sebastián Hernández, mi hermoso niño, mi motor en esta vida y mi alegría. Iniciaste conmigo esta aventura y con tu sonrisa haces que se me olvide todo lo malo. Soy afortunada por tener a mi pequeño nunu. Te amo y adoro.

A David E. Sebastián, mi compañero de vida. Pese a los malos momentos, logramos salir adelante. Gracias por apoyarme y no dejar que desertara cuando todo se ponía en mi contra. Gracias por acompañarme y apoyarme en mi fase experimental, gracias por los buenos momentos que hemos vivido y gracias por compartir este gusto por las pitahayas.

A mi papá, Salomón Hernández Batista, por tus consejos y apoyo. Por tu sacrificios y esfuerzos para que nosotros salieramos adelante. Por adorar a mi hijo.

A mi hermano Cristian Hernández Ramos, gracias por tus consejos, tolerancia, buen humor, amistad y por tu apoyo incondicional.

A mi hermano Lervin Hernández Ramos, por los momentos compartidos. Por tus consejos. Por el apoyo brindado para en ocasiones cuidar a mi pequeño y el amor que le das.

A mi abuelita, Emily Silva Arenas, por que eres un ejemplo de superación, de madre y el pilar de la familia. Gracias por tus consejos. Eres sorprendente.

A mis tíos, tías, primos y sobrinos, por los buenos momentos vividos los fines de semana y durante esta pandemia.

Los amo

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darnos salud a mí y a toda mi familia. Gracias por poner siempre excelentes personas en mi camino.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo financiero brindado para llevar a cabo los estudios de doctorado.

A la Universidad Autónoma Chapingo, por las oportunidades otorgadas en mi formación profesional.

Al Instituto de Horticultura y a cada uno de los profesores que lo integran, gracias por compartirme sus conocimientos y experiencias profesionales.

A la Dra. Ma. del Rosario García Mateos, gracias por su incondicional apoyo, por compartir conmigo su experiencia y conocimientos, por la confianza que me ha brindado, por sus consejos y guía. Usted me ha enseñado que ser madre y científica no es simple, pero es posible teniendo mucho compromiso, disciplina, amor por lo que se hace y ganas de salir adelante. Gracias por haberme aceptado nuevamente como su tesista, fui afortunada de contar con usted como directora. Le reitero mi respeto y aprecio.

A la Dra. Carmen Ybarra Moncada, gracias por su incondicional apoyo, pero sobre todo su amistad. La admiro por ser excelente profesionista y persona. Faltan más profesores como usted, con esa empatía y calidez. Gracias por siempre haberme brindado un espacio para escucharme y platicar, por sus consejos, por motivarme a ser mejor profesionista. Gracias por su insistencia para motivarme a estudiar un posgrado.

Al Dra. Ana Ma. Castillo González por el apoyo brindado en el desarrollo de la investigación, por sus consejos y sugerencias durante la fase experimental. **Al Dr. Raúl Nieto Ángel** por transmitirme sus conocimientos y experiencias relacionadas con la pitahaya, y acertadas recomendaciones.

Al Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar, por el tiempo dedicado a la revisión del presente trabajo, ya que gracias a sus sugerencias y observaciones se enriqueció el presente documento de tesis.

A la M. C. Bibiana Solis Martínez y al Ing. Osvaldo Ramos, por abrirme las puertas de su casa y transmitirme sus conocimientos y amor por las pitahayas. Gracias por todas las facilidades brindadas para la presente tesis.

A la Q.F.B. Ángela Barrera Cortez, por su asesoría técnica durante la fase experimental en el Laboratorio de Anatomía de frutales. Gracias por su buena disposición, apoyo y gentileza.

A mis compañeros y amigos del doctorado, en especial a: Ángel, Christian, Rubí, Carlos y Silvia. Por los buenos momentos, apoyo y momentos de esparcimiento que vivimos durante estos más de cuatro años. A Dolores Lainez y Juan Antonio Hernández, por su empatía y palabras de aliento.

A Leticia García Cruz y Fernando Flores Guzmán, gracias por sus consejos y amistad incondicional.

DATOS BIOGRÁFICOS

Lyzbeth Hernández Ramos es originaria de la ciudad de Tizayuca, Hidalgo. Realizó sus estudios de nivel superior y maestría en la Universidad Autónoma Chapingo. En el 2012, obtuvo el título de Ingeniero Agroindustrial, número de cédula profesional 7660573, con la tesis “Control del oscurecimiento no enzimático en miel de maguey (*Agave mapisaga*)”. En el 2014, obtuvo el grado de Maestro en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, número de cédula profesional 9948924, con la tesis “Valor nutracéutico y nutricional de aguamiel y miel de maguey obtenida por tres métodos de deshidratación”, siendo reconocida con el “Premio Arturo Fregoso Urbina” a la Mejor Tesis de los Programas de Posgrado 2014, UACH.

Se ha desempeñado como Profesor-Investigador y jefe de Carrera de la Ingeniería en Agroindustrias de la Universidad de la Costa (octubre de 2015 a octubre de 2016), institución perteneciente al Sistema de Universidades Estatales de Oaxaca; y como Gerente de empaque en la agroindustria Greenmex (2015). De agosto de 2013 a febrero de 2014 colaboró en el “Proyecto estratégico territorial maguey” del Departamento de Fitotecnia, UACH y Sedagro, Delegación Teotihuacan, Estado de México.

Ha participado en las siguientes publicaciones científicas: Extractos vegetales para el control de *Colletotrichum gloeosporioides in vitro*, en periodo de floración y poscosecha del fruto de *Carica papaya*, Revista Polibotanica (2021, coautor); Fruits of the pitahaya *Hylocereus undatus* and *H. ocamponis*: nutritional components and antioxidants, Journal of Applied Botany and Food Quality (2020, primer autor); Nutritional value and antioxidant activity of the maguey syrup (*Agave salmiana* and *A. mapisaga*) obtained through three treatments, Journal Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca (2020, primer autor); y Efecto del tostado sobre el valor nutritivo y componentes antioxidantes de la semilla de capomo (*Brosimum alicastrum*: Moraceae), Revista Chapingo Serie Horticultura (2019, coautor).

Ha presentado en modalidad de ponencia los siguientes trabajos: “Intensidad de la radiación sobre el crecimiento y las características fisicoquímicas de tallos de pitahaya (*Hylocereus ocamponis*) en el VIII Congreso Internacional y XXII Congreso Nacional de Ciencias Agronómicas (octubre de 2020); “Caracterización nutricional y potencial nutracéutico de frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus*)” en el VII Congreso Internacional y XXI Congreso Nacional de Ciencias Agronómicas (abril de 2019); “Valor nutracéutico y nutricional de aguamiel y miel de maguey” como parte del Seminario de Investigación UNCOS (febrero, 2016); “Agave

salmiana drink (aguamiel): nutritional and nutraceutical values of four cultivars” en el II International Symposium on Agave (octubre de 2014); “Potencial nutracéutico de aguamiel y miel de maguey (*Agave mapisaga* Trel)” en el II Congreso Internacional y XVI Congreso Nacional de Ciencias Agronómicas (abril de 2014); “La miel de maguey en el Estado de Hidalgo” en el IV Congreso Nacional del Maguey y el Pulque (octubre de 2013); y “Control del oscurecimiento no enzimático en miel de maguey (*Agave mapisaga*)” en el 1er Congreso Internacional y 3er Congreso Nacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas (noviembre de 2012).

Durante el periodo de 2018 a 2020 ha participado como directora de dos tesis de la carrera de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Autónoma Chapingo, con los temas: “Propuesta de mejora de una unidad de producción agroindustrial de néctar de *Agave salmiana* en el Cardonal, Hidalgo”, proyecto concluido 2019; “Propagación y conservación *in vitro* de *Agave salmiana* de interés ecológico y económico en el Cardonal, Hidalgo”, proyecto concluido 2018. Además, a participado en las asesorías dos tesis de Ingeniería Agroindustrial (proyectos concluidos) y actualmente es asesora de tesis de dos estudiantes de la Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, UACH.

Ingresó al Posgrado en Horticultura de la Universidad Autónoma Chapingo, para realizar sus estudios de Doctorado durante enero de 2017 a diciembre de 2020.

RESUMEN GENERAL

Manejo agronómico en el rendimiento y las características físico-químicas de pitahaya (*Hylocereus* spp.)

La pitahaya (*Hylocereus* spp.) es una cactácea nativa de América. A pesar de la gran diversidad de especies que se localizan en México, se desconoce el manejo agronómico que permita que la pitahaya exprese su mayor potencial productivo; así como, su comportamiento postcosecha, valor nutricional y nutracéutico de la fruta de diversas especies de *Hylocereus*. Se evaluaron las características físico-químicas, componentes nutricionales y antioxidantes de frutos de *H. ocamponis* (pulpa roja) y *H. undatus* (pulpa blanca); así como, el comportamiento postcosecha de frutos de *H. ocamponis* en dos estados de madurez (preconsumo y consumo) y almacenados a dos temperaturas (6 y 22°C). La pulpa de *H. ocamponis* presentó mayor contenido de betalaínas y actividad antioxidante en comparación con *H. undatus*. La vida útil de los frutos de *H. ocamponis* cosechados en madurez de consumo y almacenados a 6 ± 1 °C se estimó en 24 d. La vida útil de los frutos de *H. ocamponis* almacenados a 22 ± 3 °C se estimó en 12 d. Por otra parte, se evaluó el efecto del sombreado (sin sombra, 35 y 50 %) y la aplicación de lombricomposta al sustrato como fuente de fertilización a diferentes pH de suelo (6.2 y 8.0) en el desarrollo, contenido de pigmentos fotosintéticos, características bioquímicas y concentración nutrimental de tallos de *H. ocamponis* y *H. undatus*. La especie *H. undatus* mostró mayor adaptación al nivel de intensidad de radiación solar, logrando expresar su máximo potencial de desarrollo en condiciones de cultivo sin sombra y con 35 % de sombra. En cambio, *H. ocamponis* mostró un mayor desarrollo, producción de brotes vegetativos, contenido de clorofilas y acumulación de biomasa con 35 % de sombra. La cáscara de ambas especies podría ser fuente de pigmentos en la industria alimentaria.

Palabras clave: frutos, betalaínas, antioxidantes, vida postcosecha, concentración nutrimental y desarrollo de planta.

¹Tesis de Doctorado en Ciencias, en Horticultura, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Lyzbeth Hernández Ramos

Director de Tesis: Dra. María del Rosario García Mateos

GENERAL ABSTRACT

Agronomic management on yield and physico-chemical characteristics of pitahaya (*Hylocereus* spp.)

The pitahaya (*Hylocereus* spp.) is a cactus native to America. Despite the great diversity of species located in Mexico, little is known of agronomic management that allow pitahaya to express its greater productive potential; as well as the postharvest behaviour, nutritional and nutraceutical value of the fruit of various species of *Hylocereus*. An evaluation was made regarding the physical-chemical characteristics, the nutritional components, and the antioxidants of the fruits of *H. ocamponis* (mesocarp or red pulp) and *H. undatus* (white pulp); as well as to evaluate the postharvest behaviour of fruits of *H. ocamponis* harvested in two stages of maturity (pre-consumption and consumption) and stored under two temperatures (6 and 22 °C). The red pulp of *H. ocamponis* presented the highest content of betalains and antioxidant activity compared to that of *H. undatus*. The skin of both species could be a source of pigments in the food industry. Shelf life of *H. ocamponis* fruit harvested when ripe for consumption and stored at 6 ± 1 °C, was estimated in six days. Shelf life of *H. ocamponis* fruit stored at 22 ± 3 °C, was estimated in 12 days. Moreover, the effect of shading (without shade, 35 and 50 %) and the application of vermicompost to the substrate as a source of fertilization at different soil pH (6.2 and 8.0) was evaluated, on development, photosynthetic pigment content, biochemical characteristics and nutrient concentration of stems of *H. ocamponis* and *H. undatus*. The species *H. undatus* showed a greater adaptation to the level of intensity of solar radiation, being able to express its maximum potential of development in conditions of cultivation without shade and with 35 % of shade. In contrast, *H. ocamponis* showed a greater development, production of vegetative shoots, chlorophyll content and biomass accumulation with 35 % shade.

Keywords: fruits, betalains, antioxidants, postharvest life, nutrient concentration and plant development.

¹Doctoral Thesis in Science, in Horticulture, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo

Author: Lyzbeth Hernández Ramos

Advisor: Dra. María del Rosario García Mateos

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

La pitahaya (*Hylocereus* spp.), es una cactácea que pertenece al grupo de las plantas MAC (Metabolismo del Ácido Crasuláceo), de importancia frutícola por sus frutos comestibles. Los frutos frescos de pitahaya son de alto valor nutricional y potencial nutraceutico dado que son fuente de carbohidratos (pectina, azúcares simples, entre otros), alto contenido de fibra, proteína, minerales (principalmente potasio, magnesio, calcio, fósforo y baja concentración de zinc y hierro, y nula presencia de sodio) y diversas sustancias nutraceuticas (compuestos fenólicos, flavonoides, triterpenos y betalaínas) y otros metabolitos antioxidantes como ácido ascórbico (vitamina C); además, las semillas inmersas en su pulpa presentan alta concentración de ácidos grasos insaturados (principalmente ácido oleico y linoleico) (Hernández-Ramos et al., 2020; Ibrahim et al.; 2018; Mercado-Silva, 2018)

El fruto no climatérico es una baya globosa o subglobosa, de pulpa dulce y jugosa con semillas pequeñas, conocido habitualmente como “fruta del dragón” por la presencia de brácteas en el epicarpio. Se reconocen 18 especies identificadas hasta ahora del género *Hylocereus* Britton & Rose (Britton y Rose, 1963), integra plantas de pitahaya con frutos con diferente color de epicarpio (epicarpio rojo, rosa y amarillo) y mesocarpio (blanco, rojo, rosa o púrpura) según la especie. En México, se localizan principalmente tres especies: *H. ocamponis*, conocida como pitahaya solferina (epicarpio y mesocarpio rojos, rosa o púrpura), es una especie nativa de México poco documentada; *H. purpusii* (epicarpio y mesocarpio rojo), especie que ha sido introducida para su cultivo en diversos países asiáticos; finalmente, *H. undatus* (epicarpio rojo o rosa y mesocarpio blanco), especie de mayor importancia económica, cultivo y exportación en el mundo (García-Rubio et al., 2015).

Las pitahayas son especies clave para su aprovechamiento en regiones áridas y semiáridas, al ser plantas eficientes en el uso del agua por su metabolismo del ácido crasuláceo (MAC) alternativa fotosintética que les

permite fijar dióxido de carbono (CO₂) y almacenarlo en las vacuolas en forma de ácido málico durante la noche, cuando las tasas de evapotranspiración son menores (Mizrahi et al., 2007). Lo anterior es importante, dado que en México más de 65 % de su territorio se encuentra en condiciones de sequía (precipitaciones menores a 600 mm) (Becerril-Piña et al., 2015). Además, México es un importante centro de origen de diversas especies de cactus y presenta una gran diversidad de especies de pitahaya, hasta nueve de las 18 especies identificadas hasta ahora del género *Hylocereus* (Novoa et al., 2015; Cáliz de Dios, 2004). Por lo cual, el cultivo de pitahaya podría contribuir al desarrollo agrícola, económico y social de México principalmente en zonas áridas; sin embargo, existe poca información del manejo agronómico que permita a la pitahaya expresar su mayor potencial productivo; así como, el comportamiento postcosecha, valor nutricional y nutracéutico de la fruta de diversas especies de *Hylocereus* cultivada en distintas regiones biogeográficas de México.

Por lo anterior, en esta tesis se realizó: a) la caracterización morfológica y fisicoquímica de los frutos de dos especies de pitahaya (*Hylocereus ocamponis* y *H. undatus*) cultivadas en una región semiárida de México; b) la evaluación del comportamiento postcosecha de *H. ocamponis*, especie poco documentada; y c) la evaluación del manejo agronómico en el desarrollo y composición bioquímica y nutricional de pitahaya (*Hylocereus ocamponis* y *H. undatus*), plantas cultivadas en condiciones controladas o de invernadero. Para lograr lo anterior, se desarrollaron cuatro etapas, las cuales se describen a partir del Capítulo III de la presente tesis.

El Capítulo III se enfoca en la caracterización física, química y componentes antioxidantes en los frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus* e *Hylocereus ocamponis*), cosechados en una plantación comercial ubicada en una región semiárida en el estado de Puebla, México. Esto con el fin de contribuir con información nutricional y nutracéutica de especies de pitahaya poco documentadas de los frutos que ayude a fomentar su consumo y

aprovechamiento agroindustrial. En el presente trabajo se encontró que el fruto de *H. undatus* presentó mayor valor nutrimental que el fruto de *H. ocamponis*; sin embargo, la pulpa roja de *H. ocamponis* presentó el mayor potencial nutraceutico. Además, la cáscara de pitahaya es un recurso subutilizado que podría aprovecharse en la obtención de un colorante natural en la industria alimentaria.

En el Capítulo IV se presenta la evaluación del comportamiento postcosecha de frutos de pitahaya (*H. ocamponis*) cosechados en dos estados de madurez (preconsumo y consumo) y almacenados a 6 y 22 °C durante 24 d. Se trabajó solo con frutos de *H. ocamponis* dado la falta de información relacionada con su manejo postcosecha y la calidad nutraceutica de esta fruta. Se encontró menor pérdida de peso, firmeza y grosor de cáscara en los frutos cosechados en madurez de consumo y almacenados a 6 ± 1 °C, alcanzando los 24 d de vida útil.

El Capítulo V presenta la evaluación del efecto de sombreado (sin sombra, 35 y 50 % de sombra) y fertilización orgánica (suelo con diferente pH más aplicación de lombricomposta) sobre el crecimiento, contenido de clorofilas totales y concentración nutrimental (N total, P, K, Mg, Ca, Zn y Fe) de tallos de *Hylocereus ocamponis* y *H. undatus*. Esto con el fin de determinar las condiciones de manejo agronomico que permita que la pitahaya exprese su mayor potencial productivo, para lo cual se diseñaron 18 tratamientos producto de la combinación de los factores: especie, sombra y condiciones de aplicación de lombricomposta. Se encontró que *H. ocamponis* se desarrolla adecuadamente con 35 % de sombra; en contraste, *H. undatus* no mostró diferencias significativas sin sombra y con 35 % de sombra.

Finalmente, el Capítulo VI se describen los resultados obtenidos en la evaluación del desarrollo (crecimiento, peso fresco acumulado y tallos producidos) y compuestos bioquímicos (acidez, azúcares solubles, almidón, proteína, clorofila a, clorofila b, carotenoides, flavonoides y compuestos fenólicos) en planta de pitahaya (*Hylocereus ocamponis* y *H. undatus*) al

sombreado y a la fertilización con lombricomposta. Se corroboró que la especie *H. undatus* mostró mayor adaptación al nivel de intensidad de radiación solar (cultivo sin sombra y con 35 % de sombra); en cambio, *H. ocamponis* mostró mayor desarrollo, producción de brotes vegetativos, contenido de clorofilas y acumulación de biomasa fresca con 35 % de sombra, y posible sensibilidad de esta especie a la fotoinhibición cuando se cultiva sin sombra. El cultivo de pitahaya con 50 % de sombra afectó el desarrollo de la planta y ocasionó menores valores de los pigmentos fotosintéticos, acumulación de azúcares solubles, acidez y compuestos fenólicos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Pitahaya

Las pitahayas son cactáceas que pertenecen al género *Hylocereus*, de importancia hortícola por sus frutos comestibles. Actualmente, la producción mundial de pitahaya ha aumentado, ganando gran popularidad en países europeos y asiáticos dado el atractivo color y flavor del fruto, considerado como exótico (Mercado-Silva, 2018). Hoy en día, esta planta se cultiva en zonas áridas y semiáridas dado su alta tolerancia a la sequía al ser una planta que presenta el metabolismo ácido de las crasulácea (MAC).

2.1.1. Origen y distribución

Las plantas de pitahaya son nativas de América, por lo que se distribuyen de manera natural desde México hasta Uruguay (Ibrahim et al., 2018). Las superficies de cultivo de pitahaya se han extendido a diversas regiones tropicales, subtropicales, áridas y semiáridas del mundo, particularmente en países como Tailandia, Israel, China, Vietnam, Estados Unidos, Malasia, Taiwan, India, Indonesia, Australia, Camboya, Filipinas, entre otros, por la creciente demanda comercial y adaptabilidad a diferentes condiciones edafoclimáticas (Ibrahim et al., 2018; Mercado-Silva, 2018).

Clasificación taxonomía y diversidad de especies

La pitahaya pertenece a la familia Cactaceae, subfamilia Cactoideae, tribu Hylocereeae y género *Hylocereus*. No existe un trabajo de clasificación que incluya todas las especies del género *Hylocereus*, por lo que es uno de los aspectos que no se ha resuelto completamente, varias especies son poco conocidas y existe controversia sobre cuantas especies se localizan en México. De acuerdo con Britton y Rose (1963), este género está integrado por 18 especies, y en México se localizan aproximadamente nueve especies,

que se distribuyen en regiones templadas, tropicales, subtropicales y semiáridas de la república mexicana (García-Rubio et al., 2015; Cáliz De Dios, 2004). Recientemente, otros autores refieren que el género *Hylocereus* esta conformado por 14 especies (Kishore, 2016) y que, en México, las especies de mayor distribución son *H. ocamponis*, *H. purpusii*, *H. undatus* e *H. aff. Escuintlensis* (García-Rubio et al., 2015).

Respecto a las especies de estudio en la presente investigación: *H. ocamponis* es nativa de México y *H. undatus* es una especie que presenta amplia variabilidad morfológica y genética, por lo que México es considerado centro de diversificación de esta especie (García-Rubio et al., 2015; Legaria Solano et al., 2005).

2.1.2. Morfología

La pitahaya es una planta perenne de hábito hemiepífito (Figura 1), por lo que crece naturalmente sobre otras plantas (mezquite, pitaya, guaje, chacáh, entre otros) o soportes (estructuras metálicas, de concreto o de madera).



Figura 1. Plantas de pitahaya en un sistema de espaldera tradicional (tutor metálico).

Además, las diversas especies de *Hylocereus* se caracterizan por el desarrollo de raíces secundaria o adventicias en la parte plana de su tallo, que les permite adherirse, trepar y mantener la planta erecta. El tallo de las pitahayas es succulento, de color verde, con ramas principales y laterales con tres aristas (costillas), con presencia de areólas distantes entre sí y espinas

rigidas menores a 6 mm. La forma de areóla y número de espinas por areóla son atributos descriptores útiles para la identificación de las especies de *Hylocereus*.

Las flores de *Hylocereus* son hermafroditas y se caracterizan por ser grandes (alrededor 20-35 cm de longitud y más de 30 cm de diámetro), de forma acampanada o tubular, con brácteas de diferente tamaño y color dependiendo de la especie (verdes, amarillo verdoso o amarillas con orillas rojas) (Figura 2), pétalos blancos o rosas, y numerosos estambres. Estas flores son conocidas coloquialmente como la reina de la noche, dado que presentan antesis nocturna y se marchitan a la mañana siguiente. De acuerdo con Kishore (2016), la flor nace con un ovario inferior rodeado por un receptáculo, formando una estructura llamada pericarpelo que está rodeado de escamas foliáceas verdes (brácteas) que se adhieren al fruto hasta la maduración.

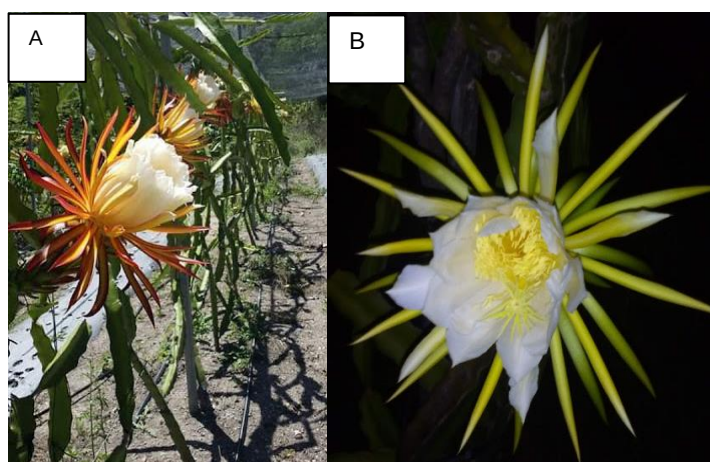


Figura 2. Flores de *Hylocereus ocamponis* (A) y *H. undatus* (B) durante la floración en Molcaxac, Puebla, México.

Los frutos de pitahaya se caracterizan por baya de forma redonda, globosa u ovoide, y de cáscara gruesa con brácteas grandes. Durante el desarrollo y maduración del fruto toman lugar diversos cambios en la pigmentación: primeramente, en el mesocarpio y posteriormente, en su epicarpio. La cáscara desarrolla un color rojo, rosa o amarillo, y un característico color

blanco, rojo, rosa o púrpura en la pulpa, según la especie (Ibrahim et al., 2018; Magalhães et al., 2019). La pulpa de la pitahaya es suave, jugosa con abundantes semillas negras embebidas (Figura 3).



Figura 3. Frutos de pitahaya de *Hylocereus ocamponis* (A) y *H. undatus* (B).

2.2. Situación actual de la pitahaya en México

En 2019, se cosecharon poco más de 1,495 hectáreas de pitahaya, con un valor de producción de 9,029 toneladas anuales. La pitahaya se cultiva principalmente a cielo abierto y únicamente 22.5 % corresponde a agricultura de riego.

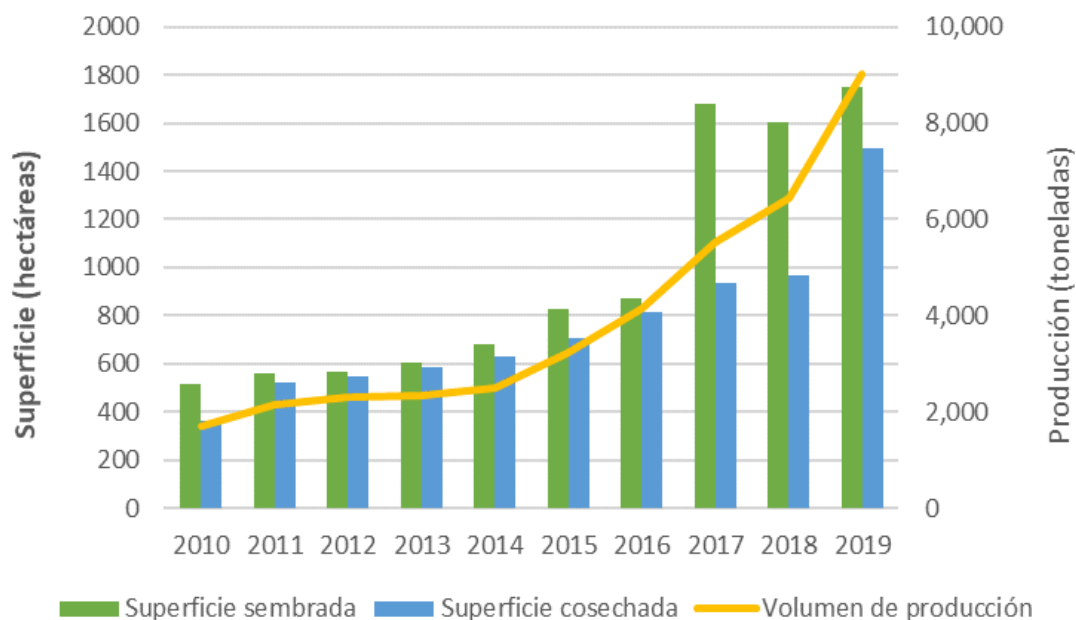


Figura 4. Comportamiento de la producción de pitahaya en el periodo 2010 - 2019 (SIAP, 2020).

En los últimos diez años, la superficie cultivada y volumen de producción muestran una tendencia creciente, pues mientras que en 2010 se sembraron 517 ha con una producción de 1,691 toneladas, en 2019 se sembraron 1,753 ha y el volumen de producción se quintuplicó (Figura 4), junto con una mejora en el rendimiento de cosecha (4.66 a 6.04 t ha⁻¹) (SIAP, 2020).

Durante 2019, en ocho entidades federativas se cultivó la pitahaya en plantaciones intensivas; sin embargo, la mayor concentración tanto de la superficie como de la producción estuvo concentrada en tan solo dos entidades: Quintana Roo y Yucatán. Los principales Estados productores son Yucatán, Quintana Roo, Puebla y Tabasco (Figura 5) con 99 % del valor total de la producción nacional (SIAP, 2020).

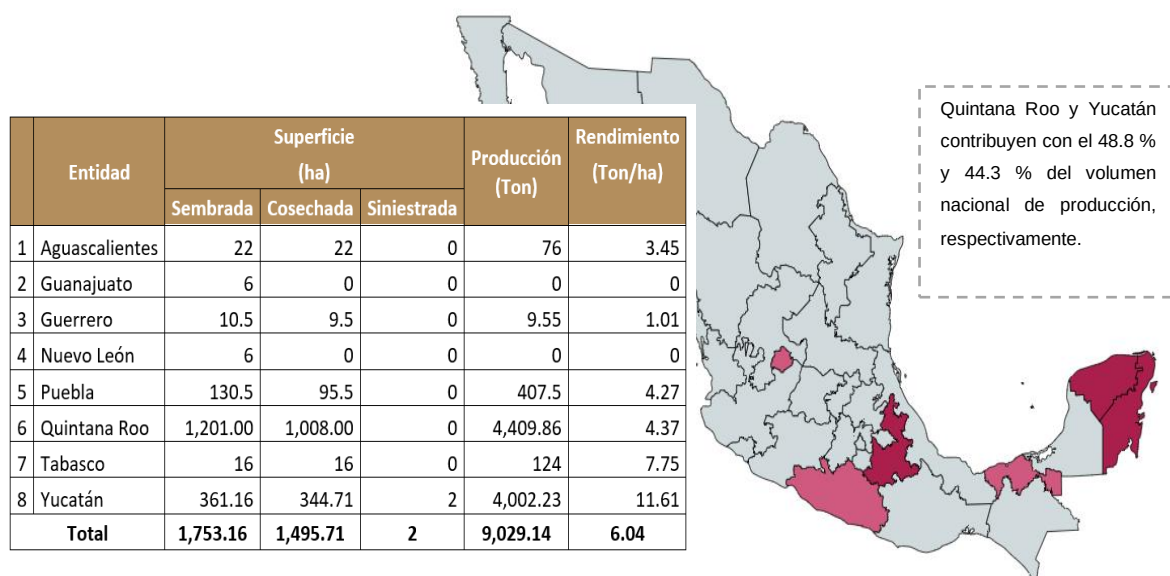


Figura 5. Producción agrícola de pitahaya por entidad federativa durante el 2019 (SIAP, 2020).

En la última década, en México se ha incrementado más de cinco veces la producción de pitahaya, de una producción de 1 691 t hasta obtener un poco más de 9 000 t (SIAP, 2020); probablemente el volumen de producción nacional sea mayor a lo estimado oficialmente debido a que es común que la pitahaya se cultive en condiciones de traspatios y en pequeñas huertas. Asimismo, se ha documentado la riqueza y amplia distribución del género

Hylocereus en México, García-Rubio et al. (2015) reportaron la presencia de diversas especies de *Hylocereus* (*H. ocamponis*, *H. purpusii*, *H. undatus* e *H. aff. escuintlensis*.) de manera silvestre y cultivo tipo huerta, en diversos estados de la república como Campeche, Chiapas, Colima, Estado de México, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Morelos, Sinaloa, San Luis Potosí, Querétaro, y Veracruz. Además, los autores refieren que la mayor riqueza de especies silvestres se encuentra en Chiapas, Guerrero, Jalisco, Michoacán y Oaxaca; en contraste, en Campeche y Yucatán se registra principalmente el cultivo de *H. undatus*.

2.3. Importancia económica y social de la pitahaya

Las pitahayas son especies clave para su aprovechamiento en regiones áridas y semiáridas, al ser plantas eficientes en el uso del agua por su metabolismo del ácido crasuláceo (Plantas MAC). Las regiones áridas, semiáridas y subhúmedas secas representan aproximadamente 65 % de la superficie terrestre de México (Becerril-Piña et al., 2015), regiones que se caracterizan por su escasa disponibilidad de agua, alta radiación solar, temperaturas extremas, alto potencial de evapotranspiración y suelos problemáticos (calcáreos o salinos), condiciones que tienen un efecto negativo en el crecimiento y rendimiento de la mayoría de las plantas cultivadas, situación que ha ocasionado el abandono de tierras de cultivo.

La pitahaya es una especie frutícola que ha permitido el restablecimiento y aprovechamiento de tierras abandonadas. Actualmente, la Secretaría de Desarrollo Agropecuario (Sedagro) esta impulsando el cultivo de pitahaya en regiones semiáridas de México, dado su amplia adaptabilidad a diferentes condiciones edafoclimáticas, alta rentabilidad y potencial productivo, mediante diversos proyectos incluidos en el Programa de Desarrollo Territorial (Prodeter) para Frutales (Anónimo, 2020). Además, la pitahaya es una especie frutícola con alto precio medio rural (19 085 pesos por tonelada), cercano a lo reportado en otras especies como el aguacate (21,505 pesos por tonelada) (SIAP, 2020). En el 2019, el valor nacional de la producción de

pitahaya fue de 172 millones de pesos para los agricultores, de los cuales 52.2 % correspondieron a ingresos obtenidos por los agricultores yucatecos (SIAP, 2020).

Por otro lado, la pitahaya tiene arraigo en los traspatios y en estas condiciones se ha reporta un alto volumen de producción, tan solo en el estado de Campeche se ha localizado hasta 384 huertas de traspatio. Además, el cultivo de pitahaya en traspatio presenta alta diversidad genética; sin embargo, se requiere información de las especies y/o variedades de pitahaya cultivadas en estos traspatios, así como conocer su potencial productivo y también capacitar a productores sobre el manejo fitosanitario por la amplia problemática de plagas y enfermedades para evitar la afectación del material genético existente en traspatios (Manzanero-Acevedo et al., 2014).

2.4. Importancia nutricional y nutracéutica de la pitahaya

Actualmente, el consumo de frutas y verduras ha ido en aumento, debido a los atributos nutricionales y propiedades funcionales; desempeñando un papel importante en la prevención de enfermedades crónicas y degenerativas (El Sohaimy, 2012), debido al contenido de ingredientes nutracéuticos. Un alto consumo de frutas y verduras asegura una ingesta de cantidades adecuadas de nutrientes, fibras dietéticas y fitoquímicos no nutritivos; ayudando a prevenir algunos problemas de salud pública de este siglo, como la obesidad, diabetes, cáncer, osteoporosis, artritis, colesterol y otros trastornos cardiovasculares (Badimon et al., 2010; Das et al., 2012).

El fruto de pitahaya es fuente de carbohidratos (azúcares simples, hemicelulosa, pectina, mucilago), proteínas, minerales (principalmente potasio, magnesio, calcio, fósforo en menor concentración, zinc, hierro), compuestos antioxidantes (ácidos fenólicos, flavonoides), pigmentos (betalaínas), vitaminas C y B, triterpenoides (colesterol, campesterol,

estigmasterol y β -sitosterol) (Ibrahim et al., 2018; Lim et al., 2010; Mercado-Silva, 2018), hasta 75 componentes volátiles responsables del flavor de la fruta fresca, entre los que se encuentran el hexanal, 1-hexanol, nonanal, ácido octanoico y 3-hexen-1-ol; y un alto contenido de lípidos funcionales presentes en las semillas (ácidos palmítico, oleico, linoleico, entre otros) (Akram & Mushtaq, 2019; Ho et al., 2021). Moo-Huchin et al. (2014) y Mercado-Silva (2018) han reportado que la composición promedio de *H. undatus* es: 82.3 % de humedad, 44.5 % de fibra dietética expresada en peso seco (ps.), 6.8 % de fibra soluble (ps.), 37.7 % de fibra insoluble (ps.), 0.5 % de proteína (ps.), 6.0 mg de calcio 100 g⁻¹ (ps.), 19.0 mg de fósforo 100 g⁻¹ (ps.), 0.4 mg de hierro g⁻¹ (ps.), 58.9 mg de equivalentes de ácido gálico 100 g⁻¹ (ps.) y de 25.0-37.3 mg de equivalentes de ácido ascórbico 100 g⁻¹ (ps.). Sin embargo, se desconocen las características de *H. ocamponis*.

La pitahaya tiene una gran cantidad de componentes funcionales, tales como betalaínas, oligosacáridos y compuestos fenólicos, que poseen diversas actividades biológicas como antioxidante, antimicrobiana, anticancerígena, antiinflamatoria, antiproliferativa y actividad ansiolítica (Gengatharan et al., 2015; Wybraniec et al., 2007; Wu et al., 2006).

Por otro lado, el color de cáscara, y en algunas especies el color de la pulpa, se debe a una alta concentración de betalaínas, fitoquímicos restringidos, principalmente en las familias del orden Caryophyllales. Estos metabolitos derivan biosintéticamente del ácido betalámico, se agrupan en betacianinas, responsables del color rojo-púrpura y betaxantinas, pigmentos amarillos-naranja. En diversas especies de pitahaya se ha reportado alta concentración de betalaínas: 28 mg 100 g⁻¹ de pulpa en *H. polyrhizus*, 23 mg 100 g⁻¹ de pulpa en *H. purpusii*, 39 mg 100 g⁻¹ en pulpa de *H. costaricensis* y 29 mg 100 g⁻¹ en pulpa de *H. undatus* (clon rojo) (Wybraniec y Mizrahi, 2002). También se ha encontrado que las betacianinas más abundantes en *H. ocamponis*, *H. undatus*, y *H. purpusii*, y en algunos híbridos de *H. costaricensis* x *H. polyrhizus* y *H. undatus* x *H. polyrhizus* son betanina,

filocactina e hilocerenina y sus respectivos isómeros; así como la presencia de betaxantinas, siendo la más abundante la indicaxantina (Wybraniec et al., 2007).

Además, se ha reportado un efecto sinérgico de las betalaínas y compuestos fenólicos sobre la actividad antioxidante de los frutos de pitahaya. En diferentes genotipos de pitahaya se ha reportado la presencia de ácido gálico, compuesto fenólico con propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, antifúngicas y anticancerígenas; así como de tirosina, aminoácido que con el ácido betalámico son precursores de la biosíntesis de betalaínas. Otros compuestos fenólicos presentes en especies de *Hylocereus* son el ácido elágico, acetilcumarina y compuestos derivados del ácido hidroxicinámico (Esquivel et al., 2007).

2.5. Metabolismo fotosintético de la pitahaya

La pitahaya (*Hylocereus* spp.) pertenece al grupo de las plantas MAC (Metabolismo del Ácido Crasuláceo), alternativa fotosintética que les permite fijar dióxido de carbono (CO_2) durante la noche cuando los estomas están abiertos, mediante el fosfoenolpiruvato (PEP) bajo la acción de PEP carboxilasa (PEPC) para formar ácido oxaloacético, el cual es reducido a ácido málico que se almacena en las vacuolas. Durante el día, la planta mantiene sus estomas cerrados para reducir la pérdida de agua y libera CO_2 del ácido málico por descarboxilación oxidativa, proceso catalizado por la enzima NADP-málica, y posteriormente, a través de la RuBP carboxilasa se realiza el ciclo C-3 para sintetizar carbohidratos tales como las hexosas, almidón y otros polisacáridos. Ambos procesos tienen lugar durante la noche y el día en las células del mesófilo. Además, el metabolismo fotosintético MAC, normalmente va asociada con cambios morfológicos como son órganos fotosintéticos con grandes vacuolas, diseñados para el almacenamiento de agua en estas estructuras celulares (Azcón-Bieto & Talón, 2013; Fonseca-García et al., 2016).

Existen plantas que funcionan como C3 o MAC, según las condiciones ambientales. Hay plantas MAC obligadas y MAC facultativas o C3-MAC. En el caso específico de la pitahaya, algunos autores han reportado que especies como *Hylocereus undatus* son plantas MAC no facultativas, por lo que este metabolismo no se induce en función de las condiciones ambientales (Wang et al., 2019); sin embargo, otros autores han señalado que esta especie puede ser MAC-C3, dado que en *H. undatus* bien regada observaron apertura estomática durante el día (Graham & Nobel, 2005).

2.6. Fenología de la pitahaya

El ciclo fenológico de la pitahaya comprende diversas etapas de crecimiento vegetativo (desarrollo de yema vegetativa, hinchazón de yema, alargamiento de cogollos, brotación, desarrollo de brotes y propagación de órganos vegetativos) y crecimiento reproductivo (aparición y desarrollo de yemas reproductivas, hinchazón y alargamiento de yemas reproductivas, alargamiento del tubo floral, formación de tubos florales, floración, polinización, cuajado de fruto, desarrollo y maduración de la fruta) (Kishore, 2016).

La pitahaya tiene su etapa reproductiva entre primavera a otoño. La floración coincide con el periodo de lluvias, asociado con un aumento de temperatura y humedad relativa. Durante este tiempo, la pitahaya puede presentar entre tres a siete ciclos de floración, dependiendo de la especie y de las condiciones ambientales de la región de cultivo (Osuna-Enciso et al., 2016).

La pitahaya es un cáctacea de floración nocturna, su polinización natural está ligada a diferentes polinizadores bióticos, como son los murciélagos y mariposas nocturnas. En la pitahaya puede darse la autopolinización o la polinización cruzada; sin embargo, se reporta que diversas especies de *Hylocereus* presentan problemas de autoincompatibilidad, por lo que se puede presentar poco porcentaje de amarre del fruto. La flor de *H. undatus* y *H. megalanthus* tiene la capacidad de autopolinizarse y de ser una especie

autocompatible; en contraste, *H. polyrhizus*, *H. monacanthus* y *H. costaricensis* se describen como especies con problemas de autoincompatible, dado que aún después de la polinización no germina el tubo polínico, por lo que requiere un donador de polen para garantizar un alto porcentaje de fructificación, y dicha polinización cruzada depende de la acción de polinizadores bióticos (Kishore, 2016; Lichtenzveig et al., 2000).

La floración esta influenciada por el fotoperiodo, inducida por días largos. El desarrollo de un capullo floral a una flor completamente abierta requiere entre 25 a 35 d. Las flores comienzan a abrirse en la tarde-noche y la antesis se completan en 3-4 h. Posteriormente, a la polinización le sigue el marchitamiento de la flor, fenómeno que comienza en la mañana siguiente. Por último, el desarrollo del fruto es un proceso que termina con la madurez, proceso que se alcanza entre 30 a 35 d después del cuajado. Es importante señalar, que hay evidencia de que los frutos de *Hylocereus* obtenidos mediante polinización cruzada presentan mayor calidad en términos de tamaño y características fisicoquímicas de su pulpa, con valores superiores a lo observado en frutos obtenidos por polinización natural (Kishore, 2016).

Por otra parte, es importante conocer y comprender las etapas fenológicas de *Hylocereus*, pues esto permitirá a los productores realizar prácticas de manejo esenciales de manera oportuna y eficaz, como es la polinización, control de plagas, manejo nutrimental de la planta y cosecha de frutos. Respecto al momento óptimo de cosecha, éste debe de ser definido considerando el mercado final, en una etapa de maduración avanzada para un mercado distante o en etapa completamente madura para el consumo (Kishore, 2016).

2.7. Manejo agronómico de la pitahaya

Las pitahayas son especies adaptadas a diferentes condiciones ambientales, como es a lugares de baja precipitación pluvial y suelos problemáticos, y se consideran plantas de fácil propagación y cultivo. La pitahaya se propaga principalmente de manera asexual, mediante esquejes o tallos; aunque,

también se puede llevar a cabo la propagación sexual mediante semillas, no es recomendable debido a que las plantas tardan entre cuatro a seis años en llegar a su etapa reproductiva. La propagación vegetativa por esquejes se realiza a través de la separación de tallos maduros de la planta, los cuales se enraízan mediante el trasplante directo del en el terreno definitivo o en bolsas con sustrato hasta obtener plantas con un sistema radical vigoroso y abundante, para su posterior trasplante al terreno definitivo (Montesinos Cruz et al., 2015).

La pitahaya es una planta de hábito trepador por lo que para su desarrollo requiere de soportes o tutores, que permiten mayor porcentaje de radiación incidente en la planta y además facilitan la aplicación de labores culturales como son la fertilización, podas, manejo fitosanitario y cosecha de frutos. Los tutores pueden ser de dos tipos, tutores vivos (sobre otras plantas, como son mezquite, pitaya, guaje, chacáh, entre otros) o tutores muertos (estructuras metálicas, de concreto o de madera).

Por otra parte, el cultivo de pitahaya en México recibe poco manejo en relación con el riego, fertilización y control de plagas y enfermedades, destacando solo la poda como la principal actividad (Manzanero-Acevedo et al., 2014). La poda de pitahaya permite mantener sana a la planta y regular el número de tallos producidos. En los primeros dos años de desarrollo de la pitahaya es conveniente realizar podas de formación, con el fin de eliminar brotes y mantener el crecimiento de uno o dos brotes que alcancen la cima del tutor. Además, es conveniente realizar la eliminación de tallos secos y afectados por plagas o enfermedades; así como, la eliminación de tallos improductivos con el fin de evitar el peso excesivo de la planta sobre los tutores y aumentar la aireación e intensidad de radiación incidente sobre todos los tallos, lo que contribuye al control de enfermedades. Por último, es conveniente realizar poda después de la cosecha, con el fin de eliminar tallos laterales y promover la producción de brotes vegetativos y multiplicar areolas, sitios donde se forman las flores (Osuna-Enciso et al., 2016).

2.8. Requerimientos edafoclimáticos de la pitahaya

2.8.1. Luz

La pitahaya posee la vía fotosintética del metabolismo ácido de las crasuláceas (MAC), por lo que su abertura estómatomica máxima tiene lugar en la oscuridad, en este caso se contrarrestan completamente las respuestas normales a la luz. La respuesta fotosintética a la luz varía en estas plantas, siendo común utilizar al flujo de fotones para fotosíntesis (FFF) y a la radiación fotosintéticamente activa (RFA) como medida de luz incidente, que corresponde al flujo de fotones o cantidad de radiación efectiva para la fotosíntesis (400 a 700 nm) (Azcón-Bieto y Talón, 2013). En las cactáceas, la absorción nocturna de CO₂ ocurre en promedio a 23 mol·m⁻²·s⁻¹, proceso que es acompañado con acumulación nocturna de ácido. En diversos cactus y agaves, los valores de RFA entre 20 a 25 mol·m⁻²·s⁻¹, están correlacionados con 90 a 100 % de máxima acumulación nocturna de ácido. Cuando el fotoperiodo se mantiene constante en 12 h con una RFA diaria total de 10 mol·m⁻²·s⁻¹ se obtienen varios niveles instantáneos de RFA en ciertos niveles específicos; en el caso de *Opuntia ficus-indica* se observó una acumulación máxima nocturna de ácido de 90 % con una RFA instantánea de 700 μmol·m⁻²·s⁻¹, que equivale a una acumulación de ácido de 30 μmol H⁺ ·m⁻²·s⁻¹ (Nobel, 1988). Además, en algunas especies de pitahaya como es *H. undatus*, se ha reportado una considerable absorción neta de CO₂ a una RFA diaria total de 2 mol·m⁻²·s⁻¹, por su amplia adaptabilidad a condiciones de poca luz (Nobel & La Barrera. 2004).

La intensidad de radiación tiene efecto sobre el rendimiento fotosintético de plantas MAC, debido a que influye en el grado de asimilación de CO₂, afecta los niveles de acumulación de ácido málico en la vacuola y ocasiona fluctuaciones en las tasas diarias de movilización de ácido málico durante el día (Lüttge, 2004). Cervantes et al., (2005) refieren que las plantas epífitas pueden experimentar fotoinhibición (reducción de la tasa fotosintética normal y daño al aparato fotosintético), así como efectos negativos sobre el

intercambio gaseoso y crecimiento de la planta al exponerla a altos niveles de radiación solar. En pitahaya, se ha encontrado que diversas especies de *Hylocereus* puede sufrir fotoinhibición al cultivarse a más de $20 \text{ mol m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ (Nobel & La Barrera, 2004; Raveh et al., 1998). Varios autores han reportado mayor asimilación de CO_2 en plantas de *Hylocereus* cultivadas bajo sombra. Ortiz Hernández et al. (1999) reportaron mayor tasa de asimilación de CO_2 ($3.89 \text{ } \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) en plantas de *H. undatus* cultivadas con 30 % de RFA, en comparación con aquellas plantas expuestas a 70 % de RFA, cuyos valores fueron inferiores en 51 % ($1.89 \text{ } \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Estudios realizados por Raveh et al. (1998) en *H. polyrhizus*, indicaron que la producción de flores por planta, acumulación de ácido málico y contenido de clorofila es mayor en plantas cultivadas bajo sombra, reportando un nivel de sombra óptimo de 30 % para esta especie. Además, se ha reportado mayor crecimiento de los tallos de *H. undatus* en condiciones de sombra bajo 36 a 48 % del FFF diario incidente ($16 \text{ a } 22 \text{ mol m}^{-2} \text{ día}^{-1}$), que en aquellos con menor o mayor radiación (Andrade et al., 2006).

Por otra parte, la luz es un factor que influye fuertemente en el transporte de iones minerales en la planta, debido a que el transporte activo de nutrientes requiere energía metabólica, siendo el ATP de la fotofosforilación la principal fuente de energía (Higinbotham, 1973). Además, la luz tiene efecto sobre la transpiración, proceso que puede influir en la absorción de minerales. Por ejemplo, el calcio es un elemento que se moviliza por la planta, para satisfacer sus demandas vía xilema; por lo que la absorción y distribución de Ca se encuentra influenciada por el movimiento del agua a los órganos transpirantes (Montanaro et al., 2006). Otro ejemplo del efecto la luz se observa en la absorción y la asimilación de nitrógeno, se ha reportado una disminución en la absorción de NO_3^{-1} en plantas cultivadas a baja intensidad de luz. Asimismo, la absorción de NO_3^{-1} por las raíces depende del flujo continuo de carbohidratos solubles, proceso mediado por fitocromos (Dubey y Pessarakli, 2001).

2.8.2. Temperatura

La pitahaya es un cultivo con alto potencial de producción y adaptabilidad a condiciones adversas de sequía prolongada (precipitaciones anuales menores a 600 mm) y a fluctuaciones de temperaturas extremas. La temperatura influye en casi todos los procesos, como en la absorción neta de CO₂ y, por ende, en el crecimiento. Las plantas MAC fijan el CO₂ durante la noche, cuando la temperatura es menor y la humedad relativa del aire es mayor, lo que disminuye las pérdidas de agua al abrir los estomas. De acuerdo con Nobel & La Barrera (2004), la temperatura óptima del aire para la absorción nocturna neta diaria total de CO₂ en *Hylocereus undatus* es de 20 °C, valor superior a lo tolerado en otras cactáceas. En contraste, la temperatura óptima para la absorción nocturna de CO₂ en diversas cactáceas oscila entre 10 a 15 °C. Además, se ha reportado que especies de pitahaya, como *H. undatus*, pueden presentar una pérdida neta de CO₂ a temperaturas del aire superiores a 42/32 °C durante el día/noche, por lo que periodos prologados en estas condiciones puede ocasionar la muerte de diversas células fotosintéticas, zonas necróticas en el tallo y reducir la producción de flores.

El estrés por calor por la alta intensidad de radiación y temperaturas en las plantas de *Hylocereus* puede prevenirse o reducirse por la aplicación de diferentes técnicas agrícolas, como es el sombreado natural o artificial en los huertos, el desarrollo de cultivares tolerantes al calor e injertos para conferir una mayor tolerancia al estrés por calor (Tomaz de Oliveira et al., 2021).

2.8.3. Agua

Las especies MAC son plantas cuyas raíces ocupan un pequeño volumen de sustrato y de poca capacidad de retención de agua y, en consecuencia, se secan rápidamente. El género *Hylocereus* integra varias especies nativas de bosques tropicales; actualmente su cultivo predomina en regiones áridas o semiáridas del mundo (Nobel & La Barrera, 2004). Las pitahayas son plantas eficientes en el uso del agua por su metabolismo del ácido crasuláceo

(MAC), alternativa fotosintética que va asociada con cambios morfológicos como son órganos fotosintéticos con grandes vacuolas, diseñados para el almacenamiento de agua en estas estructuras celulares (Fonseca-García et al., 2016). Las plantas MAC tienen una eficiencia de uso del agua de dos a cinco veces más que lo reportado en plantas C3, grupo de plantas que agrupa a la mayoría de las especies vegetales, y en plantas C4, como son el maíz y la caña de azúcar, bajo condiciones ambientales similares (Andrade et al., 2006).

En especies MAC, la tasa máxima neta de absorción de CO₂ durante periodos prolongados de sequía ocurre durante la noche cuando se presenta menor temperatura del tallo y, por ende, menores tasas de transpiración a una determinada apertura estomática. La diferencia de presión de vapor entre la hoja y el aire y los niveles de ácido abscísico controlan la abertura estomática en relación con la disminución de la pérdida de agua. En *H. undatus* cultivada en condiciones de sequía, la retención de agua por la planta disminuye las tasas netas y cantidad diaria total de absorción de CO₂ en aproximadamente un 10 % por día. La tasa neta máxima de absorción de CO₂ en *H. undatus*, en condiciones de buena disponibilidad de agua, fue de 12 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; y en condiciones de estrés hídrico, con temperaturas y humedades relativas promedios del día/noche de 38/29 °C y 39/61 %, respectivamente, se observó una disminución del 50 % de la tasa neta máxima de absorción de CO₂ a los 4 d de retención de agua y del 92 % a los 8 d (Ben-Asher et al., 2006; Nobel & La Barrera, 2004).

2.8.4. Suelo y disponibilidad nutrimental

La nutrición del cultivo de pitahaya y el efecto de los diferentes nutrimentos sobre la tasa neta de absorción de CO₂ y desarrollo de la pitahaya han sido poco estudiada. En *H. undatus* se ha reportado que la aplicación de dosis altas de N, K y P acelerará el crecimiento de la parte aérea de la planta y favorece la producción de brotes, dado que el N nitrógeno actúa como un estimulador de división y alargamiento celular; el P estimula la producción de

biomasa y es un elemento que participa en la producción de ATP y componente de otras moléculas como NADPH, ácidos nucleicos, fosfolípidos y azúcares fosfatados, compuestos que juegan un rol importante en la fotosíntesis, por lo cual es uno de los nutrimentos que más limita el crecimiento y desarrollo de las plantas; y el K promueve el aumento del grosor de tallos y es un elemento esencial para realizar la traslocación de carbohidratos y la regulación de apertura y cierre estomático (Carstensen et al., 2018; Gonçalves et al., 2020).

Algunos autores sugieren que, por los requerimientos nutrimentales de la pitahaya, ésta puede ser manejada bajo un sistema orgánico y convencional con fertilizantes; sin embargo, la nutrición del cultivo ha sido poco investigada. Morales-Ayala et al. (2020) evaluaron el desarrollo vegetativo y la nutrición de *H. undatus* e *H. ocamponis* en respuesta al uso de vermicompost y fertirriego en suelo vertisol, reportando que el manejo de estas dos especies con fertirriego, con 200 mg·L⁻¹ de N, P y K, más 5 kg de vermicomposta por planta favorece la mayor concentración de N, K y Ca en los tallos y el crecimiento vegetativo en ambas especies, al aumentar el número y longitud de los brotes.

La pitahaya es una cactácea con gran adaptabilidad a diversas condiciones ambientales, que ha favorecido su introducción a regiones con marcadas diferencias edafoclimáticas. Las especies de *Hylocereus* se adaptan a distintos tipos de suelos, incluso calcáreos y moderadamente salinos; sin embargo, en estas condiciones se puede presentar baja biodisponibilidad de nutrimentos para la planta, debido a que se caracterizan por ser ligeramente a fuertemente alcalinos (pH 7.5 a 8.6) y llegan a presentar un alto contenido de CaCO₃ (Ström et al., 2005), condiciones que afectan la disponibilidad de P, N, Fe, B, Mn, Cu y Zn (Bertrand et al., 2003). No existe información con respecto a la absorción nutrimental de la pitahaya en regiones áridas y semiáridas, por lo que se requieren investigaciones que permitan mejorar la producción y la calidad de la fruta en estas regiones.

2.9. Postcosecha de pitahaya

El fruto de *Hylocereus* es una baya de comportamiento no climatérico, que no puede madurar y desarrollar sabor después de ser cosechada, por lo cual debe de ser cosecha en madurez de consumo (Liu et al., 2019; Nerd et al., 1999; Tran et al., 2015). Sin embargo, algunos autores afirman que los frutos de pitahaya pueden cosecharse en diferentes estados de madurez, dependiendo de su destino comercial, se recomienda cosechar los frutos en madurez media o preconsumo (fruto semimaduro) para la comercialización en mercados distantes al sitio de cultivo, estado de madurez que se caracteriza por una predominantemente pigmentación roja en la cáscara; y en madurez completa o de consumo para la comercialización de pitahaya en mercados cercanos y consumo inmediato, estado de madurez donde el fruto presenta pigmentación roja intensa en la totalidad de la cáscara. En ambos estados de madurez, el fruto presenta características adecuadas para su comercialización (sólidos solubles, acidez, pH, peso, firmeza y grosor de cáscara) (Osuna Enciso et al., 2011 y Magalhães et al. 2019). Es importante señalar que los frutos de *Hylocereus* cosechados en madurez inicial (preconsumo) presentan mayor vida postcosecha dado su mayor firmeza de pulpa y menor tasa de respiración; sin embargo, presentan menor nivel de sólidos solubles totales y color menos atractivo que aquellos frutos cosechados en madurez de consumo (Osuna Enciso et al., 2011).

Aun cuando la pitahaya se coseche en madurez preconsumo para su movilización a mercados nacionales e internacionales, su comercialización puede verse limitada por su corta vida de anaquel, por lo que se ha evaluado diversas técnicas postcosecha para alargar su vida útil, como son: tratamientos químicos (Jiang et al., 2020; Liu et al., 2019), irradiación (Uthairatanakij et al., 2018; Wall & Khan, 2008), atmósferas modificadas o controladas (Ho et al., 2021; Magaña et al., 2006), uso de empaques (Chandran, 2010; Freitas & Mitcham, 2013) y almacenamiento a bajas temperaturas (Balois-Morales et al., 2013; Freitas & Mitcham, 2013; Punitha et al., 2010; Quiroz-González et al., 2017). Actualmente, el uso de bajas

temperaturas de almacenamiento es el método de manejo postcosecha más ampliamente utilizado para prolongar la vida útil de la pitahaya (Freitas & Mitcham, 2013; Ho et al., 2021; Mercado-Silva, 2018); considerándose adecuado el almacenamiento de pitahaya entre 6 a 10 °C, intervalo óptimo de temperatura que permite almacenar y conservar este fruto durante dos a tres semanas (Balois-Morales et al., 2013; Nerd et al., 1999).

La mayor información sobre su manejo postcosecha son las especies *H. undatus*, *H. megalanthus* y *H. polyrhizus*. Algunos autores mencionan que los frutos de *H. undatus* y *H. polyrhizus* almacenados a una temperatura menor o igual a 6 °C puede desarrollar daños por frío (pérdida de firmeza, oscurecimiento de brácteas y parte externa de la pulpa, liberación de electrolitos, entre otros síntomas) (Nerd et al., 1999; Quiroz-González et al., 2017). En contraste, Freitas & Mitcham (2013) refieren que el almacenamiento de *H. undatus* a 5 o 7 °C por 20 d permite disminuir la pérdida de peso de los frutos y conservar la firmeza de la pulpa y de la cáscara, así como el color verde de las brácteas; pero cuando se complementa el almacenamiento a baja temperatura con el uso de bolsas plásticas, se reduce considerablemente el marchitamiento del fruto. En otros estudios, evaluaron el almacenamiento de frutos de *H. polyrhizus* y *H. undatus* cosechados en madurez de consumo y almacenados a 20, 14 y 6 °C, concluyendo que el almacenamiento a 6 °C permitió conservar la calidad comercial del fruto por tres semanas; dos semanas para aquellos frutos almacenados a 14 °C y una vida útil de una semana para aquellos frutos a 20 °C; sin embargo, los frutos almacenados a 6 °C durante dos semanas perdieron rápidamente su calidad cuando fueron transferidos a 20 °C y almacenados por una semana más, dado que se volvieron inaceptablemente blandas (Nerd et al., 1999).

Por otra parte, Yong et al. (2018) reportaron un aumento de 57 % en el contenido de betacianinas de pitahaya (*H. polyrhizus*) después de 6 d de almacenamiento a 4 °C. En cambio, Obenland et al. (2016) reportaron que el almacenamiento a 5 y 10 °C de diferentes cultivares de pitahaya (*Hylocereus*

spp.) permitió conservar las concentraciones de betailas en pulpa durante dos semanas, encontrando valores estadísticamente iguales a lo obtenido al momento de cosecha; aunque reportan una ligera disminución de la actividad antioxidante de los frutos almacenados a 5 °C. Lo anterior, es debido a que se ha demostrado que las betalaínas son compuestos estables durante el almacenamiento en frío; pero la actividad antioxidante de la pitahaya no solo es debida a estos pigmentos, sino también esta asociada de igual modo compuestos fenólicos. Además, estos autores refieren que el almacenamiento de pitahaya a 5 y 10 °C durante dos semanas provocó una pérdida de azúcares, acidez y compuestos volátiles; aunque estos cambios no perjudican la calidad y aceptabilidad global del fruto por parte del consumidor.

Por último, existe poca información sobre el manejo y comportamiento postcosecha y condiciones de almacenamiento de los frutos de algunas especies, principalmente de especies nativas como *H. ocamponis* (pitahaya roja pulpa roja, rosa o púrpura), especie que esta tomando mayor importancia en los productores por sus características favorables (mayor dulzor y atractivo color rojo intenso de pulpa, asociado a su alto contenido de betalaínas) para su comercialización.

2.10. Literatura citada

- Akram, S., & Mushtaq, M. (2019). Dragon (*Hylocereus megalanthus*) Seed Oil. En *Fruit Oils: Chemistry and Functionality* (pp. 675–689). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-12473-1_36
- Andrade, J. L., Rengifo, E., Ricalde, M. F., Simá, J. L., Cervera, J. C., & Vargas Soto, G. (2006). Microambientes de luz, crecimiento y fotosíntesis de la pitahaya (*Hylocereus undatus*) en un agrosistema de Yucatán, México. *Agrociencia*, 40(6), 687–697. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30240601>
- Anónimo. (2020). Impulsa Puebla la producción de pitaya y pitahaya. *Revista Unica*. <https://revistaunica.com.mx/impulsa-puebla-la-produccion-de-pitaya-y-pitahaya/>

- Azcón-Bieto, J., & Talón, M. (2013). Fundamentos de fisiología vegetal. (Segunda edición). McGraw-Hill - Interamericana De España, Publicacions I Edicions de la Universitat de Barcelona. 651 p.
- Badimon, L., Vilahur, G., & Padro, T. (2010). Nutraceuticals and atherosclerosis: human trials. *Cardiovasc. Ther.* 28(4), 202-215. DOI: 10.1111/j.1755-5922.2010.00189.x
- Balois-Morales, R., Peña-Valdivia, C. B., & Arroyo-Peña, V. B. (2013). Symptoms and sensitivity to chilling injury of pitahaya (*Hylocereus undatus* (haw.) Britton & Rose) fruits during postharvest. *Agrociencia* 47: 795–813.
- Becerril-Piña, R., Mastachi-Loza, C. A., González-Sosa, E., Díaz-Delgado, C., & Bâ, K. M. (2015). Assessing desertification risk in the semi-arid highlands of central Mexico. *Journal of Arid Environments*, 120, 4–13. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.04.006>
- Ben-Asher, J., Nobel, P. S., Yossor, E., & Mizrahi, Y. (2006). Net CO₂ uptake rates for *Hylocereus undatus* and *Selenicereus megalanthus* under field conditions: Drought influence and a novel method for analyzing temperature dependence. *Photosynthetica*, 44(2), 181–186. <https://doi.org/10.1007/s11099-006-0004-y>
- Bertrand, I., Holloway, R. E., Armstrong, R. D., & McLaughlin, M. J. 2003. Chemical characteristics of phosphorus in alkaline soils from southern Australia. *Australian Journal of Soil Research*. 41(1), 61. doi:10.1071/sr02021
- Britton N.L. y Rose J.N. (1963). The Cactaceae: descriptions and illustration of plants of the cactus family, Vol. I y II. Dover Publications Inc., Nueva York
- Cálix De Dios, H. (2004). Distribución geográfica de las pitahayas (*Hylocereus*) en la república mexicana. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*. 49, 4-23.
- Carstensen, A., Herdean, A., Schmidt, S. B., Sharma, A., Spetea, C., Pribil, M., & Husted, S. (2018). The impacts of phosphorus deficiency on the photosynthetic electron transport chain. *Plant Physiology*, pp.01624.2017. doi:10.1104/pp.17.01624
- Cervantes, S. E., Graham, E. A., & Andrade, J. L. (2005). Light microhabitats, growth and photosynthesis of an epiphytic bromeliad in a tropical dry forest. *Plant Ecology*, 179(1), 107–118. <https://doi.org/10.1007/s11258-004-5802-3>
- Chandran, S. (2010). Effect of film packaging in extending shelf life of dragon fruit, *Hylocereus undatus* and *Hylocereus polyrhizus*. *Acta Horticulturae*, 875, 389–394. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.875.49>

- Das, L., Bhaumik, E., Raychaudhuri, U., Chakraborty, R. (2012). Role of nutraceuticals in human health. *J. Food Sci. Technol.* 49, 173-183
- Dubey, R. S., & Pessarakli, M. (2001). Physiological Mechanisms of Nitrogen Absorption and Assimilation in Plants Under Stressful Conditions. En M. Pessarakli (Ed.), *Handbook of Plant and Crop Physiology* (Second Edi, pp. 637–655). <https://doi.org/10.1201/9780203908426>
- El Sohaimy, S. A. (2012). Functional foods and nutraceuticals-modern approach to food science. *World Applied Sciences Journal* 20: 691-708.
- Esquivel, P., Stintzing, F. C., & Carle, R. (2007). Phenolic Compound Profiles and their Corresponding Antioxidant Capacity of Purple Pitaya (*Hylocereus* sp.) Genotypes. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 62(9–10), 636–644. <https://doi.org/10.1515/znc-2007-9-1003>
- Fonseca-García, C., Coleman-Derr, D., Garrido, E., Visel, A., Tringe, S. G., & Partida-Martínez, L. P. (2016). The Cacti Microbiome: Interplay between Habitat-Filtering and Host-Specificity. *Frontiers in Microbiology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00150>
- Freitas, S. T. de, & Mitcham, E. J. (2013). Quality of pitaya fruit (*Hylocereus undatus*) as influenced by storage temperature and packaging. *Scientia Agricola*, 70(4), 257–262. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000400006>
- García-Rubio, L. A., Vargas Ponce, O., Ramírez-Mireles, F. D. J., Munguía-Lino, G., Corona-Oceguera, C. A., & Cruz-Hernández, T. (2015). Distribución geográfica de *Hylocereus* (Cactaceae) en México. *Botanical Sciences*, 93(4), 921. <https://doi.org/10.17129/botsci.282>
- Gonçalves, A. F. M., Pinto, S. I. do C., & Corrêa, R. M. (2020). Pitaya (*Hylocereus undatus*) initial growth in function to NPK fertilization. *Revista Agrogeoambiental*, 11(4). <https://doi.org/10.18406/2316-1817v11n420191370>
- Graham, E. A., & Nobel, P. S. (2005). Daily Changes in Stem Thickness and Related Gas Exchange Patterns for the Hemiepiphytic Cactus *Hylocereus undatus*. *International Journal of Plant Sciences*, 166(1), 13–20. <https://doi.org/10.1086/425669>
- Gengatharan, A., Dykes, G.A., & Choo, W.S. (2015). Betalains: natural plant pigments with potential application in functional foods. *LWT-Food Sci. Technol.* 64(2), 645–649. DOI: 10.1016/j.lwt.2015.06.052
- Hernández-Ramos, L., García-Mateos, R., Castillo-González, A. M., Ybarra-Moncada, C., & Nieto-Ángel, R. (2020). Fruits of the pitahaya *Hylocereus undatus* and *H. ocamponis*: nutritional components and antioxidants. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 93, 197–203. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2020.093.024>

- Higinbotham, N. (1973). The mineral absorption process in plants. *Bot. Rev* 39, 15–69. <https://doi.org/10.1007/BF02860069>
- Ho, P. L., Tran, D. T., Hertog, M. L. A. T. M., & Nicolai, B. M. (2021). Effect of controlled atmosphere storage on the quality attributes and volatile organic compounds profile of dragon fruit (*Hylocereus undatus*). *Postharvest Biology and Technology*, 173, 111406. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111406>
- Ibrahim, S. R. M., Mohamed, G. A., Khedr, A. I. M., Zayed, M. F., & El-Kholy, A. A.-E. S. (2018). Genus *Hylocereus*: Beneficial phytochemicals, nutritional importance, and biological relevance-A review. *Journal of Food Biochemistry*, 42(2), e12491. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12491>
- Jiang, Y.-L., Chen, L.-Y., Lee, T.-C., & Chang, P.-T. (2020). Improving postharvest storage of fresh red-fleshed pitaya (*Hylocereus polyrhizus* sp.) fruit by pre-harvest application of CPPU. *Scientia Horticulturae*, 273, 109646. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109646>
- Kishore, K. (2016). Phenological growth stages of dragon fruit (*Hylocereus undatus*) according to the extended BBCH-scale. *Scientia Horticulturae*, 213, 294–302. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.10.047>
- Legaria Solano, J. P., Alvarado Cano, M. E., & Hernández, R. G. (2005). Diversidad genética en pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth. Britton y Rose). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 28, 179–185. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61028301>
- Lichtenzweig, J., Abbo, S., Nerd, A., Tel-Zur, N., & Mizrahi, Y. (2000). Cytology and mating systems in the climbing cacti *Hylocereus* and *Selenicereus*. *American Journal of Botany*, 87(7), 1058–1065. <https://doi.org/10.2307/2657005>
- Lim, H.K., Tan, C.P., Karim, R., Ariffin, A.A., & Bakar, J. (2010). Chemical composition and DSC thermal properties of two species of *Hylocereus* cacti seed oil: *Hylocereus undatus* and *Hylocereus polyrhizus*. *Food Chem.* 119(4), 1326–1331. DOI: 10.1016/j.foodchem.2009.09.002
- Liu, R., Gao, H., Chen, H., Fang, X., & Wu, W. (2019). Synergistic effect of 1-methylcyclopropene and carvacrol on preservation of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*). *Food Chemistry*, 283, 588–595. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.066>
- Lüttge, U. (2004). Ecophysiology of Crassulacean Acid Metabolism (CAM). *Annals of Botany*, 93(6), 629–652. <https://doi.org/10.1093/aob/mch087>
- Magalhães, D. S., da Silva, D. M., Ramos, J. D., Salles Pio, L. A., Pasqual, M., Vilas Boas, E. V. B., Galvão, E. C., & de Melo, E. T. (2019). Changes in the physical and physico-chemical characteristics of red-pulp dragon fruit during its development. *Scientia Horticulturae*, 253, 180–186. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.050>

- Magaña, W., Balbín, M., Corrales, J., Rodríguez, A., & Saucedo, C. (2006). Principales características de calidad de las pitahayas (*Hylocereus undatus* Haworth), frigoconservadas en atmósferas controladas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 15, 52–57. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93215211>
- Manzanero-Acevedo, L. A. Isaac-Márquez, R., Zamora-Crescencio, P. Rodríguez-Canché, L. Guadalupe, Ortega-Haas, J. J., & Dzib Castillo, B. (2014). Conservación de la pitahaya [*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose] EN EL ESTADO DE CAMPECHE, MÉXICO. *Foresta Veracruzana*, 16, 9–16. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49731008002>
- Mercado-Silva, E. M. (2018). Pitaya— *Hylocereus undatus* (Haw). En *Exotic Fruits* (pp. 339–349). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803138-4.00045-9>
- Mizrahi, Y., Raveh, E., & Yossov, E. (2007). New fruit crops with high water use efficiency. *Creating Markets for Economic Development of New Crops and New Uses*, June, 216–222. https://www.researchgate.net/profile/Eran_Raveh/publication/242476162_New_Fruit_Crops_With_High_Water_Use_Efficiency/links/5433adf70cf20c6211be61dd.pdf
- Montanaro, G., Dichio, B., Xiloyannis, C., Celano, G. 2006. Light influences transpiration and calcium accumulation in fruit of kiwifruit plants (*Actinidia deliciosa* var. *deliciosa*). *Plant Science*, 170(3), 520–527. doi:10.1016/j.plantsci.2005.10.004
- Montesinos Cruz, J., Rodríguez-Larramendi, L., Ortiz-Pérez, R., Fonseca-Flores, M., Ruíz Herrera, G., & Guevara-Hernández, F. (2015). Revisión bibliográfica Pitahaya (*Hylocereus* spp.) un recurso fitogenético con historia y futuro para el trópico seco mexicano. *Cultivos tropicales*, 36, 67–76. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v36s1/ctr07s115.pdf>
- Morales-Ayala, Y., Ceja-Torres, L. F., Méndez-Inocencio, C., Silva-García, T., Venegas-González, J., & Pineda-Pineda, J. (2020). Respuesta vegetativa de pitahaya (*Hylocereus* spp.) a la aplicación de vermicompost y fertirriego. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23, 1–9.
- Moo-Huchin, V.M., Estrada-Mota, I., Estrada-León, R., Cuevas-Glory, L., Ortiz-Vázquez, E., Vargas, L., Betancur-Ancona, D., & Sauri-Duch, E. (2014). Determination of some physicochemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity of tropical fruits from Yucatan, Mexico. *Food Chem.* 152, 508–515. DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.12.013
- Nerd, A., Gutman, F., & Mizrahi, Y. (1999). Ripening and postharvest behaviour of fruits of two *Hylocereus* species (Cactaceae). *Postharvest*

- Biology and Technology, 17(1), 39–45. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(99\)00035-6](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(99)00035-6)
- Nobel, P. S. (1988). Environmental Biology of Agaves and Cacti. Cambridge University Press, New York, USA. 270 p
- Nobel, P. S., & La Barrera, E. (2004). CO₂ uptake by the cultivated hemiepiphytic cactus, *Hylocereus undatus*. Annals of Applied Biology, 144(1), 1–8. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2004.tb00310.x>
- Novoa, A., Le Roux, J. J., Robertson, M. P., Wilson, J. R. U., & Richardson, D. M. (2015). Introduced and invasive cactus species: a global review. AoB PLANTS, 7. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plu078>
- Obenland, D., Cantwell, M., Lobo, R., Collin, S., Sievert, J., & Arpaia, M. L. (2016). Impact of storage conditions and variety on quality attributes and aroma volatiles of pitahaya (*Hylocereus* spp.). Scientia Horticulturae, 199, 15–22. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.12.021>
- Ortiz Hernández, Y. D., Livera Salazar, M., & Carrillo Muñoz, J. A. (1999). Asimilación de CO₂ por la pitahaya *Hylocereus undatus* en condiciones de campo. Agrociencia, 33(2), 165–169.
- Osuna Enciso, T., Ibarra Zazueta, M. E., Muy Rangel, M. D., Valdez Torres, J. B., Villarreal Romero, M., & Hernández Verdugo, S. (2011). Calidad postcosecha de frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haw.) cosechados en tres estados de madurez. Revista fitotecnia mexicana 34, 63–72.
- Osuna-Enciso, T., Valdez-Torres, J. B., Sañudo-Barajas, J. A., Muy-Rangel, M. D., Hernández-Verdugo, S., Villarreal-Romero, M., & Osuna-Rodríguez, 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. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952016000100061&nrm=iso
- Punitha, V., Boyce, A. N., & Chandran, S. (2010). Effect of storage temperatures on the physiological and biochemical properties of *Hylocereus polyrhizus*. Acta Horticulturae, 875, 137–144. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.875.16>
- Quiroz-González, B., Corrales-García, J. J. E., Colinas-León, M. T. B., & Ybarra-Moncada, M. C. (2017). Identification of variables correlated with chilling injury in Pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth). Agrociencia, 51, 153–172. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952017000200153&nrm=iso

- Raveh, E., Nerd, A., & Mizrahi, Y. (1998). Responses of two hemiepiphytic fruit crop cacti to different degrees of shade. *Scientia Horticulturae*, 73(2–3), 151–164. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(97\)00134-9](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(97)00134-9)
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, & Rural, S. de A. y D. (2020). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Producción Anual Agrícola, Cierre de la producción agrícola (1980-2019). <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Ström, L., Owen, A. G., Godbold, D. L., Jones, D. L. 2005. Organic acid behaviour in a calcareous soil implications for rhizosphere nutrient cycling. *Soil Biology and Biochemistry*, 37(11), 2046–2054. doi:10.1016/j.soilbio.2005.03.009
- Tomaz de Oliveira, M. M., Lu, S., Zurgil, U., Raveh, E., & Tel-Zur, N. (2021). Grafting in *Hylocereus* (Cactaceae) as a tool for strengthening tolerance to high temperature stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 160, 94–105. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.01.013>
- Tran, D.-H., Yen, C.-R., & Chen, Y.-K. H. (2015). Effects of bagging on fruit characteristics and physical fruit protection in red pitaya (*Hylocereus* spp.). *Biological Agriculture & Horticulture*, 31(3), 158–166. <https://doi.org/10.1080/01448765.2014.991939>
- Uthairatanakij, A., Cholmaitri, C., Aiamla-or, S., & Jitareerat, P. (2018). Gamma irradiation as phytosanitary treatment for red flesh dragon fruit. *Acta Horticulturae*, 1210, 145–150. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1210.20>
- Wall, M. M., & Khan, S. A. (2008). Postharvest Quality of Dragon Fruit (*Hylocereus* spp.) after X-ray Irradiation Quarantine Treatment. *HortScience*, 43(7), 2115–2119. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.2115>
- Wang, L., Zhang, X., Ma, Y., Qing, Y., Wang, H., & 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. <https://doi.org/10.1080/14620316.2019.1595747>
- Wybraniec, S., & Mizrahi, Y. (2002). Fruit flesh betacyanin pigments in *Hylocereus* cacti. *J. Agric. Food Chem.* 50(21), 6086–6089. DOI:10.1021/jf020145k
- Wybraniec, S., Nowak-Wydra, B., Mitka, K., Kowalski, P., & Mizrahi, Y. (2007). Minor betalains in fruits of *Hylocereus* species. *Phytochemistry*. 68(2), 251–259. DOI: 10.1016/j.phytochem.2006.10.002
- Wu, L., Hsu, H.-W., Chen, Y.-C., Chiu C.-C., Lin, Y.-I., & Ho, J.A. (2006). Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya. *Food Chem.* 95, 319–327. DOI: 10.1016 / j.foodchem.2005.01.002

Yong, Y. Y., Dykes, G., Lee, S. M., & Choo, W. S. (2018). Effect of refrigerated storage on betacyanin composition, antibacterial activity of red pitahaya (*Hylocereus polyrhizus*) and cytotoxicity evaluation of betacyanin rich extract on normal human cell lines. LWT, 91, 491–497. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.078>

III. FRUITS OF THE PITAHAYA (*Hylocereus undatus* AND *H. ocamponis*): NUTRITIONAL COMPONENTS AND ANTIOXIDANTS

FRUITS OF THE PITAHAYA (*Hylocereus undatus* AND *H. ocamponis*): NUTRITIONAL COMPONENTS AND ANTIOXIDANTS¹

SUMMARY

The pitahaya (*Hylocereus* spp.) is a cactus native to America. Despite the great diversity of species located in Mexico, there are few studies on the nutritional and nutraceutical value of its fruits, ancestrally consumed in the Mayan culture. An evaluation was made regarding the physical-chemical characteristics, the nutritional components, and the antioxidants of the fruits of *H. ocamponis* (mesocarp or red pulp) and *H. undatus* (white pulp), species of great commercial importance. The pulp of the fruits presented nutritional and nutraceutical differences between both species. The red pulp of *H. ocamponis* presented the highest content of betalains (15.94 mg 100 g⁻¹), ascorbic acid (10.13 AAE mg 100 g⁻¹) and antioxidant activity (2009.58 µM TE 100 g⁻¹) compared to that of *H. undatus*. The seeds of both species had a higher content of linoleic acid (ω-6) compared to other fatty acids. The underused skin (epicarp) of the white pulp pitahaya presented a higher content of betalains (19.83 mg 100 g⁻¹) than that found in the pulp and the red skin of the other species (13.21 mg 100 g⁻¹). The red pitahaya, that is for regional consumption, presented a better functional quality. The skin of both species could be a source of pigments in the food industry.

Keywords: *Hylocereus ocamponis*, *Hylocereus undatus*, linoleic acid, phenolic compounds, betalains and antioxidant activity.

¹Doctoral Thesis in Science, in Horticulture, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo

Author: Lyzbeth Hernández Ramos

Advisor: Dra. María del Rosario García Mateos

Article published in the Journal of Applied Botany and Food Quality (2020), 93, 197 - 203

DOI:10.5073/JABFQ.2020.093.024

FRUTOS DE PITAHAYA (*Hylocereus undatus* Y *H. ocamponis*): COMPONENTES NUTRICIONALES Y ANTIOXIDANTES¹

RESUMEN

La pitahaya (*Hylocereus* spp.) es una cactácea nativa de América. A pesar de la gran diversidad de especies de pitahaya que se localizan en México, son pocos los estudios sobre el valor nutricional y nutracéutico de estas frutas, consumidas ancestralmente en la cultura maya. Se evaluaron las características físico-químicas, componentes nutricionales y antioxidantes de frutos de *H. ocamponis* (pulpa roja) y *H. undatus* (pulpa blanca), especies de gran importancia comercial. La pulpa de esta fruta presentó diferencias nutricionales y nutracéuticas entre ambas especies. La pulpa roja de *H. ocamponis* presentó el mayor contenido de betalaínas (15.94 mg 100 g⁻¹), ácido ascórbico (10.13 AAE mg 100 g⁻¹) y actividad antioxidante (2009.58 µM TE 100 g⁻¹) en comparación con *H. undatus*. Las semillas de ambas especies presentaron un mayor contenido de ácido linoleico (ω-6) en comparación con otros ácidos grasos. La cáscara infrutilizada (epicarpio) de la pitahaya de pulpa blanca presentó un mayor contenido de betalaínas (19.83 mg 100 g⁻¹) que el encontrado en la pulpa y cascara de la pitahaya de pulpa roja de la otra especie (13.21 mg 100 g⁻¹). La pitahaya roja, que es de consumo regional, presentó una mejor calidad funcional. La cáscara de ambas especies podría ser fuente de pigmentos en la industria alimentaria.

Palabras clave: *Hylocereus ocamponis*, *Hylocereus undatus*, ácido linoleico, compuestos fenólicos, betalaínas y actividad antioxidante.

¹Tesis de Doctorado en Ciencias, en Horticultura, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Lyzbeth Hernández Ramos

Director de Tesis: Dra. María del Rosario García Mateos

Artículo publicado en Journal of Applied Botany and Food Quality (2020), 93, 197 - 203

DOI:10.5073/JABFQ.2020.093.024

1. INTRODUCTION

In Mexico there are located approximately nine of the eighteen species identified so far of the genus *Hylocereus* Britton & Rose (Cáliz De Dios, 2004). It is one of the most widely y distributed genus of the *Cactaceae* family. It is characterized by a *crassulacean acid metabolism* (CAM) photosynthetic metabolism, which allows the production of biomass in arid and dry conditions according to its habitat (Mercado-Silva, 2018). However, these hemiepiphytic plants respond to stressful situations, growing in temperate, tropical and semi-arid areas of Mexico, under wild or cultivated conditions, in varying annual precipitation (400 to 4000 mm), at altitudes from 0 to 2500 m above sea level (García-Rubio et al., 2015) and survive at temperatures above 38-40°C. Mexico, Central America and northern South America could be considered the center of origin of the genus *Hylocereus* due to the number of species located in those regions. The great adaptability of these cacti has allowed their cultivation in various countries (India, Thailand, China, Australia, Taiwan, Malaysia, the Philippines, Vietnam, Cambodia, Indonesia, Israel, the United States) among others (García-Rubio et al., 2015; Ibrahim et al., 2018).

The non-climacteric fruit of the pitahaya is a globose or subglobose berry, with a sweet and juicy pulp (mesocarp) and small seeds; it is commonly known as “dragon fruit” because it has an epicarp with bracts. In addition, it is important to point out that “pitaya” and “pitahaya” have been used incorrectly as synonyms (Ibrahim et al., 2018; Le Bellec et al., 2006). “Pitaya” corresponds to the genus *Stenocereus* (Quiroz-González et al., 2018), while “pitahaya” corresponds to the genus *Hylocereus* (Wu et al., 2006). Research on pitahaya was done in this study.

The fruit of *H. ocamponis* (Salm-Dyck) Britton & Rose, known as pitahaya solferina (red epicarp, red, pink or purple mesocarp) is a species native to Mexico (García-Rubio et al., 2015), little documented, underused and of low commercial demand. It has recently caught the attention of consumers due to

the pigmentation of the pulp because of its betalain content (Ibrahim et al., 2018). The species *H. undatus* (Haw.) Britton & Rose (red or pink epicarp, white mesocarp) is the most economically important, cultivated and exported one. Finally, another underutilized species is *H. megalanthus* (K. Schumann ex Vaupel) Ralf Baue (yellow epicarp, white mesocarp) of regional consumption, which is cultivated in backyards in different regions of Mexico; it is a species native to Colombia, one of the most important producing countries worldwide (Mercado-Silva, 2018).

Currently, the consumption of these exotic fruits is increasing, due to their nutritional, mineral, but mainly to their functional attributes. Studies report that depending on the species (*H. monacanthus*, *H. megalanthus*, *H. polyrhizus* and *H. undatus*), the fruit is a source of carbohydrates (pectin, simple sugars, hemicellulose), protein, high fiber content, minerals (mainly potassium, magnesium, calcium, phosphorus in a lower concentration, zinc, iron), antioxidant compounds (phenolic acids, flavonoids), pigments (betalains), vitamins C and B, triterpenoids (cholesterol, campesterol, stigmasterol, and β -sitosterol) (Ibrahim et al., 2018; Mercado-Silva, 2018), some volatile components (flavor components) and a high content of functional lipids present in the seeds (palmitic, oleic and linoleic acids) (Akram and Mushtaq, 2019). However, the nutritional and nutraceutical properties of *H. ocamponis* are little known as well as the inhibitory effect of betanin against steatohepatitis in mice (Lugo-Radillo et al., 2020). Few studies on this species were carried out in other countries (Wybraniec et al., 2007).

These ingredients provide health benefits, which include the prevention and treatment of illnesses (Wildman and Kelley, 2007) and aid in preventing some health problems of this century such as obesity, cardiovascular disorders (Badimon et al., 2010), cancer, osteoporosis, arthritis, diabetes and cholesterol, among others (Das et al., 2012). Recent epidemiological studies have shown that the frequent consumption of fruits and vegetables is positively associated with a lower risk of chronic diseases including type 2 diabetes mellitus and

obesity (Van Breda et al., 2017). A high consumption of fruits and vegetables ensures an intake of appropriate amounts of nutrients, dietary fibers, and non-nutrient phytochemicals. Mercado-Silva (2018) have pointed out the nutritional composition of *H. undatus* (dietary fiber, soluble fiber, insoluble fiber, and protein), the contents of calcium, phosphorus, iron and antioxidants (phenolic compounds and vitamin C) cultivated in Mexico. However, the characteristics of *H. ocamponis* are unknown.

In addition, Wybraniec et al. (2007) showed the presence of betacyanins in the peel and flesh of fruits of *H. ocamponis* and betacyanins in the peel of *H. undatus*. These metabolites possess various biological activities from which their antioxidant activity, anti-cancer properties and antimicrobial activity stand out (Wu et al., 2006; Gengatharan et al., 2015). Betalains are nutraceutical components of restricted distribution, mainly in the family of the order Caryophyllales. These pigments are biosynthetically derived from the bethalamic acid, and are grouped into betacyanins (red pigments) and betaxanthines (yellow pigments). They are responsible for the color of the pulp and the skin of cacti fruits such as the pitaya, the prickly pear, the xoconostle and the pitahaya (Quiroz-González et al., 2018; López et al., 2015).

Currently, the identification of these metabolites justifies some of the medicinal properties of the different parts of the plant, ancestrally used in the Mayan culture (Wybraniec and Mizrahi, 2002). To the fruit, it is attributed anti-diabetic, anti-cancer, hepatoprotective, anti-inflammatory, prebiotic, and hypolesterolemic properties and the reduction of blood pressure (Ibrahim et al., 2018). Flower infusions are consumed as a diuretic and as a hypoglycemic (Jeronimo et al., 2017). Regarding those with a skin, for the treatment of some chronic degenerative diseases, mainly due to the presence of some nutraceutical and antioxidant components (betalains, phenolic compounds and flavonoids) (Ibrahim et al., 2018).

In recent decades, research on the antioxidant properties of cacti fruits have intensified due to the growing interest of the consumer in eating foods with

nutraceutical quality that contribute to the improvement of health and the prevention of diseases (Ibrahim et al., 2018). There are reports of the chemical components in the fruits of some species grown in other countries, but it must be considered that the different edaphoclimatic conditions can mainly modify their nutraceutical quality and consequently their medicinal properties (Akram and Mushtaq, 2019; Ibrahim et al., 2018). In Mexico, despite the great diversity and as a greater center of origin of cacti (Novoa et al., 2015) there is little information on the nutritional and nutraceutical quality of most of them. The contribution of this paper focuses on providing information on the physical and chemical characterization as well as the nutritional and nutraceutical quality of the *H. ocamponis* fruits grown in Mexico. These properties of the *H. ocamponis* fruits were compared with those of *H. undatus*. Both species were cultivated in the same study area. The few studies that have been carried out on these species correspond to fruits grown in the American continent. Therefore, the objective was to determine the nutritional characteristics and the content of antioxidant components of the fruits of the red pulp pitahaya (*H. ocamponis*) and the white pulp pitahaya (*H. undatus*) cultivated in Mexico, in order to contribute with information on its nutraceutical potential, mainly concerning the red pulp dragon fruit with a higher degree of pigmentation.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Vegetal Material

The fruits of two species of pitahaya (*H. undatus* and *H. ocamponis*) were obtained from a commercial farm in Molcaxac, Puebla, Mexico (18°43'36" N and 97°54'48" W at an altitude of 1843 m above sea level), with a precipitation of 655 mm and a mean annual temperature of 19.2 °C. The fruits were harvested at commercial maturity during the second fructification of the plant (July 2018), free of pests and physical damage.

2.2. Physical Characterization

The evaluated variables were the equatorial diameter (ED), length (L), skin thickness, width of bracts and length of the apical bracts using a digital vernier (INOX IP54 Caliper, Grass Valley, USA). The relationship between L/ED was considered to determine the roundness index. Also, the number of bracts and seeds per fruit of each species was counted. The weight of the fruit, pulp, seeds, skin and the proportion of pulp, seeds and skin were determined using an electronic scale (Scout Pro SP2001 Ohaus®, USA). The skin firmness was evaluated with a penetrometer (FT 327, QA SUPPLIES®, USA) equipped with an 8mm thick plunger tip. In addition, the color was evaluated with a Color Tec-PCM® portable colorimeter (Cole Palmer, Illinois, USA) and was expressed in luminosity (L^*), hue angle (*Hue*) and color saturation index (*Chroma*).

2.3. Chemical Characterization

The chemical parameters evaluated were the pH using a potentiometer (HI2221 Hanna Instruments, Woonsocket, USA), the titratable acidity using the technique described by the Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2005), the total soluble solids (°Brix) using a digital refractometer (PAL-1 ATAGO®, Japan), as well as the content of total soluble sugars by the anthrone method described by Witham et al. (1971).

2.4. Proximate Analysis

The pulp with seeds was dried in an oven at 65 °C and ground in a Thomas-Wiley Mill (Model 4, Thomas Scientific, USA). Percent of moisture, lipids, crude fiber, ash and carbohydrates were determined using the methods described by the AOAC (2005).

2.5. Mineral Quantification

The dried pulp with seeds was subjected to wet digestion with a diacid mixture ($H_2SO_4:HClO_4$, 4:1 v/v) and hydrogen peroxide. The concentration of P, K, Ca, Mg, S, Na, Fe, Zn, Mn, Cu, B, Mo and Ni were quantified by an inductively

coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES, model 725-ES, Agilent®), prior to a multi-element acid digestion in microwaves. The total nitrogen content was determined by the Dumas combustion method (AOAC, 2005).

2.6. Analysis of Fatty Acid in Seed

Three batches of about 4 kg (8-9 fruits) of fresh pitahaya were processed in order to obtain 70 g seed/batch. The seeds were dried to constant weight in a circulation stove with forced air at 60 °C. The dried pitahaya seeds of both species were crushed separately in a mortar. The extraction of the oil was carried out using the Soxhlet method with hexane for 3 hours. The fatty acids were converted into their methyl esters using the method proposed by AOAC (2012). The identification and quantification of the fatty acids were performed using a gas chromatograph (HP Hewlett Packard Model 6890 GC System, USA) coupled to a flame ionization detector. The separation was carried out using a capillary column (60 m x 0.25 mm x 0.20 µm), helium as a carrier gas at a constant flow rate of 0.73 mL min⁻¹. The temperature-time conditions of the injector and the detector were adjusted to 250 °C for 19.66 min.

2.7. Nutraceutical Quantification

Preparation of the Extract. For the quantification of total phenolic compounds, flavonoids and antioxidant activity by ABTS and FRAP, an extract of acetone was prepared. The content of the nutraceutical components was determined separately in the skin and in the pulp with seeds according to what is described by Wu et al. (2006), with some modifications. For the preparation of the extract, 1 g of the ground fruit tissue was mixed with 10 mL of 80 % (v/v) acetone. The mixture was homogenized by stirring in a vortex, sonicated for 10 min at room temperature and the extraction was carried out twice with the same residue. The extract was kept refrigerated until analysis.

Quantification of Total Soluble Phenolic Compounds. The quantification of these metabolites was carried out according to the method described by Singleton and Rossi (1965). It was mixed 0.1 mL of the acetone extract, 0.1 mL of the Folin-Ciocalteu reagent (1 N), 4.5 mL of distilled water and 0.3 mL of 2 % (w/v) Na_2CO_3 . The mixture was incubated at room temperature and in the dark for 2 h. The absorbance of the mixture was read at 760 nm on a spectrophotometer (Genesys 10s, Thermoscientific, USA). The content of total phenolic compounds was determined using a standard gallic acid curve ($y = 0.0011x - 0.0084$; $R^2 = 0.998$). The results were expressed as mg gallic acid equivalent per 100 g of fresh sample (mg GAE 100 g⁻¹ fresh weight).

Flavonoid Quantification. A mixture was prepared with 0.5 mL of acetone extract, 1.5 mL of 95 % (v/v) ethanol, 0.1 mL of 10 % (w/v) AlCl_3 solution, 0.1 mL of CH_3COOK (1 M) solution, and 2.8 mL of distilled water, and then incubated for 30 min. Subsequently, the absorbance was determined at 415 nm in a spectrophotometer (Genesys 10s, Thermoscientific, USA). The flavonoid concentration was determined from a standard quercetin curve ($y = 0.006x - 0.0026$; $R^2 = 0.996$). Results were expressed in mg quercetin equivalents per 100 g of fresh weight (mg QE 100 g⁻¹ fresh weight).

Quantification of betalains. The extraction of betalains from the skin and from the pulp was performed separately with 80% (v/v) methanol. For the preparation of the extract, 1 g of the ground vegetable tissue was mixed with 15 mL of 80% (v/v) methanol. The mixture was homogenized by stirring in a vortex, sonicated for 10 min at room temperature, and the extraction was carried out twice with the same residue. Subsequently, the absorbance of the extracts was read on a spectrophotometer (Genesys 10 s). The content of total betalains, betacyanins and betaxanthines was determined according to the method described by Wu et al. (2006) using the formula: $B \text{ [mg g}^{-1}\text{]} = A \cdot \text{DF} \cdot \text{MW} \cdot V / \epsilon \cdot L \cdot W$; where B = concentration of betacyanins or betaxanthines, A = absorbance at 538 nm (betacyanins) or 483 nm (betaxanthines), DF = dilution factor, MW = molecular weight (550 g mol⁻¹ for betanin and 308 g mol⁻¹ for indicaxanthin), V = gauging

volume (mL), ϵ = molar extinction coefficient (betanin: 60,000 L mol⁻¹ cm⁻¹ and indicaxanthin: 48,000 L mol⁻¹ cm⁻¹), W = weight of the sample (g) and L = cell length (1 cm). The results were expressed as content of total betalains (betacyanins + betaxanthines) for every 100 g of fresh sample.

Ascorbic Acid Quantification. The ascorbic acid (vitamin C) content was determined by iodometric titration using the method proposed by Suntornsuk et al. (2002), with modifications. An extract was prepared with 20 g of ground pitahaya pulp and 25 mL of 2N sulfuric acid. The solution was filtered and mixed with 100 mL of distilled water and 3 mL of 1 % (w/v) starch as an indicator. The solution was titrated with 0.1N iodine previously standardized with a 0.1N sodium thiosulfate solution. Each mL of iodine (0.1 N) was equivalent to 8.806 mg of ascorbic acid.

2.8 Quantification of Antioxidant Activity

ABTS method. A 7 mM solution of ABTS (2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazolin-6-sulfonic acid), Sigma-Aldrich) in distilled water and another 2.45 mM potassium persulfate solution were prepared. Both were combined at a 1:1 ratio. The mixture was left to stand for 16 h in the dark, to allow the generation of the free radical, and was diluted with anhydrous ethanol until obtaining an absorbance of 0.7 ± 0.01 at a wavelength of 734 nm (Wu et al., 2006). To determine the antioxidant capacity, previously prepared 30 μ L of the acetone extract per species and 3 mL of the ABTS^{•+} radical were placed. The mixture was incubated in the dark for 30 min. Finally, the absorbance reading of the mixture at a wavelength of 734 nm was taken on a spectrophotometer (Genesys 10s). The antioxidant activity was quantified using a standard trolox curve (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid, Sigma-Aldrich) ($y = 29.599x + 9.238$; $R^2 = 0.988$). Results were expressed in μ M trolox equivalents per 100 g of fresh weight (mg TE 100 g⁻¹fresh weight).

FRAP method. The FRAP test was carried out according to the procedure described by Benzie and Strain (1996), with some modifications. It was mixed

100 μ L of the acetone extract, 3 mL of the FRAP reagent (2.5 mL of 300 mM acetate buffer at pH = 3.6, 0.25 mL of 10 mM solution of 2,4,6-Tripyridyl-s-triazine (TPTZ; Sigma – Aldrich) in 40 mM HCl and 0.25 mL of 20 mM FeCl₃) and 300 μ L of H₂O. The mixture was incubated for 30 min at 37 °C. Subsequently, its absorbance was read from the mixture at a wavelength of 593 nm on a spectrophotometer. The antioxidant activity was calculated using a trolox-based standard curve ($y = 0.7419x + 0.0297$; $R^2 = 0.990$). Results were expressed in μ M trolox equivalents per 100 g of fresh weight (mg TE 100 g⁻¹ fresh weight).

2.9. Statistical Analysis

All data was expressed as the mean $\pm$ standard error of six replications, except for the physical characteristics of the fruit (twenty replications). The experimental unit was three pitahaya fruits. A Student's t-test was applied to differentiate the physical, chemical, nutritional characteristics and the fatty acid profile between the two pitahaya species. For the analysis of the data of the nutraceutical components and the antioxidant activity, it was performed an analysis of variance and a Tukey comparison of means ($P \leq 0.05$) using the SAS software version 9.2.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Physical Characteristics of the Fruits

The two pitahaya species presented differences in their fruits' morphological characteristics (shape, color of the epicarp or skin, and quantity and shape of their bracts) (Figure 1). The fruits of *H. ocamponis* (mesocarp or red pulp) were characterized by their elongated shape with an abundant number of thin bracts compared to the fruits of *H. undatus* (mesocarp or white pulp). It is a description similar to that reported by Le Bellec et al. (2006) for *H. ocamponis*, who pointed out that the fruits with red pulp have an oblong shape and length between 10

and 15 cm were similar to those of *H. purpusii*. However, in this research, the fruits of *H. ocamponis* presented thin acicular bracts in their skins which differentiates them from that of *H. purpusii*.



Figure 1. Pitahaya: A) White pulp fruit (*Hylocereus undatus*); B) Red pulp fruit (*H. ocamponis*).

Color was the most distinctive attribute of the mesocarp of the pitahaya fruit, ranging between red shades (*hue*) (lower values) for the red pulp of *H. ocamponis* than in those of *H. undatus* (Table 1). But the pulp of *H. undatus* presented a higher luminosity (L^*) and a low color purity (low *chroma* values), which renders a light gray pulp that is not very attractive to the consumer when compared to the red tone pulp of *H. ocamponis*. Vaillant et al. (2005) reported a positive correlation between *chroma* and the concentration of betacyanins, which are pigments that provide red colorations. In this research, the pulp of *H. undatus* presented a very low concentration of betalains when compared to the pulp of *H. ocamponis* (Table 4). The skin of *H. undatus* presented a lower *hue* value when compared to that of *H. ocamponis* (Table 1), which means that the skin of the first species has a redder coloration. *Hue*, *chroma* and luminosity (L^*) values in the epicarp were close to those reported by Ortiz and Takahashi (2015). The red coloration in the pulp and in the skin of the pitahaya (*Hylocereus* spp.) is the result of the synthesis and accumulation of betalain pigments. Betalains assist in the prevention of cancer and prevent the oxidation of lipid membranes due to their antioxidant properties. They do not show toxic effects in humans when consumed in fruits in comparison with synthetic pigments and are used in the food, pharmaceutical and cosmetic industries (Ibrahim et al., 2018; Quiroz-González et al., 2018).

Table 1: Physical and chemical characterization of pitahaya fruits with white (*Hylocereus undatus*) and red pulp (*H. ocamponis*).

Variable	<i>H. undatus</i>	<i>H. ocamponis</i>
Morphological characteristics		
Equatorial diameter (cm)	8.60 ± 0.12 a	8.50 ± 0.15 a
Length (cm)	12.28 ± 0.21 b	13.56 ± 0.21 a
Shape index	1.43 ± 0.02 b	1.60 ± 0.02 a
Fruit weight (g)	466.94 ± 18.81 a	490.82 ± 22.21 a
Mesocarp weight (g fruit ⁻¹)	278.26 ± 16.65 a	325.51 ± 28.69 a
Epicarp weight (g fruit ⁻¹)	167.60 ± 7.86 a	153.87 ± 9.53 a
Seed weight (g fruit ⁻¹)	10.26 ± 0.36 a	7.95 ± 0.41 b
Seeds (seeds fruit ⁻¹)	6571 ± 652 a	5282 ± 232 a
Mesocarp (%)	60.84 ± 2.32 a	64.09 ± 2.79 a
Epicarp (%)	36.86 ± 1.04 a	31.57 ± 0.72 b
Seeds (%)	2.20 ± 0.08 a	1.62 ± 0.08 b
Number of bracts	18.00 ± 0.56 b	31.20 ± 1.02 a
Width of bracts (cm)	4.14 ± 0.15 a	2.94 ± 0.07 b
Apical bracts length (cm)	6.43 ± 0.83 a	6.08 ± 0.84 a
Epicarp physical attributes		
Thickness (mm)	5.45 ± 0.18 a	4.44 ± 0.18 b
Firmness (N)	57.86 ± 2.97 a	65.13 ± 4.63 a
Lightness (L*)	36.08 ± 2.25 a	35.69 ± 1.34 a
Hue angle (<i>Hue</i>)	19.08 ± 2.50 a	26.44 ± 1.91 b
<i>Chroma</i>	41.18 ± 2.14 a	42.94 ± 2.45 a
Pulp physical attributes		
Lightness (L*)	55.71 ± 2.83 a	21.66 ± 2.71 b
Hue angle (<i>Hue</i>)	48.37 ± 6.56 a	16.73 ± 2.11 b
<i>Chroma</i>	4.09 ± 0.70 b	36.70 ± 2.71 a
Chemical characterization		
pH	4.60 ± 0.11 b	5.00 ± 0.02 a
TA (% malic acid)	0.33 ± 0.02 a	0.15 ± 0.01 b
TSS (°Brix)	14.41 ± 0.26 b	15.63 ± 0.40 a
TSS / TA ratio	51.92 ± 3.09 b	106.36 ± 5.05 a
Total soluble sugars (%)	11.06 ± 0.63 b	13.14 ± 0.63 a

Data are expressed as mean ± standard error of six replications, except for the physical characteristics of the fruit (twenty replications). Different letters in the same row indicate significant statistical differences by T-Student test ($P \leq 0.05$). TSS: total soluble solids, TA: titratable acidity.

The fruits of both species presented an average weight of 478.9 g, with the pulp being the most abundant part of the fruit (62.5 %) (Table 1). The two species presented high firmness values (55 to 70 N), higher than that reported by other authors on pitahaya fruits (*H. undatus*) cultivated in Mexico (1.9-3.1 N) (Quiroz González et al., 2017) as well as in other cacti fruits like the pitaya (*Stenocereus pruinosus* and *S. stellatus*) and the prickly pear (*Opuntia megacantha*) (1.59 - 2.45 and 14.9 ± 5.2 N, respectively) (García-Cruz et al., 2016; Ríos-Alegría et al., 2018), which is a property that provides a longer shelf life to the fruits of *Hylocereus* spp. Compared to those of *Stenocereus* spp. It is important to note that the two species of pitahaya studied were found cultivated in a highly calcareous soil (40.02% CaCO_3) which could explain the high firmness values. Awang et al. (2011) reported that the Ca in pitahaya fruits (*H. polyrhizus*) treated with CaCl_2 increased its firmness from 19.2 to 23.6 N because this element has an important role in the functionality and integrity of the cell membrane when binding to the polar head of phospholipids. Abd El-Rahman et al. (2019) pointed out that Ca maintains the integrity of the middle lamella of the cell wall due to its union with the pectic acid and the formation of calcium pectates which generates a lower weight loss and a higher firmness. Ca concentration values (Table 2) found in *H. ocamponis* and *H. undatus* exceeded those reported in other cactifruits such as pitaya (*S. Pruinosus* y) ($0.90\text{-}0.95 \text{ mg kg}^{-1}$) (García-Cruz et al., 2013). These results indicated that the pitahaya is a fruit with a hard consistency, with values close to those observed in apple (50-73 N) (DeLong et al., 2000), making it less susceptible to mechanical damage during its post-harvest handling.

3.2. Chemical Characteristics of Fruits

The white pitahaya presented lower values of pH, soluble solids and total soluble sugars compared to those of the red pitahaya (Table 1). The observed differences are possibly due to the variability between species. These values coincided with those reported by Ortiz and Takahashi (2015) in the fruits of *H. undatus* (pH = 4.6; 12.2 °Bx and 0.27 % of titratable acidity). Flavor is a parameter that determines the quality of a fruit, a result of the relationship

between organic acids and sugars (TSS/TA). In this research, the TSS/TA ratio indicated that the fruits of *H. undatus* had a more acidic flavor compared to that of *H. ocamponis* (Table 1). Van To et al. (2002) indicated that Vietnamese consumers of white pitahaya (*H. undatus*) preferred less sweet fruits when the TSS/TA ratio was 40. However, it is important to consider that the best evaluation of the taste of a fruit is obtained through a sensory evaluation, which allows to have a knowledge regarding consumer preferences.

3.3. Nutritional Components of Fruits

The proximate and mineral analysis did not show significant differences in moisture, carbohydrates, crude fiber, Na, S, Ni, Cu and Mo between the fruits of the two species (Table 2). Mercado-Silva (2018) reported values of moisture (83-89 %), ash (0.4-0.68 %), P (16-19 mg 100 g⁻¹), Fe (0.30-0.65 mg 100 g⁻¹) and Ca (6.0-10 mg 100 g⁻¹), in the fruits of the *H. megalanthus* and the *H. undatus* species, which are similar to those found in this research. The fruits of the white pitahaya (*H. undatus*) presented a higher nutritional value compared to the fruits of *H. ocamponis* (Table 2). An exception was the content of Fe. The differences in mineral levels between these species were probably due to the differential expression of the absorption capacity, transport and accumulation of minerals, because both were grown in a farm with the same soil chemical properties (Gupta et al., 2016).

On the other hand, in the fruits of both species the predominant mineral was potassium, which had the highest concentration in the white pitahaya. The intake of a white pitahaya fruit could contribute with 20 % of the potassium daily requirements (4.5-4.7 g day⁻¹) in 9 to 70 year old peoples (Brown, 2011), contributing to a decrease in blood pressure and in the risk of suffering a cerebrovascular accident (CVA) by consumers (Soto, 2018).

In general, the fruits of the white and red pitahaya had a higher content of carbohydrates, lipids, ash, P, K, Ca and Mg compared to that reported in other cactifruits such as the pitaya (*S. prunosus*) (8.5-10.2 %, 0.10- 0.12 %, 0.61-0.63 %, 3.4-3.6 mg kg⁻¹, 1.1-1.2 mg kg⁻¹, 0.90-0.95 mg kg⁻¹ and 2.15-2.35 mg kg⁻¹,

respectively) (García-Cruz et al., 2013) and with the carbohydrate, protein and lipid content in the xoconostle fruits (*Opuntia* spp.) (4.64-7.25 %, 0.14-0.39 % and 0.08-0.32 %, respectively) (López et al. 2015).

Table 2: Nutritional components in pitahaya fruits with white (*Hylocereus undatus*) and red pulp (*H. ocamponis*).

Variable	<i>H. undatus</i>	<i>H. ocamponis</i>
Proximate analysis		
Moisture (%)	86.12 ± 0.59 a	86.67 ± 0.53 a
Carbohydrates (%)	11.05 ± 0.37 a	11.47 ± 0.51 a
Protein (%)	0.93 ± 0.03 a	0.76 ± 0.02 b
Lipids (%)	0.67 ± 0.02 a	0.39 ± 0.01 b
Crude fiber (%)	0.27 ± 0.02 a	0.32 ± 0.01 a
Ash (%)	0.71 ± 0.03 a	0.43 ± 0.01 b
Energetic value (Kcal 100 g ⁻¹)	53.89 ± 1.60 a	52.38 ± 2.03 a
Mineral content (mg 100 g ⁻¹ fw.)		
N	140.18 ± 7.30 a	110.62 ± 5.43 b
P	19.43 ± 1.01 a	14.66 ± 0.72 b
K	294.23 ± 8.63 a	175.93 ± 8.63 b
Ca	8.33 ± 0.43 a	6.66 ± 0.33 b
Mg	33.31 ± 1.74 a	23.99 ± 1.18 b
S	13.88 ± 0.72 a	14.66 ± 0.72 a
Na	0.00 ± 0.00 a	0.00 ± 0.00 a
Ni	0.00 ± 0.00 a	0.00 ± 0.00 a
Fe	0.20 ± 0.01 b	0.36 ± 0.02 a
Zn	0.28 ± 0.02 a	0.16 ± 0.01 b
Mn	0.08 ± 0.00 a	0.05 ± 0.00 b
Cu	0.02 ± 0.00 a	0.02 ± 0.00 a
B	0.15 ± 0.01 a	0.13 ± 0.01 b
Mo	0.00 ± 0.00 a	0.00 ± 0.00 a

Data are expressed as mean ± standard error of six repetitions. Values reported in fresh weight (fw.). Different letters in the same row indicate significant statistical differences by T-Student test ($P \leq 0.05$).

3.4. Fatty Acid Profile of the Pitahaya Seed

The average percentage of oil of seed that has been extracted from *H. ocamponis* (red flesh) and *H. undatus* (white flesh) was 18.11 % and 28.37 % (dry weight), respectively. Lim et al. (2010) found similar oil contents in *H. undatus* (28.37 % dry weight). In the seeds of both species, the linoleic acid (omega-6) was the one with the highest concentration (Table 3). Lim et al.

(2010) reported higher palmitic, linolenic and linoleic acid values than those reported in the present research, possibly due to genetic factors, edaphoclimatic factors, sample storage times and oil extraction techniques (Akram and Mushtaq, 2019). The pitahaya fruit is consumed with seeds, which leads to the consumption of fatty acids that are mainly unsaturated and which play an important role in human nutrition and which are associated with a reduced risk of coronary heart and cardiovascular diseases (Mensink and Katan, 1992).

Table 3: Fatty acid compositions (%) of pitahaya seed oil white (*Hylocereus undatus*) and red pulp (*H. ocamponis*).

Variable	<i>H. undatus</i>	<i>H. ocamponis</i>
Saturated fatty acid	18.68 ± 0.22 b	21.37 ± 0.27 a
Monounsaturated fatty acid	28.85 ± 0.35 b	34.07 ± 0.42 a
Polyunsaturated fatty acid	52.50 ± 0.63 a	44.94 ± 0.56 b
Palmitic acid (C16:0)	12.22 ± 0.15 b	13.90 ± 0.17 a
Stearic acid (C18:0)	7.17 ± 0.09 b	8.06 ± 0.10 a
Oleic acid (C18:1)	27.50 ± 0.33 b	32.68 ± 0.41 a
Linoleic acid (C18:2)	50.77 ± 0.65 a	44.88 ± 0.56 b
Linolenic acid (C18:3)	0.36 ± 0.00 a	0.43 ± 0.01 b

Data are expressed as mean ± standard error of three repetitions. Different letters in the same row indicate significant statistical differences by T-Student test ($P \leq 0.05$).

3.5. Nutraceutical Content

The pulp of the red pitahaya (*H. ocamponis*) presented the highest levels of betalains and ascorbic acid, as well as the highest antioxidant activity (Table 4). However, the skin of the white pitahaya had a higher content of betalains than that of the red pitahaya. Furthermore, there were no differences in the antioxidant activity in this tissue between both species. The differences in the concentration between species and tissues are possibly due to genetic variability.

Table 4: Nutraceutical components and antioxidant activity (AA) in pulp and epicarp of pitahaya fruits: *Hylocereus undatus* and red *H. ocamponis*.

Variable	<i>H. undatus</i>		<i>H. ocamponis</i>	
	Pulp	Epicarp	Pulp	Epicarp
TB (mg 100 g ⁻¹)	0.02 ± 0.00 c	19.83 ± 5.06 a	15.94 ± 2.89 ab	13.21b ± 2.19
Betacyanins (mg 100 g ⁻¹)	0.01 ± 0.00 c	14.66 ± 3.76 a	11.98 ± 2.03 ab	9.65 ± 1.67 b
Betaxanthins (mg 100 g ⁻¹)	0.01 ± 0.00 c	5.17 ± 1.40 a	3.97 ± 0.88 ab	3.55 ± 0.53 b
Total soluble phenolic (mg 100 g ⁻¹)	126.03 ± 29.71 a	139.39 ± 36.47 a	132.47 ± 21.58 a	127.88 ± 12.88 a
Flavonoids (mg 100 g ⁻¹)	4.82 ± 0.52 b	22.57 ± 2.91 a	5.32 ± 0.29 b	25.68 ± 2.08a
ASA (mg 100 g ⁻¹)	8.50 ± 0.23b	ND	10.13 ± 1.18 a	ND
AA by ABTS (μM 100 g ⁻¹)	1118.20 ± 102.71 b	812.60 ± 80.32 b	2009.58 ± 159.66 a	817.35 ± 27.28 b
AA by FRAP (μM 100 g ⁻¹)	506.55 ± 38.48 b	500.24 ± 47.41 b	1164.47 ± 111.91 a	365.69 ± 41.48 b

Data are expressed as mean ± standard error of six repetitions. Values reported in fresh weight. Different letters in the same row indicate significant statistical differences by Tukey's test ($P \leq 0.05$). TB: Total betalains, ASA: Ascorbic acid, AA: antioxidant activity, ND: variable not detected. Nutraceutical components and antioxidant activity are expressed as: total soluble phenolic (mg gallic acid equivalents 100 g⁻¹), flavonoids (mg quercetin equivalents 100 g⁻¹), ascorbic acid (mg ascorbic acid equivalents 100 g⁻¹) and antioxidant activity (μM trolox equivalents 100 g⁻¹).

The concentrations of betacyanins in this study (Table 4) were similar to those reported by Wu et al. (2006) in the pulp of *H. polyrhizus* (10.3 ± 0.22 mg 100 g⁻¹ fresh weight). Wybraniec and Mizrahi (2002) reported higher concentrations in eight species and hybrids of *H. polyrhizus*, *H. purpusii*, *H. costaricensis* and *H. undatus* cultivated in Israel (23 to 39 mg betanin equivalent 100 g⁻¹ of fresh pulp) perhaps due to either analysis methods or differences between species or edaphoclimatic conditions. It is important to note that there are no reports of the levels of betaxanthines (yellow color pigments) in the skin of the pitahaya. The consumption of fruits with these pigments could assist in the prevention of cancer. These pigments also prevent the oxidation of membrane lipids due to their antioxidant properties (Livrea and Tesoriere, 2006). These underused resources could be a source of dyes for use in the food and pharmaceutical industries, since these pigments are more stable to changes in pH than the anthocyanins found mainly in strawberries (Tanaka et al., 2008).

In the present study, the content of phenolic compounds in the tissues of the two species (Table 4) was similar and higher than that reported by Wu et al. (2006) in the pulp and skin of the pitahaya *H. polyrhizus* (42.4 ± 0.04 and 39.7 ± 5.39 mg GAE 100 g^{-1}). In contrast, the highest flavonoid content was detected in the skin of both species when compared to the pulp. These metabolites have been reported mainly in higher concentrations in the flowers of the Cactaceae family (Iwashina, 2015), as protective metabolites against biotic and abiotic stress and as part of the plant resistance mechanism against diseases (Panche et al., 2016). Phenolic compounds, due to their diversity and wide distribution, are the most important group of natural antioxidant metabolites. There are epidemiological evidences that show the health benefits and the contribution of these compounds in the prevention of some degenerative diseases (Soto-Hernández et al., 2017). These metabolites are compounds with the ability to chelate heavy metals, modulate some enzymes and neutralize free radicals (reactive oxygen species produced by oxidative stress in the organism, affecting lipoproteins, lipids of blood plasma and other biomolecules) (Soto-Hernández et al., 2017).

On the other hand, the ascorbic acid is another important constituent of food, which possesses a high antioxidant activity (Naidu, 2003). However, the CAM metabolism in the fruits of *Hylocereus* favors the formation of malic acid compared to that of other organic acids. In the present study, the content of ascorbic acid (Table 4) found in both species was lower than the concentration reported by Vaillant et al. (2005) in three varieties of *Hylocereus* sp. cultivated in Nicaragua (12.3 to 17.1 mg AAE 100 g^{-1} fresh weight)

The pulp of both species showed a higher antioxidant activity than in the skin (Table 4). The pulp of *H. undatus* had practically no betalains content; therefore, the antioxidant activity could be conferred in a more extent by phenolic compounds or it could be associated with a synergistic effect of different metabolites. These results indicated that the pitahaya fruits had a higher antioxidant potential than the fruits of some cacti such as the prickly pear

(*Opuntia ficus-indica*) from yellow, red and white cultivars (531, 420 and 430 $\mu\text{M TE} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ fresh weight, respectively) (Butera et al., 2002) and that of the red pulp pitaya (*Stenocereus stellatus*) (921 $\mu\text{M TE} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ of pulp fresh weight) (García-Cruz et al., 2016). Pearson's correlation coefficient showed a positive significant correlation between betalains (0.49) and the antioxidant activity in the pulp of the red pitahaya (*H. ocamponis*). In contrast, the correlation was positive between flavonoids (0.87) and phenolic compounds (0.45) with the antioxidant activity in the pulp of the white pitahaya (*H. undatus*).

4. CONCLUSIONS

The white pulp pitahaya fruit of *H. undatus* presented a higher nutritional value than the red pulp fruit of *H. ocamponis* due to a higher content of protein, lipids, N, P, K, Ca, Mg, B in the mesocarp, and oleic acid along with linoleic acid in the seeds. In contrast, the red pulp of *H. ocamponis* presented the highest nutraceutical potential given the higher betalain content and antioxidant activity, despite being a fruit of lower commercial demand and consumption. On the other hand, the skin of *H. undatus* is an underused resource which could be a source of antioxidant components associated to the presence of betalains, to be used agroindustrially to obtain natural pigments in the food industry.

5. REFERENCES

- Abd El-Rahman, A., Zagzog, O., El-Naggar, N., Gad, M. 2019: Enhancing quality attributes of guava fruits during cold storage by using edible composite coating (chitosan) and calcium nitrate. J. Product. & Dev. 24(4), 787-805. DOI: 10.21608/jpd.2019.72491
- Akram, S., Mushtaq, M. 2019: Dragon (*Hylocereus megalanthus*) Seed Oil. In: Ramadan, M. (eds). Fruit Oils: Chemistry and Functionality, 675–689. DOI: 10.1007/978-3-030-12473-1_36
- AOAC, 2005. Official Methods of Analysis. Dumas method (990.03). Association of Official Analytical Chemist. EUA. 18th Ed.
- AOAC, 2012: Oficial method 969.33. Fatty acids in oils and fats. Preparation of methyl esters. Boron trifluoride method. AOAC international 19 th Ed.
- Awang, Y., Ghani, M.A.A., Sijam, K., Mohamad, R.B., 2011: Effect of calcium chloride on anthracnose disease and postharvest quality of red-flesh

- dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*). Afr. J. Microbiol. Res. 5(29), DOI:10.5897/ajmr10.541
- Badimon, L., Vilahur, G., Padro, T., 2010: Nutraceuticals and atherosclerosis: human trials. Cardiovasc. Ther. 28(4), 202-215. DOI: 10.1111/j.1755-5922.2010.00189.x
- Benzie, I.F., Strain, J.J., 1996: The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. Anal. Biochem. 239(1), 70-76. DOI: 10.1006 / abio.1996.0292
- Brown, J.E., 2011: Nutrition: through the life cycle, 4a edición. Minnesota, USA: Wadsworth, Cengage Learning. 516 p.
- Butera, D., Tesoriere, L., Di Gaudio, F., Bongiorno, A., Allegra, M., Pintaudi, A.M., Kohen, R., Livrea, M.A., 2002: Antioxidant activities of sicilian prickly pear (*Opuntia ficus indica*) fruit extracts and reducing properties of its betalains: betanin and indicaxanthin. J. Agric. Food Chem. 50(23), 6895–6901. DOI: 10.1021/jf025696p
- Cáliz De Dios, H., 2004: Distribución geográfica de las pitahayas (*Hylocereus*) en la república mexicana. Cactáceas y Suculentas Mexicanas. 49, 4-23.
- Das, L., Bhaumik, E., Raychaudhuri, U., Chakraborty, R. 2012: Role of nutraceuticals in human health. J. Food Sci. Technol. 49, 173-183
- DeLong, J.M., Prange, R.K., Harrison, P.A., McRae, K.B., 2000: Comparison of a new apple firmness penetrometer with three standard instruments. Postharvest Biology and Technology, 19(3), 201–209. DOI: 10.1016/s0925-5214(00)00097-1
- Felker, P., Stintzing, F.C., Müssig, E., Leitenberger, M., Carle, R., Vogt, T., Bunch, R., 2008: Colour inheritance in cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) fruits. Ann. Appl. Biol. 152(3), 307–318. DOI:10.1111/j.1744-7348.2008.00222.x
- García-Cruz, L., Valle-Guadarrama, S., Salinas-Moreno, Y., Joaquín-Cruz, E., 2013: Physical, Chemical, and Antioxidant Activity Characterization of Pitaya (*Stenocereus pruinosus*) Fruits. Plant Food Hum. Nutr. 68(4), 403–410. DOI:10.1007/s11130-013-0391-8
- García-Cruz, L., Valle-Guadarrama, S., Salinas-Moreno, Y., Luna-Morales, C., 2016: Postharvest quality, soluble phenols, betalains content, and antioxidant activity of *Stenocereus pruinosus* and *Stenocereus stellatus* fruit. Postharvest Biol. Technol. 111, 69–76, DOI:10.1016/j.postharvbio.2015.07.004
- García-Rubio, L.A., Vargas-Ponce, O., Ramírez-Mireles, F.J., Munguía-Lino, G., Corona-Oceguera, C.A., Cruz-Hernández, T., 2015: Distribución geográfica de *Hylocereus* (Cactaceae) en México. Bot. Sci. 93(4), 921-939. DOI: 10.17129/botsci.282

- Gengatharan, A., Dykes, G.A., Choo, W.S., 2015: Betalains: natural plant pigments with potential application in functional foods. *LWT-Food Sci. Technol.* 64(2), 645–649. DOI: 10.1016/j.lwt.2015.06.052
- Gupta, N., Ram, H., Kumar, B., 2016: Mechanism of zinc absorption in plants: uptake, transport, translocation and accumulation. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 15(1), 89–109. DOI:10.1007/s11157-016-9390-1
- Ibrahim, S.R.M., Mohamed, G.A., Khedr, A.I.M., Zayed, M.F., El-Kholy, A.A., 2018: Genus *Hylocereus* : Beneficial phytochemicals, nutritional importance, and biological relevance - A review. *J. Food Biochem.* 42(2), 1-29. DOI:10.1111/jfbc.12491
- Iwashina, T., 2015: Flavonoid Properties in Plant Families Synthesizing Betalain Pigments (Review). *Nat. Prod. Commun.* 10(6), 1103-1114. DOI: 10.1177/1934578x1501000675
- Jeronimo, M. C., Joice, V. C. O., & Carvalho Garbi Novaes, M. R., 2017: Nutritional pharmacological and toxicological characteristics of pitaya (*Hylocereus undatus*): A review of the literature. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 11(27), 300–304. DOI: 10.5897/AJPP2016.4582
- Lim, H.K., Tan, C.P., Karim, R., Ariffin, A.A., Bakar, J., 2010: Chemical composition and DSC thermal properties of two species of *Hylocereus* cacti seed oil: *Hylocereus undatus* and *Hylocereus polyrhizus*. *Food Chem.* 119(4), 1326–1331. DOI: 10.1016/j.foodchem.2009.09.002
- Le Bellec, F., Vaillant, F., Imbert, E., 2006: Pitahaya (*Hylocereus* spp.): a new fruit crop, a market with a future. *Fruits* 61:237-250. DOI:10.1051/fruits:2006021
- Livrea, M.A., Tesoriere, L., 2006: Health benefits and bioactive components of the fruits from *Opuntia ficus-indica* [L.] Mill. *J. Prof. Assoc. Cactus Dev.* 8, 73-90.
- López Martínez, C.R., García Mateos, R., Gallegos Vázquez, C., Sahagún Castellanos, J., 2015: Antioxidant components and nutritional quality of 15 genotypes of Xoconostle (*Opuntia* spp.). *J. Prof. Assoc. Cactus Dev.* 17, 33-49.
- Lugo-Radillo, A., Delgado-Enciso, I., Rodriguez-Hernandez, A., Peña-Beltran, E., Martinez-Martinez, R., Galvan-Salazar, H., 2020: Inhibitory effect of betanin from *Hylocereus ocamponis* against steatohepatitis in mice fed a high-fat diet. *Natural Product Communications*, 15(7). DOI: 10.1177/1934578X20932013
- Mensink, R.P., Katan, M.B., 1992: Effect of dietary fatty acids on serum lipids and lipoproteins. A meta-analysis of 27 trials. *Arterioscler Thromb. Vasc. Biol.* 12 (8), 911–919. DOI: 10.1161 / 01.atv.12.8.911
- Mercado-Silva, E.M., 2018: Pitaya— *Hylocereus undatus* (Haw). *Exotic fruits: reference guide*, 339–349. DOI:10.1016/b978-0-12-803138-4.00045-9

- Naidu, K.A., 2003: Review: vitamin C in human health and disease is still a mystery? AnOverview. *Nutr. J.* 2 (7), 1-10. DOI: 10.1186/1475-2891-2-7
- Novoa, A., Le Roux, J.J., Robertson, M.P., Wilson, J., Richardson, D.M., 2015: Introduced and invasive cactus species: a global review. *AoB Plants* 7, 1-14, DOI: 10.1093/aobpla/plu078
- Ortiz, T.A., Takahashi, L.S.A., 2015: Physical and chemical characteristics of pitaya fruits at physiological maturity. *Genet. Mol. Res.* 14(4), 14422–14439. DOI:10.4238/2015.november.18.5
- Panche, A.N., Diwan, A.D., Chandra, S.R., 2016: Flavonoids: an overview. *J. Nutr. Sci.* 5, 1-15. DOI:10.1017/jns.2016.41
- Quiroz-González, B., García-Mateos, R., Corrales-García, J.J.E., Colinas-León, M.T., 2018: Pitaya (*Stenocereus* spp.): an under-utilized fruit. *J. Prof. Assoc. Cactus Dev.* 20, 82-100.
- Ríos-Alegría, E., Mercado-Silva, E., Mondragón, J.C., Vázquez-Barrios, M.E., Rivera-Pastrana, D.M., 2018: Influence of ripening stage on phytochemicals and antioxidant activity of prickly pear (*O.megacantha* “Liria”). *Acta Hortic.* 1194, 1367–1374. DOI:10.17660/actahortic.2018.1194.192
- Singleton, V.L., Rossi, J.A., 1965: Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic– phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Viticult.* 16, 144–158.
- Soto, J.R., 2018: Tratamiento no farmacológico de la hipertensión arterial. *Rev. Méd. Clín. Las Condes* 29(1), 61–68. DOI: 10.1016/j.rmcl.2018.01.001
- Suntornsuk, L., Gritsanapun, W., Nilkamhank, S., Paochom, A., 2002: Quantification of vitamin C content in herbal juice using direct titration. *J. Pharm. Biomed. Anal.* 28, 849-855. DOI: 10.1016 / s0731-7085 (01) 00661-6
- Tanaka, Y., Sasaki, N., Ohmiya, A., 2008: Biosynthesis of plant pigments: anthocyanins, betalains and carotenoids. *Plant J.* 54(4), 733–749. DOI: 10.1111/j.1365-313x.2008.03447.x
- Vaillant, F., Perez, A., Davila, I., Dornier, M., Reynes, M., 2005: Colorant and antioxidant properties of red-purple pitahaya (*Hylocereus* sp.). *Fruits* 60(1), 3–12. DOI: 10.1051/fruits:2005007
- Van To, L., Ngu, N., Duc, N.D., Huong, H.T.T., 2002: Dragon fruit quality and storage life: effect of harvesting time, use of plant growth regulators and modified atmosphere packaging. *Acta Hortic.* 611–621(575). DOI:10.17660/actahortic.2002.575.72
- Van Breda, S.G.J., De Kok, T.M.C.M., 2017: Smart Combinations of bioactive compounds in fruits and vegetables may guide new strategies for personalized prevention of chronic diseases. *Mol. Nutr. Food Res.* 62(1), 1700597. DOI:10.1002/mnfr.201700597

- Wildman, R.E.C., Kelley, M. 2007: Nutraceuticals and functional foods: In: Wildman, R.E.C. (ed.), Handbook of nutraceuticals and functional foods, 1-21. CRC Press. Boca Raton, EUA. DOI: 10.1201/9781420006186.ch1
- Witham, F.H., Blaydes, D.F., Devlin, R.M., 1971: Experiments in plant physiology. Van Nostrand Reinhold Company. New York, USA. 245 p.
- Wybraniec, S., Mizrahi, Y., 2002: Fruit flesh betacyanin pigments in *Hylocereus* cacti. J. Agric. Food Chem. 50(21), 6086–6089. DOI:10.1021/jf020145k
- Wybraniec, S., Nowak-Wydra, B., Mitka, K., Kowalski, P., Mizrahi, Y., 2007: Minor betalains in fruits of *Hylocereus* species. Phytochemistry. 68(2), 251–259. DOI: 10.1016/j.phytochem.2006.10.002
- Wu, L., Hsu H.-W., Chen Y.-C., Chiu C.-C., Lin Y.-I., Ho J.A., 2006: Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya. FOOD CHEM. 95, 319–327. DOI: 10.1016 / j.foodchem.2005.01.002

**IV. POSTCOSECHA DE FRUTOS DE PITAHAYA (*Hylocereus*
ocamponis) ALMACENADOS A DIFERENTES
TEMPERATURAS**

POSTCOSECHA DE FRUTOS DE PITAHAYA (*Hylocereus ocamponis*) ALMACENADOS A DIFERENTES TEMPERATURAS¹

RESUMEN

El fruto de pitahaya (*Hylocereus* spp) se ha colocado con éxito en el mercado mundial frutícola debido a su apariencia exótica y sabor agradable; sin embargo, su comercialización en mercados nacionales e internacionales se puede ver limitada por su corta vida postcosecha. La vida postcosecha y calidad final de los frutos de pitahaya depende del estado de madurez en el que se cosecha, así como de las condiciones de almacenamiento. El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento postcosecha de frutos de pitahaya (*H. ocamponis*) cosechados en dos estados de madurez (preconsumo y consumo), almacenados a 6 y 22 °C por 24 d. El color, firmeza, grosor de cáscara, pérdida de peso, sólidos solubles y azúcares solubles totales, betalaínas, compuestos fenólicos y actividad antioxidante presentaron cambios significativos durante el periodo de almacenamiento. Los frutos almacenados por 9 d a 22 ± 3 °C conservaron su firmeza y color de cáscara, contenido de sólidos solubles, azúcares solubles y betalaínas, pero a los 12 d presentaron pudrición, así como la degradación de las betalaínas de la cáscara. Los frutos almacenados a 6 ± 1 °C presentaron menor pérdida de peso, firmeza y grosor de cáscara, alcanzando los 24 d de vida útil. La actividad antioxidante fue mayor en los frutos almacenados a temperatura ambiente, producto de un efecto sinérgico entre betalaínas y compuestos fenólicos.

Palabras clave: refrigeración, vida de anaquel, betalaínas, estados de madurez.

¹Tesis de Doctorado en Ciencias, en Horticultura, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Lyzbeth Hernández Ramos

Director de Tesis: Dra. María del Rosario García Mateos

PITAHAYA FRUITS (*Hylocereus ocamponis*) IN POSTHARVEST STORAGE AT DIFFERENT TEMPERATURES¹

SUMMARY

The pitahaya (*Hylocereus* spp.) has been successfully placed on the world fruit market due to its exotic appearance and pleasant flavour; however, its commercialization in national and international markets can be limited by their short postharvest life. The postharvest life and final quality of pitahaya fruits depends on the state of maturity in which were harvested, as well as storage conditions. The objective of this work was to evaluate the postharvest behavior of pitahaya fruits (*H. ocamponis*) harvested into two states of maturity (pre-consumption and consumption) and stored at 6 and 22 °C for 24 days. Color, firmness, epicarp thickness, weight loss, soluble solids and total soluble sugars, betalains, phenolic compounds and antioxidant activity showed significant changes during the storage period. The fruits stored at 22 ± 3 °C retained their firmness and epicarp color, content of soluble solids, soluble sugars and betalains by 9 d of storage, but fruits showed rotting and degradation of the betalains of the epicarp at 12 d. The fruits stored at 6 ± 1 °C showed lower weight loss, firmness and epicarp thickness, reaching 24 d of useful life. Antioxidant activity was greater in fruits stored at room temperature, this behavior could be the product of an effect between betalains and phenolic compounds.

Keywords: refrigeration, shelf life, betalains, maturity stages.

¹Doctoral Thesis in Science, in Horticulture, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo

Author: Lyzbeth Hernández Ramos

Advisor: Dra. María del Rosario García Mateos

1. INTRODUCCIÓN

Pitahaya, conocida como fruta del dragón o tuna tasaja es el nombre que reciben los frutos de las especies del género *Hylocereus*; éste comprende aproximadamente entre 16-18 especies de cactáceas nativas de América (García-Rubio et al., 2015; Mercado-Silva, 2018). Es el género de mayor distribución de la familia Cactaceae, su metabolismo fotosintético ácido de las crasuláceas (MAC) permite la producción de biomasa en condiciones áridas y de sequía, por ello su habitat se localiza en regiones templadas, tropicales a semiáridas del mundo (García-Rubio et al., 2015; Mercado-Silva, 2018). En México se ha identificado una amplia diversidad de especies, su distribución se localiza en 11 de las 14 provincias biogeográficas del país (García-Rubio et al., 2015). El fruto de la pitahaya se consume en fresco; pero también es empleado en la elaboración de mermelada, licor y jugo; su cáscara destaca por su pigmentación, como tejido subutilizado podría ser una fuente de pectina, además de pigmentos naturales para la industria agroalimentaria (Jalgaonkar et al., 2020).

El fruto de pitahaya se ha colocado con éxito en el mercado mundial debido a su apariencia exótica y sabor agradable. Las tendencias actuales de los consumidores demandan la adquisición de productos naturales con alto valor nutricional y funcional por los beneficios a la salud de los consumidores debido a su alto contenido de ingredientes antioxidantes, lo que ha contribuido a la diversificación en el consumo de algunas hortalizas y frutos (Bernaert et al., 2012). El fruto contiene niveles superiores de P, K, Ca, Mg, lípidos y betalaínas en comparación con los frutos de otras cactáceas; además es fuente de Fe, proteínas, fibra, compuestos fenólicos, flavonoides, fitoesteroles, triterpenos; la semilla presenta importante contenido de ácidos grasos poliinsaturados (Hernández-Ramos et al., 2020; Ibrahim et al., 2018). El atractivo color de la cáscara y el color de la pulpa, de algunas especies de *Hylocereus*, es debido a la presencia de betalaínas, pigmentos con actividad

antioxidante, propiedades anticancerígenas, antiinflamatorias, actividad antimicrobiana y neuroprotectora (Ibrahim et al., 2018; Wu et al., 2006).

El fruto es una baya de comportamiento no climatérico, de pulpa suave, jugosa y con abundantes semillas pequeñas embebidas, y la cáscara (epicarpio) presenta brácteas (Nerd et al., 1999). La pigmentación de la cáscara completamente roja es indicador de madurez de consumo, con las mejores características fisicoquímicas y sensoriales para el consumo del fruto, pero su vida postcosecha es menor. Por lo cual, los frutos se cosechan en diversas etapas de maduración, desde la aparición incipiente del color (madurez inicial) hasta su totalidad en la cáscara (madurez completa) (Freitas & Mitcham, 2013; Osuna Enciso et al., 2011; Nerd et al., 1999). La cosecha en la etapa adecuada de madurez es un factor que influye en las características fisicoquímicas finales del fruto y en su vida útil (Wanitchang et al., 2010). De acuerdo con Osuna Enciso et al. (2011) y Magalhães et al. (2019), los frutos pueden cosecharse en diferente estado de madurez dependiendo del destino comercial de la pitahaya: en madurez media o preconsumo (fruto semimaduro), el fruto muestra predominantemente pigmentación roja en la cáscara, es el estado de madurez adecuado para la comercialización en mercados distantes al sitio de cultivo; o en madurez completa o de consumo cuando el fruto presenta pigmentación roja intensa en la totalidad de la cáscara, estado de madurez adecuado para la comercialización en mercados cercanos y consumo inmediato. En ambos estados de madurez el fruto presenta características adecuadas para su comercialización (sólidos solubles, acidez, pH, peso, firmeza y grosor de cáscara).

Las especies de mayor producción y comercialización son *H. undatus* (pitahaya roja pulpa blanca), *H. megalanthus* (pitahaya amarilla pulpa blanca) y *H. polyrhizus* (pitahaya roja pulpa roja) (Ibrahim et al., 2018; Mercado-Silva, 2018). Los frutos de *H. undatus* cosechados en madurez inicial presentan mayor vida postcosecha que aquellos en madurez completa o de consumo, por la mayor firmeza de la pulpa y menor tasa de respiración; pero menor

nivel de sólidos solubles totales y color menos atractivo (Osuna Enciso et al., 2011).

Una alternativa para lograr prolongada vida postcosecha de frutos climatéricos y no climatéricos es la refrigeración porque permite el retraso de la senescencia; es un método eficaz que disminuye o retarda los factores de deterioro que alteran la calidad del producto por desórdenes fisiológicos (Kader, 2007). Sin embargo, se desconoce el efecto que pudiera tener la refrigeración en la vida postcosecha del fruto de pitahaya, a pesar de ser un fruto altamente perecedero, pero susceptible a daños por frío. Algunos autores mencionan que los frutos de *H. undatus* y *H. polyrhizus* almacenados a una temperatura menor o igual a 6 °C puede desarrollar daños por frío (pérdida de firmeza, oscurecimiento de brácteas y parte externa de la pulpa, liberación de electrolitos, entre otros síntomas) (Nerd et al., 1999; Quiroz-González et al., 2017). En contraste, Freitas & Mitcham (2013) refieren que el almacenamiento de *H. undatus* durante 20 d a 5 °C permite disminuir la pérdida de peso de los frutos y conservar la firmeza de la pulpa y de la cáscara, así como el color verde de las brácteas. Sin embargo, existe poca información sobre el manejo y comportamiento postcosecha y condiciones de almacenamiento de los frutos de algunas especies, principalmente de especies nativas como es *H. ocamponis* (pitahaya roja pulpa roja, rosa o púrpura), especie que esta tomando mayor importancia en los productores por sus características favorables (mayor dulzor y atractivo color rojo intenso de pulpa, asociado a su alto contenido de betalaínas) para su comercialización. Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el comportamiento postcosecha de frutos de pitahaya (*H. ocamponis*) cosechados en dos estados de madurez, bajo dos condiciones de almacenamiento (refrigeración y temperatura ambiente), con el fin de contribuir con información sobre las características de esta especie durante su periodo postcosecha y los cambios en sus atributos de la calidad del fruto.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Material vegetal

Frutos de pitahaya de pulpa roja (*H. ocamponis*) libres de plagas y daños físicos, se cosecharon a los 40 d después de la antesis, durante el segundo periodo de fructificación en julio de 2018, en un huerto comercial ubicado en Molcaxac, Puebla, México (18° 43' 36" LN, 97° 54' 48" LO, 1843 m de altitud y precipitación media anual de 655 mm), con una temperatura ambiente durante la cosecha de 22 ± 2 °C.

2.1.1. Indicadores de madurez del fruto

El porcentaje de pigmentacion roja de la superficie de la cáscara se empleó como índice de madurez de los frutos de pitahaya de acuerdo a lo reportado por Magalhães et al. (2019) y Osuna Enciso et al. (2011) en frutos de *Hylocereus polyrhizus* y *H. undatus*, respectivamente. Los autores señalan tres estados de madurez: 1) frutos verdes en madurez inicial (≤ 50 % de pigmentacion roja de la cáscara) y valor del ángulo de tono (*hue*) próximo a 120°; 2) frutos semimaduros o en madurez media (madurez de preconsumo), entre 50 - 75 % de de pigmentacion roja en la cáscara y ángulo de tono cercano entre 60-75°; y 3) frutos maduros o en madurez completa (madurez de consumo), con más de 75 % de pigmentacion roja y *Hue* $\leq 60^\circ$ en cáscara, y un *Hue* cercano a 20° cuando se logró la pigmentacion total de la cáscara.

Para la presente investigación se cosecharon únicamente frutos en madurez preconsumo y madurez de consumo, etapas de maduración donde el fruto tiene las características adecuadas para su comercialización (Magalhães et al., 2019). Para la cosecha, los frutos se seleccionaron mediante la observación visual de la pigmentación de la cáscara, y fueron trasladados inmediatamente a la Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México,

México para su análisis. Los parámetros de color de la cáscara de los frutos cosechados se usaron como indicador para corroborar la clasificación de acuerdo con el criterio de Magalhães et al. (2019) y Osuna Enciso et al. (2011).

2.2. Tratamientos, diseño y unidad experimental

Para evaluar el comportamiento postcosecha de *H. ocamponis*, se utilizaron 60 frutos en madurez preconsumo y 60 frutos en madurez de consumo (Figura 1). Cada grupo se dividió en dos partes, para su almacenamiento a diferente temperatura. El diseño experimental fue completamente al azar, con cuatro tratamientos, y la unidad experimental consistió en un fruto. Los tratamientos evaluados fueron: frutos en madurez preconsumo (30 frutos) almacenados a 22 ± 3 °C (T_1); frutos en madurez de consumo (30 frutos) almacenados a 22 ± 3 °C (T_2); frutos en madurez preconsumo (30 frutos) almacenados a 6 ± 1 °C (T_3) y frutos en madurez de consumo almacenados a 6 ± 1 °C (T_4), todos los tratamientos permanecieron a 70 % de humedad relativa.

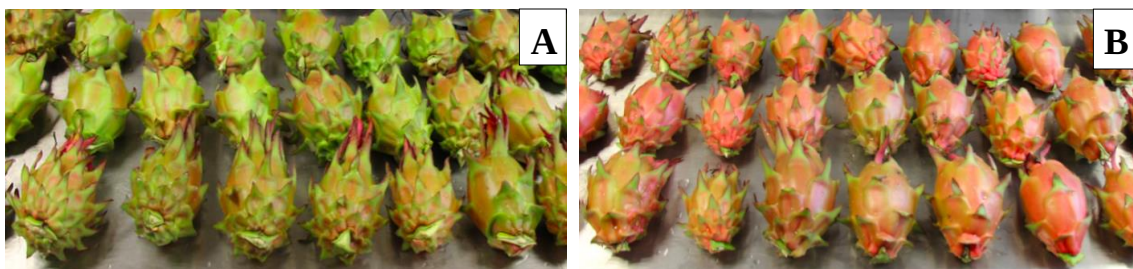


Figura 1. Frutos de pitahaya de pulpa roja cosechados en madurez preconsumo (A) y madurez de consumo (B).

El día en que inició el almacenamiento (0 d) se muestrearon 12 frutos de cada estado de madurez con objeto de hacer una caracterización inicial. Posteriormente, se realizaron periódicamente (1, 3, 6, 9, 12, 16, 20 y 24 d de almacenamiento a los 6 y 22 °C) las evaluaciones de las variables respuesta. Esto último con el fin de realizar una caracterización física (pérdida de peso, color de la pulpa (mesocarpio) y de la cáscara (epicarpio), grosor y firmeza

de cáscara) y química (contenido de sólidos solubles totales (SST), azúcares solubles totales (AST) y acidez titulable (AT)); así como la determinación del contenido nutracéutico (contenido de betalaínas en pulpa (mesocarpio) y cáscara (epicarpio), contenido de fenoles solubles totales (FST)) y actividad antioxidante de pulpa.

2.3. Caracterización física

El diámetro ecuatorial y longitud del fruto, como el grosor de cáscara se determinaron mediante un vernier digital (INOX IP54 Caliper, Grass Valley, USA), se consideró la relación entre L/DE para determinar el índice de redondez. El peso del fruto se determinó mediante una balanza electrónica (Scout Pro SP2001 Ohaus®, USA). La pérdida de peso se determinó en porcentaje (%) con base en la condición inicial. La firmeza de la cáscara se evaluó con un penetrómetro (FT 327, QA SUPPLIES®, USA) equipado con una punta de émbolo de 8 mm de grosor.

El color de la pulpa y cáscara fueron evaluados con un colorímetro portátil Color Tec-PCM® (Cole Palmer, Illinois, USA) y expresados en Luminosidad (L^*), ángulo de tono (*hue*) e índice de saturación del color (*chroma*). Se realizó el cálculo mediante las fórmulas siguientes: $Hue = \arctan(b/a)$; $Chroma = (a^2 + b^2)^{1/2}$ (Mc Guire, 1992).

2.4. Caracterización química

Los sólidos solubles totales (°Brix) se evaluaron mediante un refractómetro digital (PAL-1 ATAGO®, Japon); el contenido de azúcares solubles totales mediante el método de la antrona descrito por Witham et al. (1971) y la acidez titulable mediante la técnica descrita por la Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2005).

2.5. Cuantificación nutracéutica

Contenido de betalaínas totales. Se preparó un extracto metanólico de la pulpa y otro de la cáscara separadamente de acuerdo al método descrito por Wu et. (2006). Primeramente, se mezcló 1 g del tejido vegetal molido con 20

mL de metanol 80 % (v/v). La mezcla se homogeneizó mediante agitación en un vortex y se sonicó por 10 min a temperatura ambiente. Posteriormente, se recuperó el sobrenadante y el residuo fue sometido a una segunda extracción similar. Finalmente, se leyó la absorbancia de los extractos en un espectrofotómetro (Genesys 10 s).

El contenido de betalaínas totales, betacianinas y betaxantinas se determinó mediante la fórmula: $B \text{ [mg g}^{-1}] = A \cdot FD \cdot PM \cdot V / \epsilon \cdot L \cdot P$; donde B = concentración de betacianinas o betaxantinas, A = absorbancia a 538 nm (betacianinas) o 483 nm (betaxantinas), FD = factor de dilución, PM = peso molecular (550 g mol⁻¹ para betanina y 308 g mol⁻¹ para indicaxantina), V = volumen de aforo (mL), ϵ = coeficiente de extinción molar (betanina: 60 000 L mol⁻¹ cm⁻¹ e indicaxantina: 48 000 L mol⁻¹ cm⁻¹), P = peso de la muestra (g) y L = longitud de la celda (1 cm). Los resultados se expresaron como contenido de betalaínas totales (betacianinas + betaxantinas) por cada 100 g de peso fresco.

Cuantificación de compuestos fenólicos. El contenido de los compuestos fenólicos se determinó únicamente en la pulpa (mesocarpio) con semillas de acuerdo por el método descrito por Wu et al. (2006), con algunas modificaciones. Para la preparación del extracto acetónico, se mezcló 1 g del tejido vegetal fresco molido con 10 mL de acetona a 80 % (v/v). La mezcla se homogeneizó mediante agitación en un vortex y se sonicó por 10 min a temperatura ambiente. La extracción se realizó dos veces con el mismo residuo. El extracto se almacenó a 2 °C hasta su análisis. La cuantificación de compuestos fenólicos solubles totales se realizó de acuerdo al método descrito por Singleton y Rossi (1965). Se preparó una mezcla con 0.1 mL del extracto acetónico, 0.1 mL del reactivo Folin-Ciocalteu (1 N), 4.5 mL de agua destilada y 0.3 mL de Na₂CO₃ a 2 % (p/v). La mezcla se incubó a temperatura ambiente y en oscuridad por 2 h. Se tomaron lecturas de la absorbancia de la mezcla a 760 nm en un espectrofotómetro (Genesys 10s, Thermoscientific, USA). El contenido de los compuestos fenólicos totales se

determinó mediante una curva estándar de ácido gálico ($y = 0.0011x - 0.0084$; $R^2 = 0.998$). Los resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico por 100 g de muestra fresca ($\text{mg EAG} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ p. f.}$).

2.6. Cuantificación de la actividad antioxidante. La actividad antioxidante de la pulpa se evaluó por el método FRAP descrito por Benzie y Strain (1996), con algunas modificaciones. Se preparó una mezcla con 100 μL del extracto acetónico, 3 mL de reactivo FRAP (2.5 mL de buffer de acetato 300 mM a $\text{pH}=3.6$, 0.25 mL de una solución 10 mM de 2,4,6 Tripiridil-s triazina (TPTZ; Sigma–Aldrich) en HCl 40 mM y 0.25 mL de FeCl_3 20 mM) y 300 μL de H_2O destilada. La mezcla se incubó por 30 min a 37°C . Finalmente, en un espectrofotómetro se leyó la absorbancia de la mezcla a una longitud de onda de 593 nm. La actividad antioxidante se calculó mediante una curva estándar a base trolox ($y = 0.7419x + 0.0297$; $R^2 = 0.990$). Los resultados se expresaron en μM equivalentes de trolox por cada 100 g de peso fresco ($\text{mg ET} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ p. f.}$).

2.7. Análisis Estadístico

Todos los datos se expresaron como la media $\pm$ error estándar de tres repeticiones, a excepción de las características físicas y contenido de betalaínas del fruto de pitahaya al momento de la cosecha, donde se realizaron 12 repeticiones por medición. La unidad experimental fue un fruto de pitahaya. La prueba de T-Student se aplicó para diferenciar las características físicas y contenido de betalaínas (betacianinas y betaxantinas) entre los frutos en los dos estados de madurez al momento de la cosecha. Los datos del comportamiento postcosecha se analizaron mediante el software SAS 9.2 (SAS Institute Inc, Cary, NC, EE. UU.), basado en un análisis de varianza (ANOVA) utilizando un modelo mixto, según un diseño factorial 2^2 y comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). Se consideraron los cuatro tratamientos como efectos fijos y el tiempo de almacenamiento como un factor de variación de efectos aleatorios.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Características físicas del fruto

Los frutos cosechados en madurez preconsumo y madurez de consumo presentaron similar índice de redondez, peso de fruto y grosor de cáscara, pero diferente firmeza (Cuadro 1); la última fase de desarrollo de los frutos de estas especies se caracteriza por una desaceleración, eventualmente el cese del crecimiento, y el inicio de la maduración, proceso que se acompaña de cambios bioquímicos y sensoriales, como son los cambios en firmeza (Nerd et al., 1999). Los frutos cosechados en madurez de consumo presentaron menor firmeza de cáscara (Cuadro 1) como se ha reportado en los frutos de la especie *H. polyrhizus* por Wanitchang et al. (2010) donde observaron disminución de firmeza (13 N) en frutos inmaduros a 8 N en frutos maduros, por cambios en la composición de la pared celular y la presencia de diversas enzimas: poligalacturonasa (PG), pectin metilesterasa (PME), xiloglucan endotrans-glicosilasa (XET) y expansina (EXPs) reportadas en frutos climatéricos y no climatéricos (Sun et al., 2012). Esta característica confiere a los frutos maduros menor resistencia mecánica y mayor afectación por microorganismos. Al respecto, Seymour et al. (2013) señalan que el proceso de maduración en los frutos es un proceso genéticamente programado e irreversible que implica procesos bioquímicos y fisiológicos, que conducen a frutos con diferente firmeza, más suaves y comestibles con atributos de calidad deseables para el consumidor.

Cuadro 1. Características morfológicas y físicas del fruto de pitahaya (*Hylocereus ocamponis*) cosechado en madurez preconsumo y madurez de consumo.

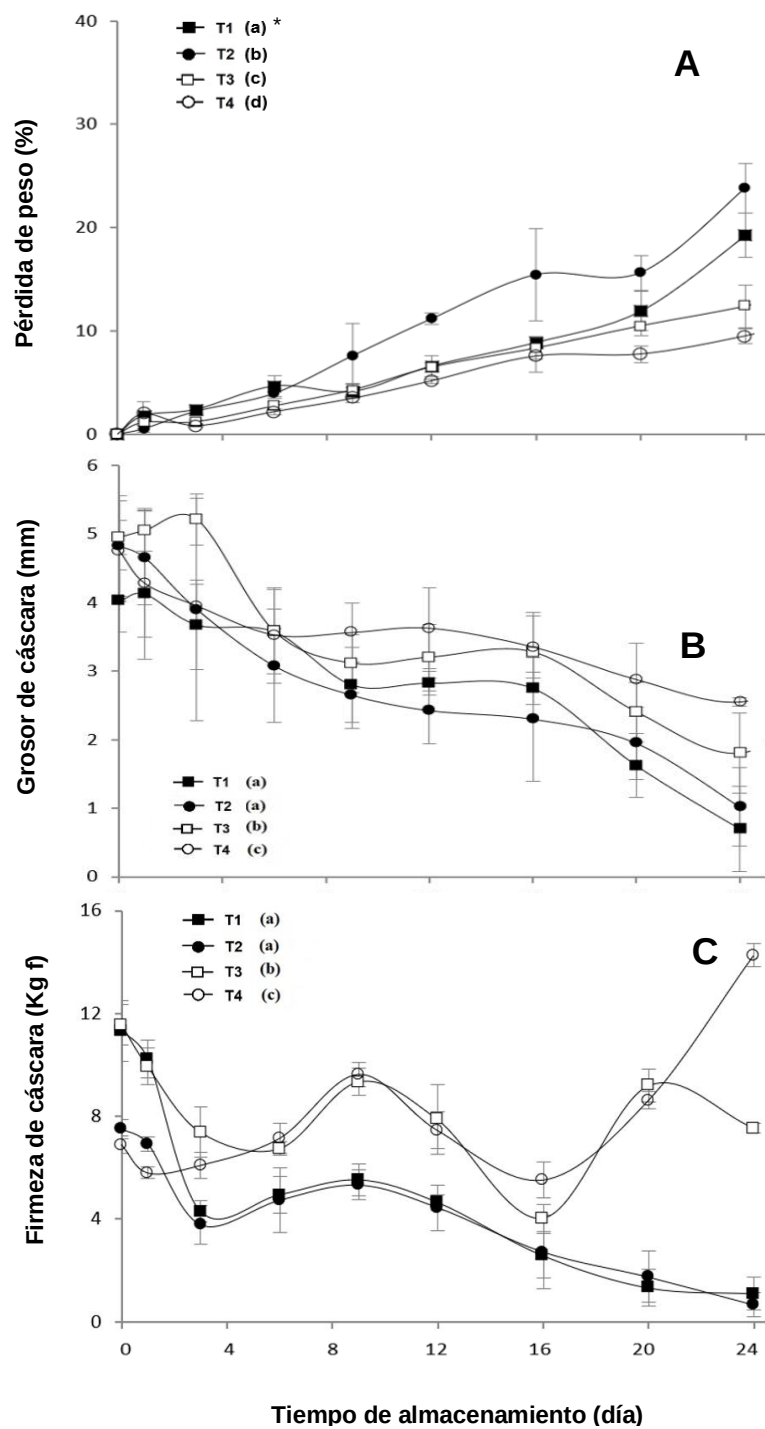
Características	Pitahaya (<i>H. ocamponis</i>)	
	Madurez preconsumo	Madurez de consumo
Características morfológicas		
Diámetro ecuatorial (cm)	8.09 ± 0.40 b	8.49 ± 0.30 a
Longitud (cm)	13.39 ± 0.69 b	14.70 ± 0.44 a
Índice de redondez	1.66 ± 0.10 a	1.73 ± 0.07 a
Peso del fruto (g)	491.92 ± 77.12 a	513.64 ± 73.96 a
Atributos físicos del epicarpio		
Espesor (mm)	4.49 ± 0.52 a	4.79 ± 0.54 a
Firmeza (N)	11.45 ± 0.76 a	7.20 ± 0.43 b

Todos los datos son expresados como la media ± error estándar, considerando doce repeticiones. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias estadísticas significativas por la prueba de T-Student ($P \leq 0.05$).

En contraste, durante el almacenamiento, las características físicas de los frutos de pitahaya se vieron afectadas (Figura 2). Los frutos almacenados a temperatura ambiente (T1 y T2) mostraron una mayor tasa de pérdida de peso a los refrigerados, superior (0.99 % por día) en los frutos en madurez de consumo (T2) en comparación a los de madurez preconsumo (T1) (0.80% por día). En cambio, los frutos que fueron almacenados a 6 °C en los dos estados de madurez (T3 y T4) presentaron una tasa menor de pérdida de peso (0.52 % y 0.40 %, respectivamente). En el presente estudio se observó más de 5 % de pérdida de peso en todos los tratamientos a partir de los 12 d. Se sabe que el fruto de pitahaya es sensible a la pérdida de agua después de su cosecha, por lo que se recomienda almacenar a altos valores de humedad relativa, entre 80 % a 95 % (Chandran, 2010; Freitas & Mitcham). En el presente estudio, la inferior humedad relativa (70 %) durante el almacenamiento y el déficit de la presión de vapor pudieron ocasionar el transporte de agua desde el interior del fruto hacia el ambiente. En el caso de los frutos a temperatura ambiente, las mayores tasas de pérdida de peso igualmente pudieron estar relacionadas con mayor pérdida de biomasa debido a mayor actividad respiratoria.

El grosor de la cáscara se vió disminuido desde el inicio del almacenamiento en todos los tratamientos, pero en los que se mantuvieron a una temperatura de 22 °C (T1 y T2) se observó un efecto mas pronunciado (Figura 2). Además, los frutos de estos tratamientos presentaron otros daños (marchitez de brácteas, cáscara menos brillante y menor apariencia turgente) a partir de los 16 d de almacenamiento; lo que coincide con lo reportado por Osuna Enciso et al. (2011) pero en frutos de *H. undatus*, éstos presentaron marchitez en brácteas cuando mostraron 5 % de pérdida de peso después de los 10 d de almacenamiento a 20 ± 2 °C.

Respecto a la firmeza de cáscara (Figura 2), los frutos de los tratamientos T1 y T2 mostraron mayor pérdida de firmeza y una disminución de 90 % hasta los 24 d con respecto a los valores observados al inicio del almacenamiento (0 d), lo cual puede ser debido al ablandamiento del fruto por cambios en la composición de su pared celular y una disminución de la adhesión celular como resultado de la disolución de la lámina media de sus tejidos, asociado a mayor actividad enzimática (pectinmetilesterasa, pectato liasas, poligalacturonasa, entre otras) (Paniagua et al., 2014), lo cual coincidió con la disminución del grosor de la cáscara. En contraste, los frutos de los tratamientos T3 y T4 que se mantuvieron en refrigeración a 6 °C hasta los 16 d mostraron menor disminución de firmeza, pero a partir de los 20 d de almacenamiento presentaron un aumento de firmeza lo que inhibió el ablandamiento de los frutos, lo anterior puede ser debido a: 1) la posible disminución de la actividad enzimática por baja temperatura (Ben-Arie et al., 1989), 2) pérdida de agua que acelera el marchitamiento de la cáscara. Este comportamiento fue similar al observado en frutos de pitaya (*Stenocereus pruinosus*) por García-Cruz et al. (2016), asociado con la pérdida de agua en la cáscara y mayor rigidez debido a la deshidratación. Por lo anterior, los frutos almacenados a temperatura ambiente fueron más vulnerables a daños mecánicos, reduciendo su vida útil y favoreciendo la incidencia de patologías poscosecha (pudriciones causadas por hongos) después de los 12 d de almacenamiento.



T1: frutos en madurez preconsumo, almacenados a 22 °C

T2: frutos en madurez de consumo, almacenados a 22 °C

T3: frutos en madurez preconsumo, almacenados a 6 °C

T4: frutos en madurez de consumo, almacenados a 6 °C

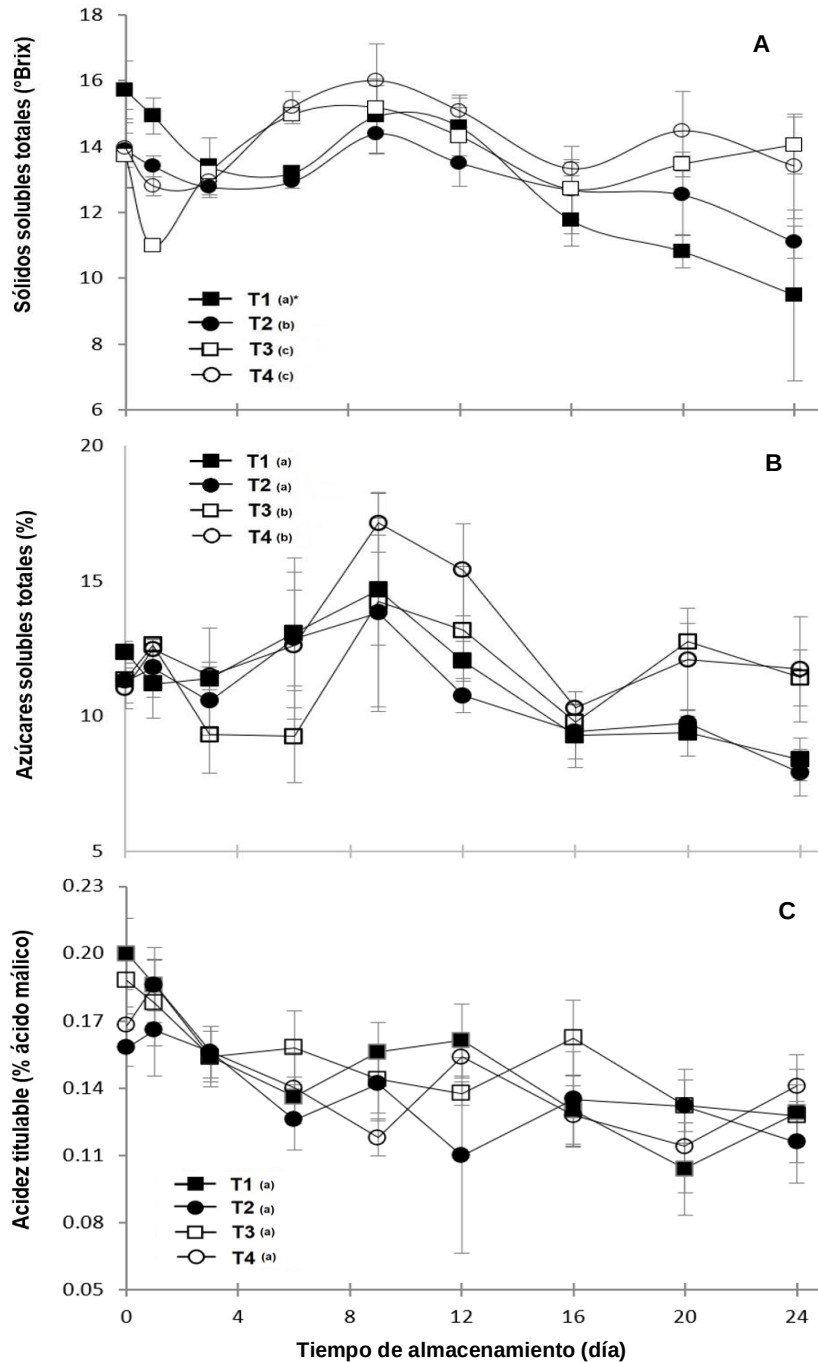
Figura 2. Pérdida de peso (A), grosor de cáscara (B) y firmeza de cáscara (C), de frutos de pitahaya (*H. ocamponis*) cosechados en dos estados de madurez y almacenados a 6 y 22 ° C durante 24 d. Barras de error corresponden al error estándar de tres repeticiones. *Letras diferentes entre tratamientos indican una diferencia significativa a los 24 días de almacenamiento (Tukey, 0.05).

3.2. Atributos químicos del fruto

Los sólidos solubles (SST) y azúcares solubles totales (AST) no mostraron diferencias entre los estados de madurez del fruto (T1 y T2) (Figura 3). Estos resultados coinciden con lo señalado por Osuna Enciso et al. (2011) en *H. undatus*, quienes reportan valores de SST similares en frutos en madurez media (11.6-13.6 °Bx) y madurez completa (11.3-12.4 °Bx). Sin embargo, los SST y AST si se afectaron por la temperatura y el tiempo de almacenamiento (Figura 3). En los frutos almacenados a 22 °C, la mayor concentración de SST y AST se observó a los 9 d de almacenamiento y coincidió con el mayor desarrollo de pigmentación roja de la cáscara (menores valores de Hue); pero después de este periodo se observó una disminución de 30 % hasta los 24 d de almacenamiento con respecto al momento de la cosecha (día cero), posiblemente al mantenimiento de la actividad respiratoria, asociada a la mayor transpiración y por ende, de la degradación oxidativa de los azúcares (Moreno Velázquez et al., 2013).

En contraste, los frutos almacenados a 6 °C (T3 y T4) presentaron un aumento en SST y AST a partir de los 16 d de almacenamiento y los valores observados a los 24 d fueron estadísticamente iguales a los encontrados al momento de la cosecha. Incrementos similares fueron reportados por Balois-Morales et al. (2013) y Quiroz-González et al. (2017) en frutos de *H. undatus* almacenados a 2-3 °C, ya que algunas especies acumulan azúcares y SST como un mecanismo de tolerancia a las bajas temperaturas y en ocasiones daño menor por frío.

La acidez es un parámetro de calidad que determina el sabor de un fruto, resultado del equilibrio entre los ácidos orgánicos y los azúcares. Los frutos de *H. ocamponis* son reconocidos por su sabor dulce con valores bajos de acidez titulable (AT) (≤ 0.20 %) y por la alta relación SST/AT (Hernández-Ramos et al., 2020). En los frutos cosechados en los distintos estados de madurez (Figura 6) no se encontraron diferencias significativas en la AT.



T1: frutos en madurez preconsumo, almacenados a 22 °C

T2: frutos en madurez de consumo, almacenados a 22 °C

T3: frutos en madurez preconsumo, almacenados a 6 °C

T4: frutos en madurez de consumo, almacenados a 6 °C

Figura 3. Sólidos solubles totales (A), azúcares solubles totales (B) y ácidéz titulable (C) en pulpa de frutos de pitaya (*Hylocereus ocamponis*) cosechados en dos estados de madurez y almacenados a 6 y 22 ° C durante 24 d. Barras de error corresponden al error estándar de tres repeticiones. *Letras diferentes entre tratamientos indican una diferencia significativa a los 24 días de almacenamiento (Tukey,0.05).

3.3. Parámetros de color y contenido de betalaínas

El color es una característica distintiva de la pulpa y de la cáscara de *H. ocamponis* debido al alto contenido de betalaínas (betacianinas + betaxantinas), pigmentos responsables del color rojo (Hernández-Ramos et al., 2020). Como se comentó con anterioridad, el nivel de pigmentación es un indicador del grado de madurez del fruto (Magalhães et al., 2019) debido a la degradación de clorofila y la síntesis de los pigmentos rojos en la cáscara (Figura 4).



Figura 4. Frutos de pitahaya (*Hylocereus ocamponis*) cosechados en madurez preconsumo y madurez de consumo.

En general, la cáscara de *H. ocamponis* fue más roja en madurez de consumo asociado a una mayor síntesis y acumulación de betacianinas, por lo que presentaron menores valores de *hue* en comparación con aquellos en madurez preconsumo (Cuadro 2). En contraste, la cáscara de los frutos en madurez preconsumo mostraron mayores valores de *hue* y presentaron consistentemente el contenido de betacianinas más bajo en comparación con la pulpa en ambos estados de madurez (Cuadro 2). Se ha reportado que la pigmentación de los frutos de *H. polyrhizus* inicia primero en la pulpa (28 d después de antesis) y después en la cáscara (34 d después de antesis) (Magalhães et al., 2019; Wu et al., 2019); por lo que en la presente investigación, al momento de la cosecha no se observó diferencias visuales en el color de la pulpa de *H. ocamponis* y no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los parámetros de color (L^* y *chroma*) y contenido de betalaínas entre la pulpa de los frutos cosechados en ambos estados de madurez.

Cuadro 2. Parámetros de color y contenido de betalaínas en frutos de pitahaya (*H. ocamponis*) cosechados en madurez preconsumo y madurez de consumo.

Características	Pitahaya (<i>H. ocamponis</i>)	
	Madurez preconsumo	Madurez de consumo
Atributos del epicarpio (cáscara)		
Luminosidad (L^*)	57.59 ± 6.99 a	62.28 ± 8.97 a
Ángulo de tono (<i>hue</i>)	73.19 ± 6.84 a	35.99 ± 8.59 b
<i>Chroma</i>	47.06 ± 4.44 a	48.77 ± 13.45 a
Betacianinas (mg 100 g ⁻¹)	7.34 ± 1.60 b	12.62 ± 3.17 a
Betaxantinas (mg 100 g ⁻¹)	2.44 ± 0.42 a	2.53 ± 1.10 a
Atributos del mesocarpio (pulpa)		
Luminosidad (L^*)	21.16 ± 3.85 a	17.71 ± 6.16 a
Ángulo de tono (<i>hue</i>)	23.66 ± 2.25 a	20.98 ± 2.63 b
<i>Chroma</i>	37.56 ± 3.96 a	32.69 ± 6.82 a
Betacianinas (mg 100 g ⁻¹)	9.34 ± 0.79 a	9.81 ± 2.53 a
Betaxantinas (mg 100 g ⁻¹)	3.67 ± 0.68 a	3.27 ± 0.72 a

Todos los datos son expresados como la media ± error estándar, considerando doce repeticiones. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias estadísticas significativas por la prueba de T-Student ($P \leq 0.05$).

Los frutos de pitahaya cosechados en ambos estados de madurez mostraron cambios significativos en el color de la pulpa y cáscara durante su vida postcosecha a diferentes temperaturas de almacenamiento (Figura 5). En los cuatro tratamientos se observaron diferencias de Luminosidad (L^*), ángulo de tono (*Hue*) y cromaticidad (*chroma*, C^*) entre la cáscara y la pulpa (Figura 6). Los valores de L^* y C^* en la pulpa de los frutos de los cuatro tratamientos fueron aumentando gradualmente durante su almacenamiento; sin embargo, menores valores de L^* (más oscura) y de C^* (menor intensidad o pureza de color) se observaron en los frutos almacenados a 22 °C (tratamientos T1 y T2). Además, la temperatura y tiempo de almacenamiento afectaron al ángulo de tono (*Hue*) de la pulpa. Los frutos de los tratamientos T1 y T2 mostraron fluctuaciones significativas de *hue* durante los 24 d de almacenamiento, con mayores valores de *hue* (menos roja), 35 % superior al encontrado en frutos almacenados a 6 °C (T3 y T4).

Respecto al color de la cáscara de pitahaya, solo el ángulo de tono (*Hue*) y *chroma* (C^*) se vieron influenciados significativamente por la temperatura y tiempo de almacenamiento, y la interacción estado de madurez × tiempo de almacenamiento. La cáscara de los frutos cosechados en madurez preconsumo y almacenados a 22 °C (T1) presentaron similar *hue* que los frutos en madurez de consumo (almacenados 22 y 6 °C) a partir del 3 d (Figura 6), debido a que continuó su proceso de maduración, y por ende la síntesis de pigmentos característicos (betacianinas), asociado a una disminución de los valores de *hue* de la cáscara (Nerd et al., 1999). En contraste, los frutos cosechados en madurez preconsumo y almacenados a 6 °C (T3) alcanzaron su mayor color rojo entre el 6 y 9 d; sin embargo, estos frutos fueron de color rojo claro, dado los mayores valores de *hue* ($> 32^\circ$) y L^* ($> 50 \%$), asociados a una menor acumulación de pigmentos. Lo anterior, dado que la menor temperatura de almacenamiento pudo ocasionar maduración irregular y una alteración en el color de los frutos al disminuir la síntesis de betalaínas.

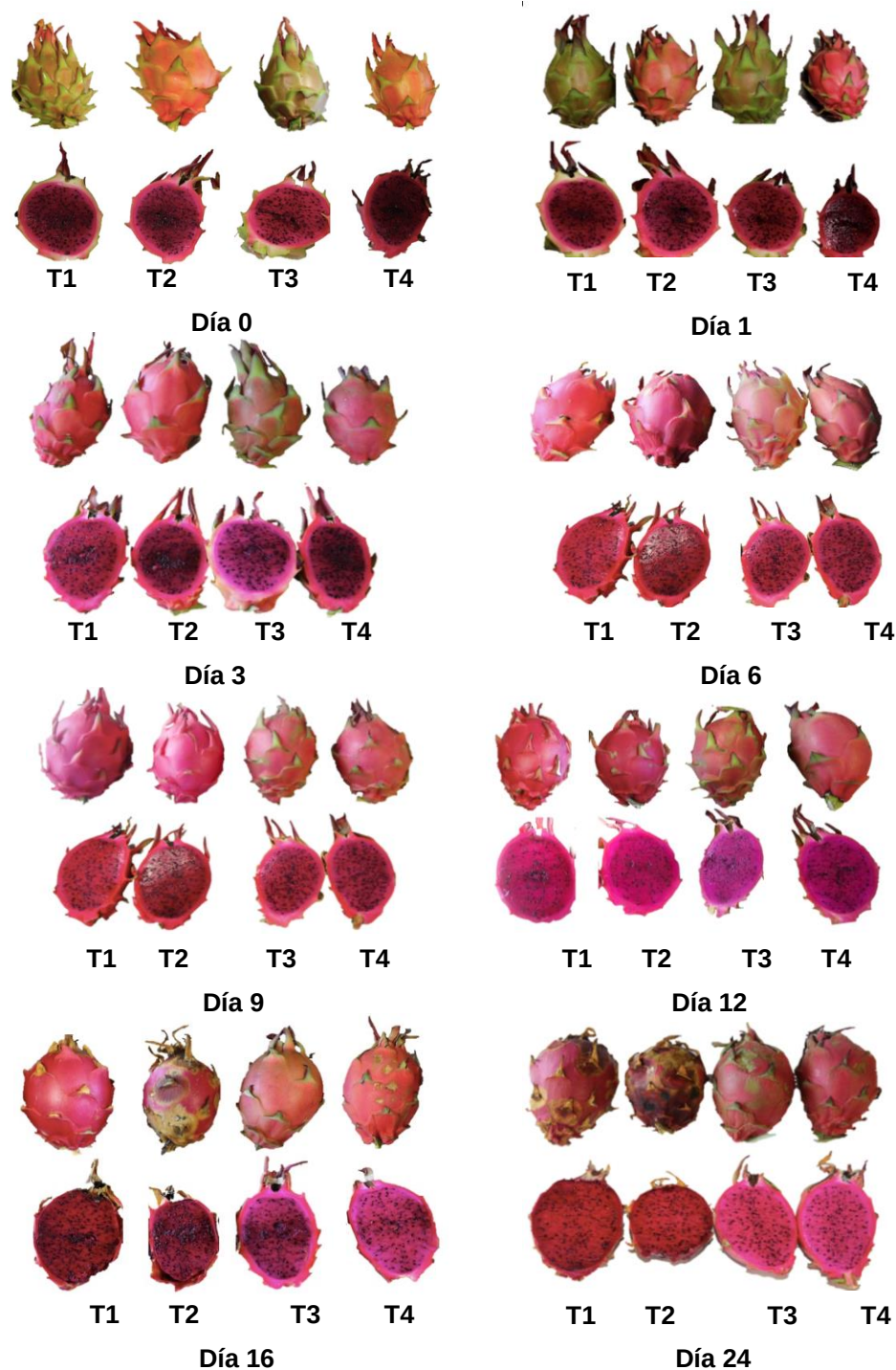
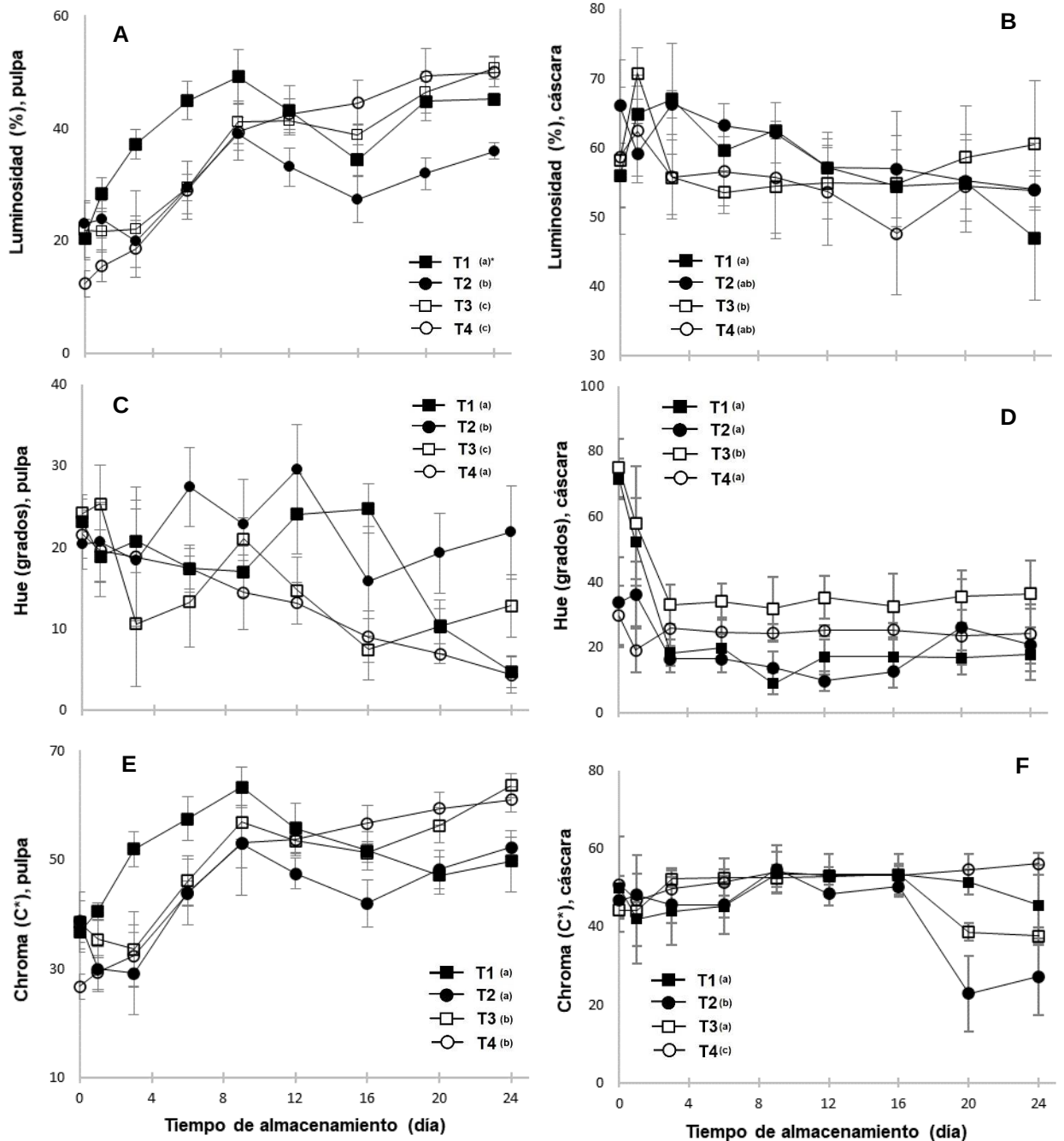


Figura 5. Cambios de color en frutos de pitahaya (*Hylocereus ocamponis*) cosechados en dos estados de madurez y y almacenados a diferente temperatura: T₁: madurez preconsumo / 22 ± 3 °C, T₂: madurez de consumo / 22 ± 3 °C, T₃: madurez preconsumo / 6 ± 1 °C, T₄: madurez de consumo / 6 ± 1 °C



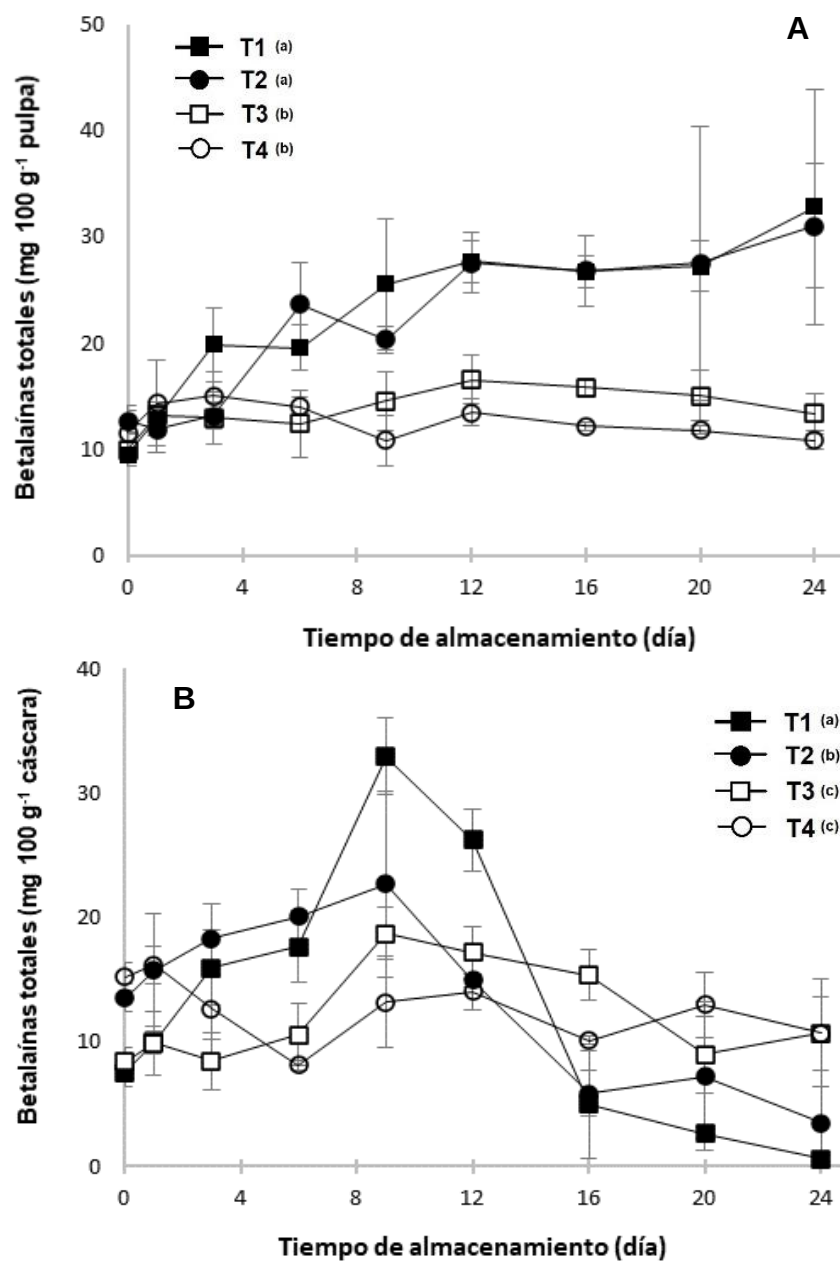
T1: frutos en madurez preconsumo, almacenados a 22 °C
T3: frutos en madurez preconsumo, almacenados a 6 °C

T2: frutos en madurez de consumo, almacenados a 22 °C
T4: frutos en madurez de consumo, almacenados a 6 °C

Figura 6. Atributos de color en frutos de pitahaya (*Hylocereus ocamponis*) cosechados en dos estados de madurez y almacenados a 6 y 22 °C durante 24 d: luminosidad, ángulo de tono y *chroma* en pulpa (A, C y E) y cáscara (B, D y F). Barras de error corresponden al error estándar de tres repeticiones. Letras diferentes entre tratamientos indican una diferencia significativa a los 24 días de almacenamiento (Tukey, 0.05).

En relación al *chroma* (C^*) de la cáscara, los frutos cosechados en madurez de consumo y almacenados a 22 °C (T2) presentaron los menores valores a los 24 d (Figura 6), cambio que indicó una disminución en los pigmentos rojos y pérdida de pureza de color debido a la presencia de pudrición y necrosis en la cáscara (Figura 5). Respecto a los frutos a 6 °C, los menores valores de C^* se observaron en los frutos cosechados en madurez preconsumo (T2) a los 24 d, dado que la baja temperatura ocasionó la pérdida de intensidad o pureza de color, lo cual podría ser una manifestación de posible daño por frío (Quiroz-González et al., 2017). Por último, los valores de L^* fueron afectados solo por el tiempo de almacenamiento. Todos los tratamientos presentaron una disminución gradual de los valores de L^* , hasta 16 % menor con respecto a los valores obtenidos el día de cosecha.

Por otra parte, el contenido de betalaínas en la pulpa de pitahaya (Figura 7) fue afectado por la temperatura y tiempo de almacenamiento. Los frutos almacenados a temperatura ambiente tuvieron mayores concentraciones de este metabolito y presentaron un aumento del contenido a los 24 d de almacenamiento en comparación con los frutos almacenados a 6° C posiblemente asociado a la pérdida mayor de agua en los T1 y T2; sin embargo, los menores valores de luminosidad y *chroma*, y mayores valores de *hue* de la pulpa de los frutos a 22 °C se asociaron a un cambio de color, de rojo-púrpura brillante a rojo oscuro menos intenso. En cambio, la concentración de betalaínas en la pulpa de los frutos almacenados a 6 °C presentaron menos fluctuaciones durante los 24 d de almacenamiento, conservando un contenido de pigmentos cercano al reportado al momento de cosecha. Yong et al. (2018) refieren que el almacenamiento a bajas temperaturas es idóneo para conservar a las betalaínas en los frutos de pitahaya (*H. polyrhizus*), ya que a temperatura ambiente se puede dar la degradación de las betalaínas por la acción de peroxidasas y polifenoloxidasas.



T1: frutos en madurez preconsumo, almacenados a 22 °C

T2: frutos en madurez de consumo, almacenados a 22 °C

T3: frutos en madurez preconsumo, almacenados a 6 °C

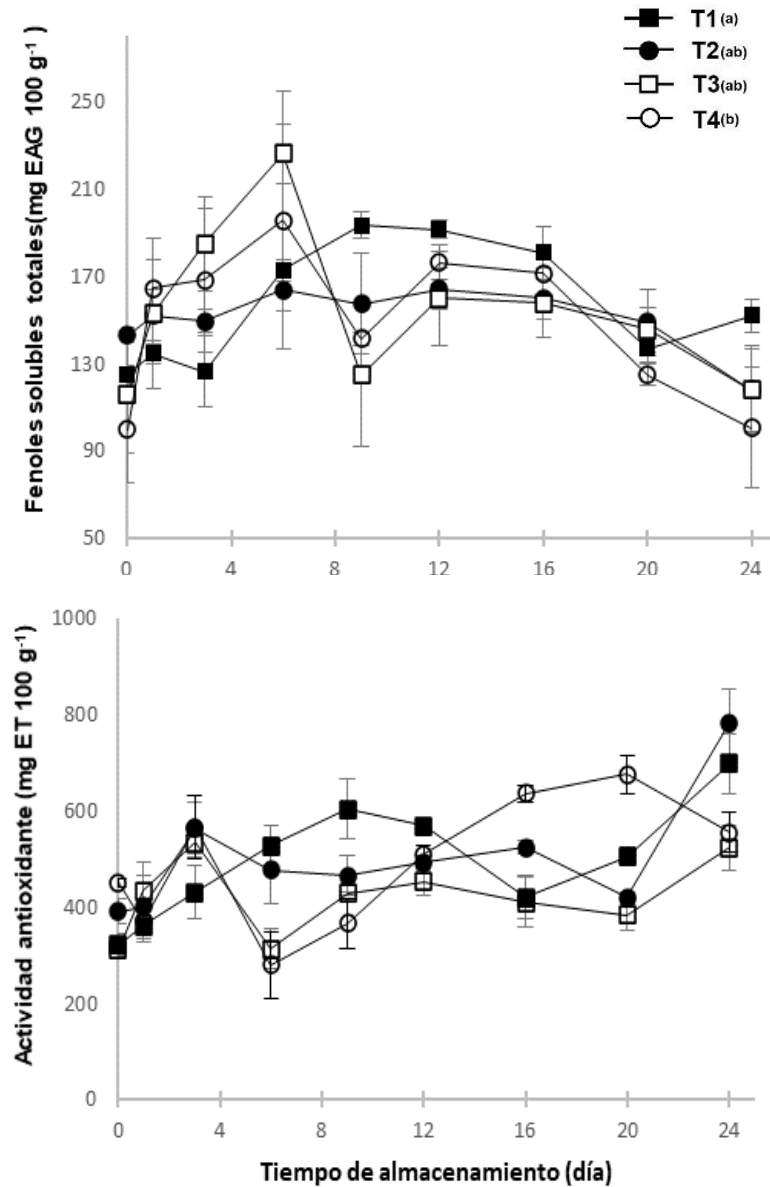
T4: frutos en madurez de consumo, almacenados a 6 °C

Figura 7. Contenido de betalainas totales en pulpa (A) y cáscara (B) de frutos de pitahaya (*Hylocereus ocamponis*) cosechados en dos estados de madurez y almacenados a 6 y 22 ° C durante 24 d. Barras de error corresponden al error estándar de tres repeticiones. Letras diferentes entre tratamientos indican una diferencia significativa a los 24 días de almacenamiento (Tukey, 0.05).

Con respecto al contenido de betalaínas en la cáscara, la mayor concentración de estos pigmentos se obtuvo al 9 d de almacenamiento en todos los tratamientos (Figura 7). Los frutos almacenados a temperatura ambiente (T1 y T2) mostraron las mayores concentraciones; sin embargo, posteriormente se observó un descenso de la concentración de estos metabolitos. A los 24 d de almacenamiento, los frutos a temperatura ambiente presentaron una disminución de más de 80 % de su contenido de betalaínas en cáscara con respecto a lo observado al momento de la cosecha (d=0). En contraste, los frutos almacenados a 6 °C mostraron una disminución en el contenido de betalaínas no mayor a 30 %.

3.4. Contenido de compuestos fenólicos

Los frutos de *H. ocamponis* representan un alto potencial nutracéutico por los contenidos de compuestos fenólicos y betalaínas (Hernández-Ramos et al., 2020). El estado de madurez del fruto y el tiempo de almacenamiento afectaron el contenido de los compuestos fenólicos solubles totales (FST). Los frutos cosechados en madurez preconsumo mostraron mayor contenido de FST en pulpa en comparación con los frutos en madurez de consumo (Figura 8). En frutos de pitahaya de pulpa roja (*Hylocereus* spp.), Hua et al. (2018) encontraron una tendencia similar en frutos con diferente estado de madurez y refieren que la maduración de los frutos va acompañada diversos cambios, como es la síntesis de pigmentos en la cáscara junto con un aumento en el contenido de FST en cáscara y un decremento de estos metabolitos en la pulpa. Referente al tiempo de almacenamiento se observó una disminución en el contenido de FST después de 12 d de almacenamiento (Figura 8), posiblemente al metabolismo oxidativo por un aumento de la actividad de enzimas como polifenoloxidasas y peroxidasas, involucradas en la degradación de compuestos fenólicos por condiciones estrés (Tomás-Barberán & Espín, 2001).



T1: frutos en madurez preconsumo, almacenados a 22 °C T2: frutos en madurez de consumo, almacenados a 22 °C
T3: frutos en madurez preconsumo, almacenados a 6 °C T4: frutos en madurez de consumo, almacenados a 6 °C

Figura 8. Contenido de fenoles solubles totales y actividad antioxidante en pulpa de frutos de pitahaya (*Hylocereus ocamponis*) cosechados en dos estados de madurez y almacenados a 6 y 22 °C durante 24 d. Barras de error corresponden al estándar de tres repeticiones. Letras diferentes entre tratamientos indican una diferencia significativa a los 24 días de almacenamiento (Tukey, 0.05).

3.5. Actividad antioxidante

Finalmente, todos los tratamientos presentaron un leve aumento de la actividad antioxidante en la pulpa. Los frutos en madurez preconsumo y madurez de consumo presentaron similar actividad antioxidante (AA) almacenados a 6 °C (T3 y T4); sin embargo, presentaron valores inferiores (30 % menores) con respecto a los frutos cosechados en ambos estados pero almacenados a 22 ° C (T1 y T2) durante 24 d (Figura 8). Los mayores valores de AA en la pulpa de los frutos almacenados a temperatura ambiente podría deberse al aumento de los niveles de betalaínas en estos (Figura 7), dado que la síntesis de estos pigmentos se favorece a mayores temperaturas. Saranya et al. (2020) refieren que la biosíntesis de betalaínas comienza con una reacción de hidroxilación, en donde la L-tirosina se transforma en L-DOPA (dihidroxifenilalanina), reacción que puede ser catalizada por tirosina hidroxilasa (TH) o por polifenol oxidasa (PPO) cuya actividad enzimática máxima se da a 25 °C y 30 °C, respectivamente.

4. CONCLUSIONES

Los frutos cosechados en ambos estados de madurez y almacenados a 22 ± 3 °C tuvieron alrededor de 12 d de vida de anaquel, posteriormente presentaron pudrición y degradación de las betalaínas de la cáscara; pero mayor contenido de betalaínas en pulpa. Los frutos en madurez precosumo y de consumo almacenados a 6 ± 1 °C presentaron alrededor de 24 d de vida de anaquel dado su menor pérdida de peso y conservación de atributos de calidad (SST, AST, fenoles y betalaínas en cáscara).

5. LITERATURA CITADA

- AOAC (2005). Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemist. EUA. 18th Ed.
- Akram, S., & Mushtaq, M. (2019). Dragon (*Hylocereus megalanthus*) Seed Oil. En Fruit Oils: Chemistry and Functionality (pp. 675–689). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-12473-1_36
- Andrade, J. L., Rengifo, E., Ricalde, M. F., Simá, J. L., Cervera, J. C., &

- Vargas Soto, G. (2006). Microambientes de luz, crecimiento y fotosíntesis de la pitahaya (*Hylocereus undatus*) en un agrosistema de Yucatán, México. *Agrociencia*, 40(6), 687–697. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30240601>
- Anónimo. (2020). Impulsa Puebla la producción de pitaya y pitahaya. *Revista Unica*. <https://revistaunica.com.mx/impulsa-puebla-la-produccion-de-pitaya-y-pitahaya/>
- Azcón-Bieto, J., & Talón, M. (2013). *Fundamentos de fisiología vegetal*. (Segunda). Mcgraw-Hill - Interamericana De España, Publicacions I Edicions De La Universitat De Barcelona.
- Balois-Morales, R., Peña-Valdivia, C. B., & Arroyo-Peña, V. B. (2013). Symptoms and sensitivity to chilling injury of pitahaya (*Hylocereus undatus* (haw.) britton & rose) fruits during postharvest . En *Agrociencia* (Vol. 47, pp. 795–813). scielomx .
- Becerril-Piña, R., Mastachi-Loza, C. A., González-Sosa, E., Díaz-Delgado, C., & Bâ, K. M. (2015). Assessing desertification risk in the semi-arid highlands of central Mexico. *Journal of Arid Environments*, 120, 4–13. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.04.006>
- Behling, A., Sanquetta, C. R., Dalla Corte, A. P., Caron, B., Simon, A. A., Behling, M., & Schmidt, D. (2015). Conversion efficiency of photosynthetically active radiation intercepted in biomass in stands of black wattle in Brazil. *Bosque (Valdivia)*, 36(1), 61–69. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002015000100007>
- Ben-Arie, R., Sonego, L., Zeidman, M., & Lurie, S. (1989). Cell Wall Changes in Ripening Peaches. En *Cell Separation in Plants* (pp. 253–262). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-74161-6_24
- Ben-Asher, J., Nobel, P. S., Yossof, E., & Mizrahi, Y. (2006). Net CO₂ uptake rates for *Hylocereus undatus* and *Selenicereus megalanthus* under field conditions: Drought influence and a novel method for analyzing temperature dependence. *Photosynthetica*, 44(2), 181–186. <https://doi.org/10.1007/s11099-006-0004-y>
- Bernaert, N., De Paepe, D., Bouten, C., De Clercq, H., Stewart, D., Van Bockstaele, E., De Loose, M., & Van Droogenbroeck, B. (2012). Antioxidant capacity, total phenolic and ascorbate content as a function of the genetic diversity of leek (*Allium ampeloprasum* var. porrum). *Food Chemistry*, 134(2), 669–677. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.159>
- Bienfait, H. F., & Scheffers, M. R. (1992). Some properties of ferric citrate relevant to the iron nutrition of plants. *Plant and Soil*, 143(1), 141–144. <https://doi.org/10.1007/BF00009139>
- Cervantes, S. E., Graham, E. A., & Andrade, J. L. (2005). Light microhabitats,

- growth and photosynthesis of an epiphytic bromeliad in a tropical dry forest. *Plant Ecology*, 179(1), 107–118. <https://doi.org/10.1007/s11258-004-5802-3>
- Chandran, S. (2010). Effect of film packaging in extending shelf life of dragon fruit, *hylocereus undatus* and *H. polyrhizus*. *Acta Horticulturae*, 875, 389–394. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.875.49>
- Chen, J.-H., & Barber, S. A. (1990). Soil pH and Phosphorus and Potassium Uptake by Maize Evaluated with an Uptake Model. *Soil Science Society of America Journal*, 54(4), 1032–1036. <https://doi.org/10.2136/sssaj1990.03615995005400040017x>
- Clark, R. B. (1983). Plant genotype differences in the uptake, translocation, accumulation, and use of mineral elements required for plant growth. In *Genetic Aspects of Plant Nutrition* (pp. 49–70). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-009-6836-3_5
- Esquivel, P., Stintzing, F. C., & Carle, R. (2007). Phenolic Compound Profiles and their Corresponding Antioxidant Capacity of Purple Pitaya (*Hylocereus* sp.) Genotypes. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 62(9–10), 636–644. <https://doi.org/10.1515/znc-2007-9-1003>
- Evans, J. (1988). Acclimation by the Thylakoid Membranes to Growth Irradiance and the Partitioning of Nitrogen Between Soluble and Thylakoid Proteins. *Functional Plant Biology*, 15(2), 93. <https://doi.org/10.1071/PP9880093>
- Fonseca-García, C., Coleman-Derr, D., Garrido, E., Visel, A., Tringe, S. G., & Partida-Martínez, L. P. (2016). The Cacti Microbiome: Interplay between Habitat-Filtering and Host-Specificity. *Frontiers in Microbiology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00150>
- Franco-Salazar, V. A., & Véliz, J. A. (2008). Efectos de la salinidad sobre el crecimiento, acidez titulable y concentración de clorofila en *Opuntia ficus-indica* (L.) MILL. SABER. *Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente*, 20, 12–17. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=427739437003>
- Freitas, S. T. de, & Mitcham, E. J. (2013). Quality of pitaya fruit (*Hylocereus undatus*) as influenced by storage temperature and packaging. *Scientia Agricola*, 70(4), 257–262. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000400006>
- García-Rubio, L. A., Vargas Ponce, O., Ramírez-Mireles, F. D. J., Munguía-Lino, G., Corona-Oceguera, C. A., & Cruz-Hernández, T. (2015). Distribución geográfica de *Hylocereus* (Cactaceae) en México. *Botanical Sciences*, 93(4), 921. <https://doi.org/10.17129/botsci.282>
- Gilman, I. S., & Edwards, E. J. (2020). Crassulacean acid metabolism. *Current Biology*, 30(2), R57–R62. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.11.073>

- Gonçalves, A. F. M., Pinto, S. I. do C., & Corrêa, R. M. (2020). Pitaya (*Hylocereus undatus*) initial growth in function to NPK fertilization. *Revista Agrogeoambiental*, 11(4). <https://doi.org/10.18406/2316-1817v11n420191370>
- González, C. V., Fanzone, M. L., Cortés, L. E., Bottini, R., Lijavetzky, D. C., Ballaré, C. L., & Boccalandro, H. E. (2015). Fruit-localized photoreceptors increase phenolic compounds in berry skins of field-grown *Vitis vinifera* L. cv. Malbec. *Phytochemistry*, 110, 46–57. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2014.11.018>
- Graham, E. A., & Nobel, P. S. (2005). Daily Changes in Stem Thickness and Related Gas Exchange Patterns for the Hemiepiphytic Cactus *Hylocereus undatus*. *International Journal of Plant Sciences*, 166(1), 13–20. <https://doi.org/10.1086/425669>
- Herman, S., ACEVEDO, E., & SILVA, P. (2001). Anatomía del tejido fotosintético de diez taxa de *Opuntia* establecidos en el secano árido mediterráneo de Chile. *Revista chilena de historia natural*, 74(2). <https://doi.org/10.4067/s0716-078x2001000200011>
- Hernández-Ramos, L., García-Mateos, R., Castillo-González, A. M., Ybarra-Moncada, C., & Nieto-Ángel, R. (2020). Fruits of the pitahaya *Hylocereus undatus* and *H. ocamponis*: nutritional components and antioxidants. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 93, 197–203. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2020.093.024>
- HiGinbotham, N. (1973). The mineral absorption process in plants. *The Botanical Review*, 39(1), 15–69. <https://doi.org/10.1007/BF02860069>
- Ho, P. L., Tran, D. T., Hertog, M. L. A. T. M., & Nicolaï, B. M. (2021). Effect of controlled atmosphere storage on the quality attributes and volatile organic compounds profile of dragon fruit (*Hylocereus undatus*). *Postharvest Biology and Technology*, 173, 111406. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111406>
- Hua, Q., Chen, C., Tel Zur, N., Wang, H., Wu, J., Chen, J., Zhang, Z., Zhao, J., Hu, G., & Qin, Y. (2018). Metabolomic characterization of pitaya fruit from three red-skinned cultivars with different pulp colors. *Plant Physiology and Biochemistry*, 126, 117–125. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.02.027>
- Ibrahim, S. R. M., Mohamed, G. A., Khedr, A. I. M., Zayed, M. F., & El-Kholy, A. A.-E. S. (2018). Genus *Hylocereus*: Beneficial phytochemicals, nutritional importance, and biological relevance-A review. *Journal of Food Biochemistry*, 42(2), e12491. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12491>
- Jalgaonkar, K., Mahawar, M. K., Bibwe, B., & Kannaujia, P. (2020). Postharvest Profile, Processing and Waste Utilization of Dragon Fruit (*Hylocereus* Spp.): A Review. *Food Reviews International*, 1–27. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1742152>

- Jiang, Y.-L., Chen, L.-Y., Lee, T.-C., & Chang, P.-T. (2020). Improving postharvest storage of fresh red-fleshed pitaya (*Hylocereus polyrhizus* sp.) fruit by pre-harvest application of CPPU. *Scientia Horticulturae*, 273, 109646. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109646>
- Kader, A. A. (2007). *Tecnología Postcosecha de Cultivos Hortofrutícolas*. Tercera edición, Universidad de California. Davis, CA. 580 p.
- Kishore, K. (2016). Phenological growth stages of dragon fruit (*Hylocereus undatus*) according to the extended BBCH-scale. *Scientia Horticulturae*, 213, 294–302. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.10.047>
- Kováčik, J., Klejdus, B., Bačkor, M., & Repčák, M. (2007). Phenylalanine ammonia-lyase activity and phenolic compounds accumulation in nitrogen-deficient *Matricaria chamomilla* leaf rosettes. *Plant Science*, 172(2), 393–399. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2006.10.001>
- Legaria Solano, J. P., Alvarado Cano, M. E., & Hernández, R. G. (2005). Diversidad genética en pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth. Britton y Rose). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 28, 179 – 185. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61028301>
- Lichtenthaler, H. K. (1987). [34] Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. En S. P. Colowick & N. O. Kaplan (Eds.), *Methods in Enzymology* (pp. 350–382). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
- Lichtenzweig, J., Abbo, S., Nerd, A., Tel-Zur, N., & Mizrahi, Y. (2000). Cytology and mating systems in the climbing cacti *Hylocereus* and *Selenicereus*. *American Journal of Botany*, 87(7), 1058–1065. <https://doi.org/10.2307/2657005>
- Lindsay, W. L., & Schwab, A. P. (1982). The chemistry of iron in soils and its availability to plants. *Journal of Plant Nutrition*, 5(4–7), 821–840. <https://doi.org/10.1080/01904168209363012>
- Liu, R., Gao, H., Chen, H., Fang, X., & Wu, W. (2019). Synergistic effect of 1-methylcyclopropene and carvacrol on preservation of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*). *Food Chemistry*, 283, 588–595. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.066>
- Lüttge, U. (2004). Ecophysiology of Crassulacean Acid Metabolism (CAM). *Annals of Botany*, 93(6), 629–652. <https://doi.org/10.1093/aob/mch087>
- Magalhães, D. S., da Silva, D. M., Ramos, J. D., Salles Pio, L. A., Pasqual, M., Vilas Boas, E. V. B., Galvão, E. C., & de Melo, E. T. (2019). Changes in the physical and physico-chemical characteristics of red-pulp dragon fruit during its development. *Scientia Horticulturae*, 253, 180–186. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.050>
- Magaña, W., Balbín, M., Corrales, J., Rodríguez, A., & Saucedo, C. (2006). Principales características de calidad de las pitahayas (*Hylocereus*

- undatus* Haworth), frigoconservadas en atmósferas controladas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 15, 52–57. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93215211>
- Manzanero-Acevedo, L. A. Isaac-Márquez, R., Zamora-Crescencio, P. Rodríguez-Canché, L. Guadalupe, Ortega-Haas, J. J., & Dzib Castillo, B. (2014). Conservación de la pitahaya [*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose] en el estado de campeche, méxico. *Foresta Veracruzana*, 16, 9–16. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49731008002>
- Marschner, H., & Cakmak, I. (1989). High Light Intensity Enhances Chlorosis and Necrosis in Leaves of Zinc, Potassium, and Magnesium Deficient Bean (*Phaseolus vulgaris*) Plants. *Journal of Plant Physiology*, 134(3), 308–315. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(89\)80248-2](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(89)80248-2)
- Mercado-Silva, E. M. (2018). Pitaya— *Hylocereus undatus* (Haw). En *Exotic Fruits* (pp. 339–349). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803138-4.00045-9>
- Mizrahi, Y. (2020). Do We Need New Crops for Arid Regions? A Review of Fruit Species Domestication in Israel. *Agronomy*, 10(12), 1995. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121995>
- Montesinos Cruz, J., Rodríguez-Larramendi, L., Ortiz-Pérez, R., Fonseca-Flores, M., Ruíz Herrera, G., & Guevara-Hernández, F. (2015). Revisión bibliográfica Pitahaya (*Hylocereus* spp.) un recurso fitogenético con historia y futuro para el trópico seco mexicano. *Cultivos tropicales*, 36, 67–76. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v36s1/ctr07s115.pdf>
- Moreno Velázquez, D., Cruz Romero, W., García Lara, E., Ibañez Martínez, A., Barrios Díaz, J. M., & Barrios Díaz, B. (2013). Cambios fisicoquímicos poscosecha en tres cultivares de pepino con y sin película plástica. En *Revista mexicana de ciencias agrícolas* (Vol. 4, pp. 909–920). scielomx .
- Naikoo, M. I., Dar, M. I., Raghib, F., Jaleel, H., Ahmad, B., Raina, A., Khan, F. A., & Naushin, F. (2019). Role and Regulation of Plants Phenolics in Abiotic Stress Tolerance. En *Plant Signaling Molecules* (pp. 157–168). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816451-8.00009-5>
- Nerd, A., Gutman, F., & Mizrahi, Y. (1999). Ripening and postharvest behaviour of fruits of two *Hylocereus* species (Cactaceae). *Postharvest Biology and Technology*, 17(1), 39–45. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(99\)00035-6](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(99)00035-6)
- Nguyen, N. (2020). The Marketing for Vietnamese Dragon Fruit. *Archives of Business Research*, 8(5), 221–226. <https://doi.org/10.14738/abr.85.8299>
- Nobel, P. S., & La Barrera, E. (2004). CO₂ uptake by the cultivated

- hemiepiphytic cactus, *Hylocereus undatus*. *Annals of Applied Biology*, 144(1), 1–8. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2004.tb00310.x>
- Novoa, A., Le Roux, J. J., Robertson, M. P., Wilson, J. R. U., & Richardson, D. M. (2015). Introduced and invasive cactus species: a global review. *AoB PLANTS*, 7. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plu078>
- Obenland, D., Cantwell, M., Lobo, R., Collin, S., Sievert, J., & Arpaia, M. L. (2016). Impact of storage conditions and variety on quality attributes and aroma volatiles of pitahaya (*Hylocereus* spp.). *Scientia Horticulturae*, 199, 15–22. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.12.021>
- Ortiz Hernández, Y. D., Livera Salazar, M., & Carrillo Muñoz, J. A. (1999). Asimilación de CO₂ por la pitahaya *Hylocereus undatus* en condiciones de campo. *Agrociencia*, 33(2), 165–169.
- Osuna-Enciso, T., Valdez-Torres, J. B., Sañudo-Barajas, J. A., Muy-Rangel, M. D., Hernández-Verdugo, S., Villarreal-Romero, M., & Osuna-Rodríguez, 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. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952016000100061&nrm=iso
- Osuna Enciso, T., Ibarra Zazueta, M. E., Muy Rangel, M. D., Valdez Torres, J. B., Villarreal Romero, M., & Hernández Verdugo, S. (2011). Calidad postcosecha de frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haw.) cosechados en tres estados de madurez. En *Revista fitotecnia mexicana* (Vol. 34, pp. 63–72). [sciELOmx](http://www.scielo.org.mx).
- Punitha, V., Boyce, A. N., & Chandran, S. (2010). Effect of storage temperatures on the physiological and biochemical properties of *Hylocereus polyrhizus*. *Acta Horticulturae*, 875, 137–144. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.875.16>
- Quiroz-González, B., Corrales-García, J. J. E., Colinas-León, M. T. B., & Ybarra-Moncada, M. C. (2017). Identification of variables correlated with chilling injury in Pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth). *Agrociencia*, 51, 153–172. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952017000200153&nrm=iso
- Raveh, E., Nerd, A., & Mizrahi, Y. (1998). Responses of two hemiepiphytic fruit crop cacti to different degrees of shade. *Scientia Horticulturae*, 73(2–3), 151–164. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(97\)00134-9](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(97)00134-9)
- Robards, K., & Antolovich, M. (1997). Analytical Chemistry of Fruit BioflavonoidsA Review. *The Analyst*, 122(2), 11R-34R. <https://doi.org/10.1039/a606499j>
- Sago, Y. (2016). Effects of Light Intensity and Growth Rate on Tipburn

- Development and Leaf Calcium Concentration in Butterhead Lettuce. HortScience, 51(9), 1087–1091. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI10668-16>
- Schachtman, D. P., Reid, R. J., & Ayling, S. M. (1998). Phosphorus Uptake by Plants: From Soil to Cell. Plant Physiology, 116(2), 447–453. <https://doi.org/10.1104/pp.116.2.447>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, & Rural, S. de A. y D. (2019). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Producción Anual Agrícola, Cierre de la producción agrícola (1980-2019). <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Shao, Q., Wang, H., Guo, H., Zhou, A., Huang, Y., Stern, S. R., & Li, M. (2014). Effects of Shade Treatments on Photosynthetic Characteristics, Chloroplast Ultrastructure, and Physiology of *Anoectochilus roxburghii*. PLoS ONE, 9(2), e85996. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0085996>
- Silvera, K., Neubig, K. M., Whitten, W. M., Williams, N. H., Winter, K., & Cushman, J. C. (2010). Evolution along the crassulacean acid metabolism continuum. Functional Plant Biology, 37(11), 995. <https://doi.org/10.1071/FP10084>
- Saranya, G., Jiby, M. V., Jayakumar, K. S., Padmesh Pillai, P., & Jayabaskaran, C. (2020). L-DOPA synthesis in *Mucuna pruriens* (L.) DC. is regulated by polyphenol oxidase and not CYP 450/tyrosine hydroxylase: An analysis of metabolic pathway using biochemical and molecular markers. Phytochemistry, 178, 112467. doi:10.1016/j.phytochem.2020.112467
- Subandi, M., Mustari, E., & Setian, A. (2018). The Crossing Effect of Dragon Fruit Plant Cultivars [*Hylocereus* Sp.] on Yield. International Journal of Engineering & Technology, 7(2.29), 762. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i2.29.14252>
- Tofiño, A., Fregene, M., Ceballos, H., & Cabal, D. (2006). Regulación de la biosíntesis del almidón en plantas terrestres: perspectivas de modificación. Acta Agronómica, 55. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169920320001>
- Tomás-Barberán, F. A., & Espín, J. C. (2001). Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. Journal of the Science of Food and Agriculture, 81(9), 853–876. <https://doi.org/10.1002/jsfa.885>
- Tomaz de Oliveira, M. M., Lu, S., Zurgil, U., Raveh, E., & Tel-Zur, N. (2021). Grafting in *Hylocereus* (Cactaceae) as a tool for strengthening tolerance to high temperature stress. Plant Physiology and Biochemistry, 160, 94–105. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.01.013>

- Tran, D.-H., Yen, C.-R., & Chen, Y.-K. H. (2015). Effects of bagging on fruit characteristics and physical fruit protection in red pitaya (*Hylocereus* spp.). *Biological Agriculture & Horticulture*, 31(3), 158–166. <https://doi.org/10.1080/01448765.2014.991939>
- Uarrotta, V. G., Stefen, D. L. V., Leolato, L. S., Gindri, D. M., & Nerling, D. (2018). Revisiting Carotenoids and Their Role in Plant Stress Responses: From Biosynthesis to Plant Signaling Mechanisms During Stress. En *Antioxidants and Antioxidant Enzymes in Higher Plants* (pp. 207–232). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75088-0_10
- Uthairatanakij, A., Cholmaitri, C., Aiamla-or, S., & Jitareerat, P. (2018). Gamma irradiation as phytosanitary treatment for red flesh dragon fruit. *Acta Horticulturae*, 1210, 145–150. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1210.20>
- Uz, I., & Tavali, I. E. (2014). Short-Term Effect of Vermicompost Application on Biological Properties of an Alkaline Soil with High Lime Content from Mediterranean Region of Turkey. *The Scientific World Journal*, 2014, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2014/395282>
- Varma, A. (1995). Ecophysiology and Application of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Arid Soils. En *Mycorrhiza* (pp. 561–591). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-08897-5_24
- Vázquez-Martínez, B., Alia Tejacal, I., Guillén-Sánchez, D., Juárez-López, P., Andrade Rodríguez, M., Villegas-Torres, O., & Martínez-Morales, A. (2015). Efecto de la baja temperatura en el metabolismo de carbohidratos y calidad de frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota* [Jacq.] H.E. Moore & Stearn). *Acta Agrícola y Pecuaria*, 1, 70–77.
- Wall, M. M., & Khan, S. A. (2008). Postharvest Quality of Dragon Fruit (*Hylocereus* spp.) after X-ray Irradiation Quarantine Treatment. *HortScience*, 43(7), 2115–2119. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.2115>
- Wang, L., Zhang, X., Ma, Y., Qing, Y., Wang, H., & 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. <https://doi.org/10.1080/14620316.2019.1595747>
- Wanitchang, J., Terdwongworakul, A., Wanitchang, P., & Noypitak, S. (2010). Maturity sorting index of dragon fruit: *Hylocereus polyrhizus*. *Journal of Food Engineering*, 100(3), 409–416. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.04.025>
- Wettstein, V., D., Gough, S., Kannangara, & G., C. (1995). Chlorophyll Biosynthesis. *The Plant Cell*, 1039–1057. <https://doi.org/10.1105/tpc.7.7.1039>

- Wu, L., Hsu, H.-W., Chen, Y.-C., Chiu, C.-C., Lin, Y.-I., & Ho, J. A. (2006). Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya. *Food Chemistry*, 95(2), 319–327. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.01.002>
- Wu, Y., Xu, J., He, Y., Shi, M., Han, X., Li, W., Zhang, X., & Wen, X. (2019). Metabolic Profiling of Pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) during Fruit Development and Maturation. *Molecules*, 24(6), 1114. <https://doi.org/10.3390/molecules24061114>
- Yong, Y. Y., Dykes, G., Lee, S. M., & Choo, W. S. (2018). Effect of refrigerated storage on betacyanin composition, antibacterial activity of red pitahaya (*Hylocereus polyrhizus*) and cytotoxicity evaluation of betacyanin rich extract on normal human cell lines. *LWT*, 91, 491–497. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.078>

**V. RESPUESTA DE PITAHAYA (*Hylocereus ocamponis* y
Hylocereus undatus) A DIFERENTES NIVELES DE SOMBRA,
APLICACIÓN DE LOMBRICOMPOSTA Y pH DE SUELO**

RESPUESTA DE PITAHAYA (*Hylocereus ocamponis* y *Hylocereus undatus*) A LA SOMBRA Y A LA APLICACIÓN DE LOMBRICOMPOSTA A DIFERENTES pH DE SUELO

RESUMEN

La pitahaya (*Hylocereus* spp.) es una cactácea de importancia hortícola por sus frutos comestibles. Existe poca información sobre la respuesta de las diversas especies en diferentes niveles de sombra y condiciones de fertilización. En el presente estudio se evaluó el efecto del sombreado (sin sombra, cultivo bajo malla sombra de 35 y 50 %) y la aplicación de lombricomposta en suelo con diferente pH (6.2 y 8), sobre el crecimiento, contenido de clorofilas y concentración nutrimental de tallos de *Hylocereus ocamponis* y *H. undatus*. Los esquejes de pitahaya se colocaron en macetas con una mezcla de suelo de monte y tierra de hoja. Las plantas se mantuvieron en invernadero y se aplicaron 18 tratamientos cuando las pitahayas enraizaron, producto de la combinación de los factores: especie, sombra y aplicación de lombricomposta. El contenido de clorofilas totales de los tallos fue 22 % mayor con 35 % de sombra. El crecimiento se afectó por la interacción especie-sombra, el mayor crecimiento de *H. ocamponis* fue con 35 % de sombra; en contraste, *H. undatus* no mostró diferencias significativas sin sombra y con 35 % de sombra. Las concentraciones de N, Ca y Mg fueron mayores en los tallos de pitahaya cultivadas sin sombra. Pese a que la disponibilidad de los fosfatos fue limitada en condiciones de un pH alcalino, su concentración fue igual en aquellas plantas tratadas con lombricomposta en suelos con pH 6.2 y 8.

Palabras clave: lombricomposta, tallos, clorofilas totales, concentración nutrimental y crecimiento.

¹ Tesis de Doctorado en Ciencias, en Horticultura, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Lyzbeth Hernández Ramos

Director de Tesis: Dra. María del Rosario García Mateos

PITAHAYA (*Hylocereus ocamponis* AND *Hylocereus undatus*) RESPONSES TO SHADING AND VERMICOMPOST APPLICATION AT DIFFERENT SOIL pH

SUMMARY

The pitahaya (*Hylocereus* spp.) is a cactus of horticultural importance for its edible fruits. There is little information on the response of different species at different shade levels and fertilization conditions. This study evaluated the effect of shading (no shade, plants cultivated under shade mesh of 35 and 50 %) and application of vermicompost in soil with different pH (6.2 and 8) on growth, chlorophyll content and nutrient concentration of stalks of *Hylocereus ocamponis* and *H. undatus*. The pitahaya cuttings were placed in pots with a mixture of forest soil and leaf soil. The plants were kept in a greenhouse and 18 treatments were applied when the pitahaya was rooted, product of the combination of factors: species, shade and application of vermicompost. The growth was affected by species-shadow interaction, the greatest growth of *H. ocamponis* was observed at 35 % shade; in contrast, *H. undatus* without shade and with 35% shade did not show significant differences in their growth. Concentrations of N, Ca, and Mg were higher in pitahaya stalks grown without shade. Although the availability of phosphates was limited under alkaline pH conditions, concentration of phosphorus was equal in those plants treated with vermicompost in soils with different pH (6.2 and 8).

Keywords: vermicompost, stems, total chlorophylls, nutrient concentration, and growth.

¹Doctoral Thesis in Science, in Horticulture, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo

Author: Lyzbeth Hernández Ramos

Advisor: Dra. María del Rosario García Mateos

1. INTRODUCCIÓN

Las pitahayas o frutas del dragón son plantas hemiepífitas que pertenecen a la familia *Cactaceae*, comprenden 18 especies del género *Hylocereus* que crecen en regiones templadas, tropicales, subtropicales, semiáridas y áridas del mundo (Britton y Rose, 1963; García-Rubio et al., 2015). Su metabolismo fotosintético ácido de las crasuláceas (MAC), les permite fijar CO₂ durante la noche cuando la tasa de evapotranspiración es menor exhibiendo mayor eficiencia en el uso del agua (Gilman y Edwards, 2020), por lo que son especies con potencial para cultivarse en regiones donde existe poca humedad disponible en el suelo y de amplia adaptabilidad a diversas condiciones ambientales. Lo anterior, ha favorecido la introducción de la pitahaya en regiones con marcadas diferencias edafoclimáticas, por lo que actualmente se cultiva en diversos países por sus frutos comestibles, considerados como exóticos dado su forma, sabor, color de cáscara, y en algunas especies color de la pulpa, debido a una alta concentración de betalaínas (García-Rubio et al., 2015; Ibrahim et al., 2018; Subandi et al., 2018). La ingesta de frutos de pitahaya aporta al consumidor P, K, Ca, Mg, ácidos grasos insaturados, betalaínas, compuestos fenólicos, fitoesteroles, flavonoides y triterpenos (Akram & Mushtaq, 2019; Hernández-Ramos et al., 2020; Ibrahim et al., 2018).

Las pitahayas son nativas de America, México podría considerarse centro de origen de varias cáctaceas debido a que posee la mayor diversidad de especies nativas (Novoa et al., 2015), encontrándose al menos 50 % de las especies identificadas hasta ahora del género *Hylocereus* (Cáliz de Dios, 2004). Esta planta se encuentra de manera silvestre, cultivo en traspatio y en huertas comerciales en 11 de las 14 provincias biogeográficas de México. Las especies de mayor distribución son *H. undatus*, *H. purpusii*, *H. ocamponis* y *H. esculintlensis* (García-Rubio et al., 2015). En México más del 50 % del territorio corresponde a zonas áridas y semiáridas, donde la producción de pitahaya ha prosperado como una actividad redituable y

alternativa viable para la recuperación de tierras abandonadas; sin embargo, en estas regiones es común encontrar suelos ligeramente alcalinos con alto contenido de CaCO_3 (Razo et al., 2004), condiciones que pueden ocasionar en la planta baja disponibilidad de P, N, Fe, B, Mn, Cu y Zn (Bertrand et al., 2003). Además, es común observar poco manejo fitosanitario y nutrimental de la pitahaya, destacando la poda como la actividad principal (Manzanero-Acevedo et al., 2014) y el cultivo de pitahaya a cielo abierto.

La intensidad de la radiación junto con una nutrición insuficiente pueden limitar el crecimiento y productividad de la pitahaya. La alta intensidad de radiación afecta procesos como la floración y fotosíntesis, al influir en el grado de asimilación de CO_2 , niveles de acumulación de ácido málico e intercambio gaseoso (Cervantes et al., 2005; Lüttge, 2004; Raveh et al., 1998). Adicionalmente, existe poca información sobre su manejo nutrimental, por lo que la fertilización se basa en recomendaciones empíricas o reportadas en otros países y en dosis aplicadas en otras cactáceas, lo que podría explicar el bajo rendimiento de producción de pitahaya en México, 6.04 t ha^{-1} a cielo abierto (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera & Rural, 2019), en comparación con lo reportado por Mizrahi (2020) y Nguyen (2020) para la producción de pitahaya en Israel (35 t ha^{-1}) y Vietnam (30 a 50 t ha^{-1}), bajo condiciones de cultivo con sombra y fertirriego. Por lo anterior, es pertinente investigar sobre la respuesta de algunas especies de pitahaya al sombreado y condiciones de fertilización. En este contexto, el objetivo de la presente investigación fue conocer el efecto del sombreado (sin sombra, 35 y 50 %) y aplicación de lombricomposta en suelo con diferente pH (6.2 y 8) y sin aplicación, en el crecimiento, contenido de clorofilas totales y concentración nutrimental de tallos de dos especies de pitahaya (*Hylocereus ocamponis* y *H. undatus*) en invernadero.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Sitio experimental

Esta investigación se llevó acabo en un invernadero de cristal ubicado en la Universidad Autónoma Chapingo (19° 29' 35.7" LN y 98° 53' 7.9" LO, a una altura de 2256 m), de julio de 2018 a agosto de 2019. Las plantas de pitahayas se establecieron en tres subparcelas con diferente sombreado (parcela mediana), para lo cual se usó malla sombra negra de monofilamentos de polietileno de alta densidad (sin malla sombra, malla sombra de 35 % y malla sombra de 50 %). Se registraron la temperatura, humedad relativa e intensidad de radiación en cada subparcela (diurna/nocturna), mediante un data logger HOBO® U12-013 (Burlington, Vermont, EUA), los datos se muestran en el Cuadro 1. La radiación máxima media diaria fue de 13648 luxes ($252.49 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) en la subparcela sin sombra, 6834 luxes ($126.43 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) en la subparcela con 35 % de sombra y 2,901 luxes ($53.67 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) en la subparcela con 50 % de sombra.

Cuadro 1. Intensidad de radiación, temperatura y humedad relativa registrada en el día y la noche durante el cultivo de pitahaya (*Hylocereus* spp.), bajo diferentes niveles de sombra.

Variable	Sin malla sombra		Subparcela Malla sombra de 35 %		Malla sombra de 50 %	
	Diurna	Nocturna	Diurna	Norturna	Diurna	Norturna
IR (luxes)	6737.4	63.9	3201.2	20.6	2173.1	41.2
T _μ (°C)	29.4	15.6	30.3	16.0	29.7	15.4
T _{mín} (°C)	10.3	8.1	11.7	9.0	10.8	8.7
T _{max} (°C)	42.3	26.3	42.5	25.1	41.3	25.0
HR (%)	33.5	60.8	32.7	59.8	33.6	61.1

Los datos son el promedio de 11 500 lecturas. IR: intensidad de radiación, T_μ: temperatura media, T_{mín}: temperatura mínima, T_{max}: temperatura máxima, HR: humedad relativa.

2.2. Material vegetal y sustrato

Se obtuvieron esquejes de 38 ± 1 cm de longitud, de dos especies de pitahaya (*Hylocereus ocamponis* y *H. undatus*), procedentes de Molcaxac, Puebla, México. Se consideró a la especie de pitahaya como la parcela grande. Los esquejes se desinfectaron por inmersión con 3 g L^{-1} de oxiclورو de cobre, luego se dejaron secar y cicatrizar. Posteriormente, 5 cm de longitud de la porción basal del esqueje fue sumergida en enraizador comercial en polvo Radix 1500® (ácido indol-3-butírico a 0.15 %) e inmediatamente sembrado en una bolsa de polietileno negro de 10 L de capacidad con aproximadamente 12 kg de una mezcla de suelo de monte y tierra de hoja (relación 1:1, v/v). Después de dos meses, se logró tener plantas (tallos) con un sistema de raíces delgadas y abundantes de más de 30 cm de longitud. Todas las plantas se regaron semanalmente, de manera manual, con agua potable, con pH 7.1 y conductividad eléctrica de 0.42 dS m^{-1} .

El suelo presentó una textura franca (33.5 %, 28.0 % y 38.5 % de arena, limo y arcilla, respectivamente), un pH moderadamente ácido (6.2), muy alto contenido de materia orgánica (7.6 %) y baja conductividad eléctrica (0.3 dS m^{-1}). Los resultados del análisis químico del suelo fueron interpretados mediante valores de referencia (Castellanos et al., 2000), mostrando valores de $\text{N-NO}_3 = 11.2 \text{ mg kg}^{-1}$ (medio), $\text{P} = 6.9 \text{ mg kg}^{-1}$ (bajo), $\text{K} = 91.2 \text{ mg kg}^{-1}$ (muy bajo), $\text{Ca} = 796 \text{ mg kg}^{-1}$ (moderadamente bajo), $\text{Fe} = 45.1 \text{ mg kg}^{-1}$ (alto), $\text{Mg} = 102 \text{ mg kg}^{-1}$ (moderadamente bajo), $\text{Cu} = 0.62 \text{ mg kg}^{-1}$ (moderadamente bajo), $\text{Zn} = 1.2 \text{ mg kg}^{-1}$ (moderadamente bajo), $\text{Mn} = 2.5 \text{ mg kg}^{-1}$ (bajo), $\text{B} = 0.3 \text{ mg kg}^{-1}$ (muy bajo), $\text{Na} = 31.6 \text{ mg kg}^{-1}$ (moderadamente bajo), $\text{Al} = 7.4 \text{ mg kg}^{-1}$ (muy bajo) y $\text{S} = 29.9 \text{ mg kg}^{-1}$ (muy alto).

2.3. pH del sustrato

Se trabajó con diferente pH de sustrato: 1) sustrato con pH original del suelo utilizado para las macetas (pH 6.2) y 2) macetas con suelo con pH ajustado

aproximadamente a 8, con el fin de alcanzar un pH alcalino similar al del suelo del huerto de pitahaya de Molcaxac, Puebla (pH 8.2). Cada semana se verificó el pH de las macetas, la medición se realizó de manera directa en el sustrato con un potenciómetro para suelo (pH Tester, Hanna GroLine HI981030, Woonsocket, USA). Las macetas con pH alcalino se ajustaron con CaO (cal agrícola), para lo cual cada semana se regó las macetas de pH alcalino con dos litros de una solución de CaO (6 g L^{-1}).

2.4. Aplicación de lombricomposta

La cantidad de lombricomposta aplicada se consideró como la parcela chica. Se utilizó lombricomposta de estiércol ovino, elaborada por productores de pitahaya de Molcaxac, Puebla, México, abono que actualmente utilizan para su cultivo. Se determinó la calidad de la lombricomposta antes de aplicar mediante un análisis nutrimental que mostró valores de relación C/N = 13.9, pH de 8.4, conductividad eléctrica = 3.1 dS m^{-1} , materia orgánica = 57.6 %, N total = 2.4 %, P = 0.3 %, K = 0.7 %, Ca = 7.7 %, Mg = 0.7 %, Na = 0.1 %, S = 0.4 %, Fe = 3362 mg kg^{-1} , Cu = 24.4 mg kg^{-1} %, Mn = 182 mg kg^{-1} %, Zn = 103 mg kg^{-1} %, B = 93.2 mg kg^{-1} y C orgánico = 33.4 %.

Los resultados del análisis del suelo y el análisis del contenido de nutrimentos en la lombricomposta se utilizaron como referencia para definir la cantidad de composta a aplicar: planta en maceta con suelo con pH 6.2 y sin aplicación de lombricomposta (testigo), planta en maceta con suelo con pH 6.2 y aplicación de 3 kg de lombricomposta, y planta en maceta con suelo con pH ajustado a 8 y aplicación de 3 kg de lombricomposta. La aplicación de lombricomposta se fraccionó en tres aplicaciones al año, en octubre de 2018, enero y mayo de 2019.

2.5. Tratamientos, diseño y unidad experimental

Las plantas de pitahaya fueron establecidas bajo un sistema de tutorado de espaldera con postes y alambres de acero inoxidable, a una distancia de 0.5 m entre plantas y 1.2 m entre hileras. El diseño experimental fue de parcelas subdivididas, con 18 tratamientos con cuatro repeticiones (Cuadro 2), la

unidad experimental consistió en una maceta con una planta (tallo) de pitahaya.

Cuadro 2. Tratamientos aplicados bajo un diseño de parcelas subdivididas, considerando tres factores: especies de *Hylocereus*, nivel de sombra y aplicación de lombricomposta.

Tratamiento	Especie	Sombra	Aplicación de lombricomposta	
			Cantidad	pH del suelo
T1	<i>H. ocamponis</i>	Sin sombra	Sin aplicación	6.2
T2	<i>H. ocamponis</i>	Sin sombra	3 kg	6.2
T3	<i>H. ocamponis</i>	Sin sombra	3 kg	8.0
T4	<i>H. undatus</i>	Sin sombra	Sin aplicación	6.2
T5	<i>H. undatus</i>	Sin sombra	3 kg	6.2
T6	<i>H. undatus</i>	Sin sombra	3 kg	8.0
T7	<i>H. ocamponis</i>	35 %	Sin aplicación	6.2
T8	<i>H. ocamponis</i>	35 %	3 kg	6.2
T9	<i>H. ocamponis</i>	35 %	3 kg	8.0
T10	<i>H. undatus</i>	35 %	Sin aplicación	6.2
T11	<i>H. undatus</i>	35 %	3 kg	6.2
T12	<i>H. undatus</i>	35 %	3 kg	8.0
T13	<i>H. ocamponis</i>	50 %	Sin aplicación	6.2
T14	<i>H. ocamponis</i>	50 %	3 kg	6.2
T15	<i>H. ocamponis</i>	50 %	3 kg	8.0
T16	<i>H. undatus</i>	50 %	Sin aplicación	6.2
T17	<i>H. undatus</i>	50 %	3 kg	6.2
T18	<i>H. undatus</i>	50 %	3 kg	8.0

2.6. Variables evaluadas

Las variables se registraron a los 12 meses después del establecimiento de la pitahaya en maceta. En primer lugar, de las plantas de cada tratamiento se registró el grosor (cm) y número de brotes; así como, el crecimiento (cm planta⁻¹). Posteriormente, se realizó una poda severa en las plantas de pitahaya, dejando solo el tallo principal. Se registró el peso fresco (g) de la totalidad de brotes y/o tallos retirados con la poda por tratamiento, mediante una balanza electrónica (Scout Pro SP2001 Ohaus®, USA). Luego, el material vegetal por tratamiento fue secado en un horno de aire forzado Binder® (Tuttlingen, Alemania), a 65 °C hasta peso constante y se registró la biomasa acumulada expresada como peso seco (g) de la totalidad del material vegetal seco por tratamiento. Los tallos secos fueron molidos en un molino Thomas-Wiley Mill (Model 4, Thomas Scientific, USA) y fueron

utilizados para el análisis nutrimental y determinación del contenido de clorofilas totales, de acuerdo con los siguientes métodos:

Análisis nutrimental. Se determinó la concentración de N total, P, K, Mg, Ca, Zn y Fe. La determinación del N se realizó por el método de micro Kjeldahl (AOAC, 2005). Las concentraciones de P, K, Mg, Ca, Zn y Fe se realizaron por espectrometría de emisión atómica de inducción con plasma acoplado ICP modelo 725-ES (Agilent®, Santa Clara, California, EUA), según lo describió por Alcántar y Sandoval (1999).

Contenido de clorofilas totales. La concentración de clorofilas totales (CT) se determinó por extracción con acetona a 80 % (v/v) en penumbra. El sobrenadante obtenido por filtración se utilizó para la estimación espectrofotométrica (Genesys 10s, Thermoscientific, USA) de CT, utilizando los coeficientes de extinción y ecuaciones determinadas por Lichtenthaler (1987). Los resultados se expresaron en mg por 100 g de peso fresco (mg 100 g⁻¹ peso fresco).

pH del suelo. Se evaluó el pH del suelo de cada maceta, dos semanas después de la primera aplicación de lombricomposta y 10 meses después respecto a la primera aplicación (pH final). Para lo cual, el pH fue medido de manera directa en la maceta con ayuda de un potenciómetro para suelo (pH Tester, Hanna GroLine HI981030, Woonsocket, USA).

Temperatura máxima. Se registró la temperatura máxima diaria en cada subparcela a diferente nivel de sombreado, mediante un data logger HOBO® U12-013 (Burlington, Vermont, EUA). La Tmax promedio fue utilizada para el análisis de correlación canónica.

2.7. Análisis estadístico

Todos los datos se expresaron como la media $\pm$ error estándar de cuatro repeticiones. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) utilizando un modelo mixto, según el diseño de parcelas subdivididas y comparación de

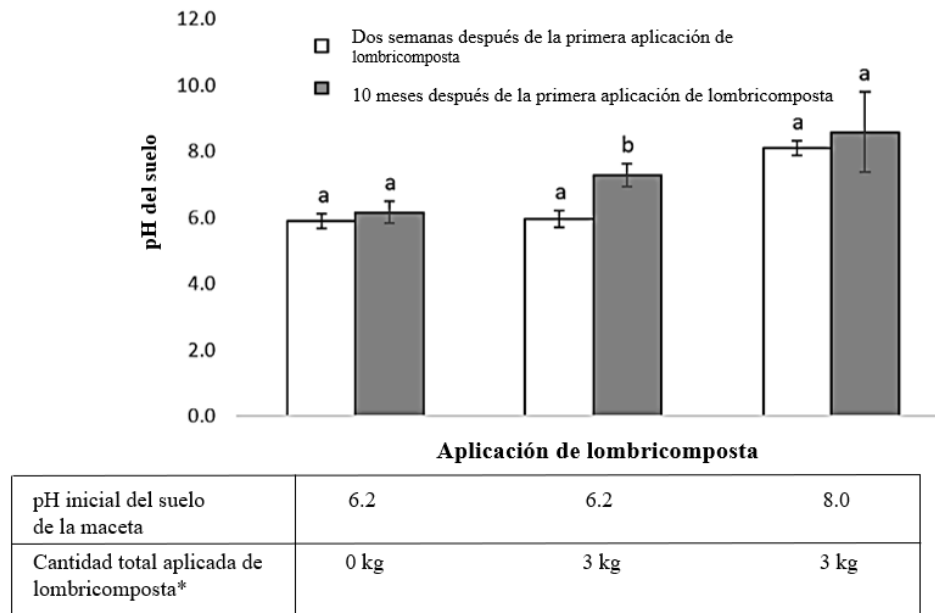
medias de Tukey ($P \leq 0.05$), mediante el software SAS 9.2 (SAS Institute, 2008). Se aplicó la Prueba de T-Student ($P \leq 0.05$) para detectar diferencias entre el pH inicial y final del suelo. Con el fin de agrupar a los 18 tratamientos con base al análisis nutrimental, variables de crecimiento y contenido de clorofilas totales, se realizó un análisis de conglomerados por observaciones mediante el software Minitab 19.2 (Minitab Inc., EE. UU.). La distancia entre dos conglomerados fue definida mediante el método de vinculación completa y la medición de la distancia entre los centroides de conglomerados fue aplicada por eucladiana cuadrada. Por último, con el objetivo de identificar y cuantificar la asociación lineal entre los grupos de variables nutrimentales, caracteres de crecimiento y variables edafoclimáticas, se desarrolló un análisis de correlación canónica con ayuda del software SAS 9.2.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Efecto de la lombricomposta en el pH del suelo

En comparación con el testigo (maceta con suelo con pH 6.2 y sin lombricomposta), la aplicación de 3 kg de lombricomposta a macetas con suelo con pH 6.2 incremento el valor de pH final (Figura 1), por efecto del pH alcalino (8.4) de la lombricomposta. De acuerdo con Uz & Tavalı (2014), pese a la creencia de que toda enmienda con materia orgánica reduce el pH del suelo, diversos fertilizantes orgánicos pueden ser de naturaleza alcalina, como son algunas lombricompostas y estiércol, los cuales pueden ocasionar un aumento en el pH del suelo y su uso excesivo podría generar problemas de salinidad (aumento en conductividad eléctrica). Además, el pH del suelo es una propiedad química que tiene impacto en la disponibilidad de nutrientes y actividad microbiana y, por ende, en el crecimiento de la planta. Las modificaciones en el pH del suelo debido a la aplicación de lombricomposta alcalina, puede desencadenar reducción en la disponibilidad de P, N y micronutrientes para la planta (Bertrand et al., 2003). No se encontró un aumento significativo de pH en el suelo alcalino después de la aplicación de la lombricomposta. Lo cual pudo ser debido a que después del

ajuste de pH del suelo, mediante la aplicación de CaO, este no permanecía permanente en condiciones alcalinas, dado que el aumento de pH en el suelo depende de su capacidad buffer.



*La aplicación de lombricomposta se fraccionó en tres aplicaciones al año, en octubre de 2018, enero y mayo de 2019.

Figura 1. Cambios en el pH del suelo de las macetas de pitahaya (*Hylocereus* spp.), después de la aplicación de subtratamientos de fertilización (pH del suelo y aplicación de lombricomposta) a las parcelas chicas. Barras de error representan el error estándar basada en 24 repeticiones. Medias con letras iguales en el mismo tratamiento son estadísticamente iguales (T-Student, $P \leq 0.05$).

3.2. Contenido de clorofila

La concentración de clorofilas totales en los tallos de pitahaya solo se vio afectada por el factor sombra (Figura 2, Apéndices 1 y 2). La concentración de estos pigmentos fue estadísticamente igual entre las plantas cultivadas sin sombra y con malla sombra de 50 %, pero 18 % menor al encontrado en pitahaya cultivada con malla sombra de 35 %. Por lo tanto, la disminución del contenido de clorofilas totales en las pitahayas cultivadas sin sombra sugiere una mayor probabilidad de fotoinhibición del aparato fotosintético, que, en casos extremos de exceso de radiación solar, puede conducir a la

destrucción de los pigmentos fotosintéticos (fotooxidación). Lo anterior, coincide con lo reportado por Raveh et al. (1998), quienes encontraron menor concentración de clorofilas en *H. polyrhizus* cultivada sin sombra y con Andrade et al. (2006), quienes mencionan que *H. undatus* puede sufrir fotoinhibición al cultivarse a una densidad de flujo de fotones fotosintéticos (DFFF) mayor a $20 \text{ mol m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ($231.5 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), valores cercanos a los encontrados en la presente investigación en las plantas cultivadas sin sombra (DFFF máximo de $252.49 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). En contraste, el menor contenido de clorofilas en las plantas cultivadas a 50 % de sombra, sugiere que el estímulo de la luz solar no es suficiente para la síntesis de clorofilas, ya que para la síntesis de este pigmento se requiere la presencia de protoclorofilida oxidoreductasa, enzima dependiente de la luz que participa en la conversión de protoclorofilida a clorofila (Wettstein et al., 1995).

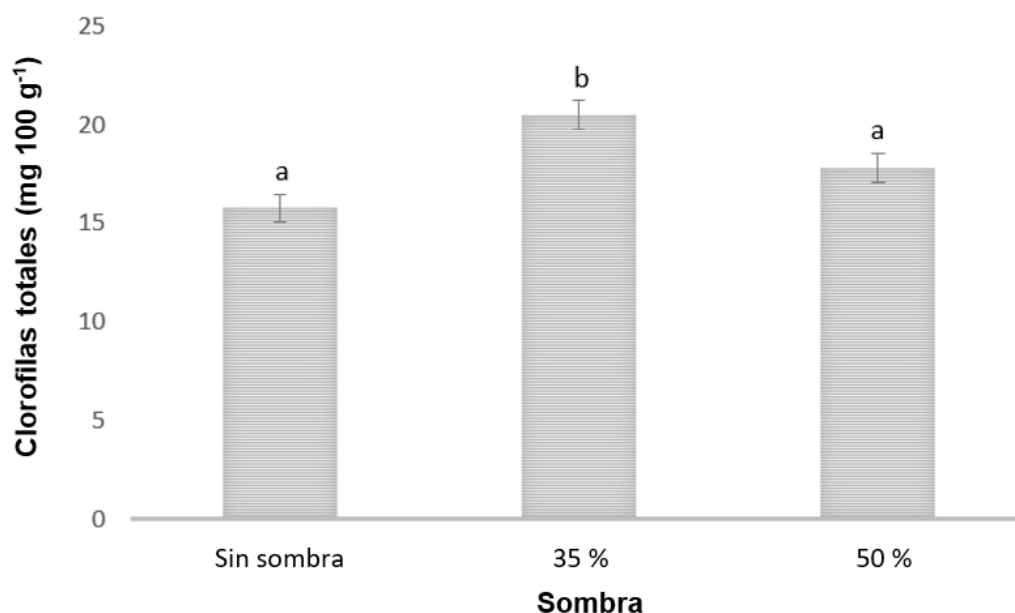


Figura 2. Contenido de clorofilas totales en tallos de pitahaya (*Hylocereus* spp.) cultivada bajo diferentes niveles de sombra. Los valores se expresan como la media $\pm$ error estándar. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (Tukey ≤ 0.05).

3.3. Crecimiento, grosor y peso seco de tallos de pitahaya

El crecimiento de los tallos de pitahaya se vio solamente afectado por la interacción especie×sombra ($P \leq 0.05$, Apéndice 1), lo que indicó diferente capacidad de adaptación de las especies de *Hylocereus* a distintos niveles de sombreado (Figura 3). El crecimiento de *H. ocamponis* aumentó 26.2 % mediante el cultivo con malla sombra de 35 %, con respecto al cultivo sin sombra. No se encontró diferencias estadísticamente significativas entre el crecimiento de *H. ocamponis* sin sombra y con malla sombra de 50 %. En cambio, en *H. undatus* no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre plantas cultivadas sin sombra y con malla sombra de 35 %, y de igual modo, el cultivo de esta especie bajo malla sombra de 50 % ocasionó menor crecimiento, con una reducción de hasta el 41.4 % con respecto a la respuesta de crecimiento en el cultivo sin sombra.

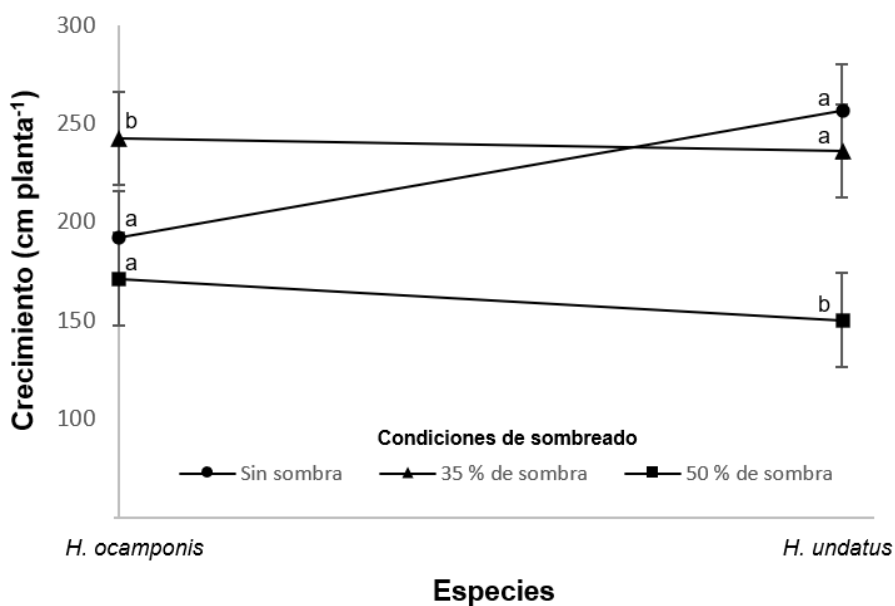


Figura 3. Crecimiento de los tallos de pitahaya (*Hylocereus ocamponis* y *H. undatus*) cultivada bajo diferentes niveles de sombra. Los valores se expresan como la media $\pm$ error estándar. Letras diferentes, en la misma especie, indican diferencias estadísticamente significativas (Tukey ≤ 0.05).

El crecimiento de una planta depende de la biomasa acumulada a través de la fotosíntesis y la menor acumulación de reservas (almidón) dado la mayor demanda de fotoasimilados para crecimiento y desarrollo, por lo que la mayor productividad de un cultivo estará relacionada con una mayor tasa fotosintética, proceso fisiológico influenciado por el medio ambiente (Behling et al., 2015). En la presente investigación, el cultivo de pitahaya bajo malla sombra del 50 % ocasionó menores valores de crecimiento (Figura 3) y una disminución en el peso seco (Cuadro 3), con valores inferiores en alrededor del 54 % con respecto a lo observado en plantas cultivadas sin sombra. Por lo tanto, el mayor peso seco acumulado y por ende, mayor crecimiento en condiciones de cultivo sin sombra y con malla sombra de 35 % para *H. undatus*, y con 35 % de sombra para *H. ocamponis* estará relacionado posiblemente a una mayor tasa fotosintética.

En general, el peso seco de los tallos de pitahaya (Cuadro 3), se vio afectado solo por dos de los tres factores evaluados (sombra y aplicación de lombricomposta, Apéndices 1 y 3), sin interacción significativa entre factores ($P > 0.05$). No se encontró diferencia estadísticamente significativa ($P > 0.05$) en la acumulación de biomasa seca entre el cultivo sin sombra y con 35 % de sombra. La acumulación de materia seca depende de la eficiencia de conversión de radiación fotosintéticamente activa en fotoasimilados (Behling et al., 2015). Además, se ha reportado mayor acumulación de mucílago en las vacuolas de cactáceas en condiciones de alta radiación, polisacarido que constituye al menos 14 % de su peso seco y que contribuyen a su alta resistencia a la sequía (Herman et al., 2001). Por otra parte, aquellos tratamientos donde se aplicó lombricomposta a suelos con pH 6.2 y 8.0, mostraron un incremento estadísticamente similar en la acumulación de biomasa seca, 25 % superior en comparación con aquellos donde no se aplicó lombricomposta (Cuadro 3). Lo anterior puede ser debido a que la lombricomposta es fuente de nutrimentos, cuya aplicación favorece el intercambio catiónico, mejorar el suministro de nutrimentos al aumentar su disponibilidad y absorción, y estimula la actividad biológica del suelo al ser

fuentes de materia orgánica, por ende, favorecer la acumulación de biomasa seca (Galindo Pardo et al., 2014).

Cuadro 3. Biomasa acumulada y grosor de tallos de dos especies de pitahaya (*Hylocereus ocamponis* y *H. undatus*) cultivadas en invernadero bajo diferentes niveles de sombra y aplicación de lombricomposta a diferentes pH de suelo.

		Tratamientos			Peso seco (g planta ⁻¹)	Grosor del tallo (cm)
Especie	Sombra	Aplicación de lombricomposta				
		pH inicial del suelo	Cantidad aplicada			
T1	<i>H. ocamponis</i>	SS	6.2	Sin aplicación	28.30 ± 2.74 abcd	3.01 ± 0.10 bcde
T2	<i>H. ocamponis</i>	SS	6.2	3 kg	41.92 ± 2.65 abcd	3.80 ± 0.37 abc
T3	<i>H. ocamponis</i>	SS	8.0	3 kg	51.96 ± 12.10 abcd	3.52 ± 0.22 abcd
T4	<i>H. undatus</i>	SS	6.2	Sin aplicación	52.43 ± 5.71 abcd	3.22 ± 0.07 bcd
T5	<i>H. undatus</i>	SS	6.2	3 kg	65.61 ± 11.71 a	4.00 ± 0.18 ab
T6	<i>H. undatus</i>	SS	8.0	3 kg	55.53 ± 15.59 abcd	4.62 ± 0.15 a
T7	<i>H. ocamponis</i>	35 %	6.2	Sin aplicación	40.06 ± 5.95 abcd	2.45 ± 0.22 de
T8	<i>H. ocamponis</i>	35 %	6.2	3 kg	61.91 ± 8.87 abd	2.61 ± 0.20 cde
T9	<i>H. ocamponis</i>	35 %	8.0	3 kg	55.92 ± 10.96 abcd	2.84 ± 0.17 bcde
T10	<i>H. undatus</i>	35 %	6.2	Sin aplicación	45.92 ± 6.33 abcd	2.51 ± 0.19 de
T11	<i>H. undatus</i>	35 %	6.2	3 kg	47.54 ± 13.70 abcd	2.87 ± 0.52 bcde
T12	<i>H. undatus</i>	35 %	8.0	3 kg	60.85 ± 10.98 abc	3.00 ± 0.28 bcde
T13	<i>H. ocamponis</i>	50 %	6.2	Sin aplicación	18.90 ± 1.97 cd	2.22 ± 0.07 e
T14	<i>H. ocamponis</i>	50 %	6.2	3 kg	28.27 ± 3.12 abcd	2.21 ± 0.09 e
T15	<i>H. ocamponis</i>	50 %	8.0	3 kg	20.98 ± 2.79 cd	2.33 ± 0.09 de
T16	<i>H. undatus</i>	50 %	6.2	Sin aplicación	28.41 ± 5.73 abcd	2.82 ± 0.30 bcde
T17	<i>H. undatus</i>	50 %	6.2	3 kg	17.68 ± 4.23 d	2.80 ± 0.35 bcde
T18	<i>H. undatus</i>	50 %	8.0	3 kg	25.68 ± 0.86 abcd	2.75 ± 0.29 bcde

SS: Sin sombra. Los valores se expresan como la media ± error estándar de cuatro repeticiones. Letras diferentes en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey ≤ 0.05).

Por otra parte, el grosor de los tallos fue afectado solo por los tres factores evaluados (especie, sombra y aplicación de lombricomposta, Apéndices 1 y 4); sin embargo, no se encontró interacción significativa entre factores ($P > 0.05$). Las pitahayas cultivadas sin sombra presentaron mayor grosor de tallo (Cuadro 3), 41 % mayor con respecto a aquellas plantas cultivadas con malla sombra de 35 % y 50 %. Lo que podría deberse a que la mayor radiación puede influir en las dimensiones celulares del tejido parenquimático como observaron Herman et al. (2001), quienes refieren mayor dimensión y número de capas de células de parénquima en algunas especies de *Opuntia*

bajo alta intensidad luminosa, lo cual podría explicar el mayor grosor de los tallos a menor nivel de sombra. Además, entre especies el mayor grosor de tallo se encontró en *H. undatus* ($P \leq 0.05$), posiblemente debido a la mayor acumulación de agua en el tallo asociada a menores pérdidas por transpiración, dado la posible presencia de cutícula más gruesa y cerosa como se ha reportado en *H. undatus* por Graham & Nobel (2005). En concordancia con lo anterior, se observó mayor peso fresco en los tallos de *H. undatus* en comparación con *H. ocamponis* (Datos no mostrados).

3.4. Análisis nutrimental

Se observó solo efecto significativo del factor sombra ($P \leq 0.05$) sobre las concentraciones de N y Ca en los tallos de *H. ocamponis* y *H. undatus* (Apéndices 1 y 5). Las concentraciones de N y Ca (Figura 4) disminuyeron en 11 % y 21 %, respectivamente con malla sombra de 50 %, con respecto a aquellas plantas cultivadas sin sombra y con malla sombra de 35 %, las cuales no mostraron diferencias estadísticas ($P > 0.05$). Además, el cultivo de pitahaya sin sombra y con 35 % de sombra permitió obtener mayores tasas de crecimiento, dado el papel que juegan el N y Ca en el crecimiento de las plantas. La luz tiene efecto sobre la transpiración, proceso que puede influir en la absorción de minerales. La transpiración es un fenómeno fisiológico que aumenta en las plantas al disminuir la resistencia estomática; en plantas MAC la resistencia estomática se incrementa con el aumento de la temperatura del aire y del déficit de presión de vapor durante el día, y disminuye con mayor humedad relativa del aire durante la noche de vapor, y disminuyó con mayor humedad relativa del aire (Gil-Marín et al., 2006). El Ca y N (NO_3^-) se mueve por el xilema en relación con el flujo de agua impulsado por la transpiración, asociándose un mayor flujo de masas a mayor intensidad de radiación (Sago, 2016). Además, el transporte activo de nutrientes vía xilema, movimiento de solutos no espontáneo, está influenciado fuertemente por la luz al requerir energía metabólica para efectuarse, siendo el ATP de la fotofosforilación la principal fuente de energía

para ello (HiGinbotha, 1973), por lo que ha menor tasa de fotosíntesis se dispondrá de menor energía para la absorción de nutrientes. Lo anterior podría explicar las menores concentraciones de N y Ca en pitahayas cultivadas a menor intensidad de radiación (malla sombra de 50 %).

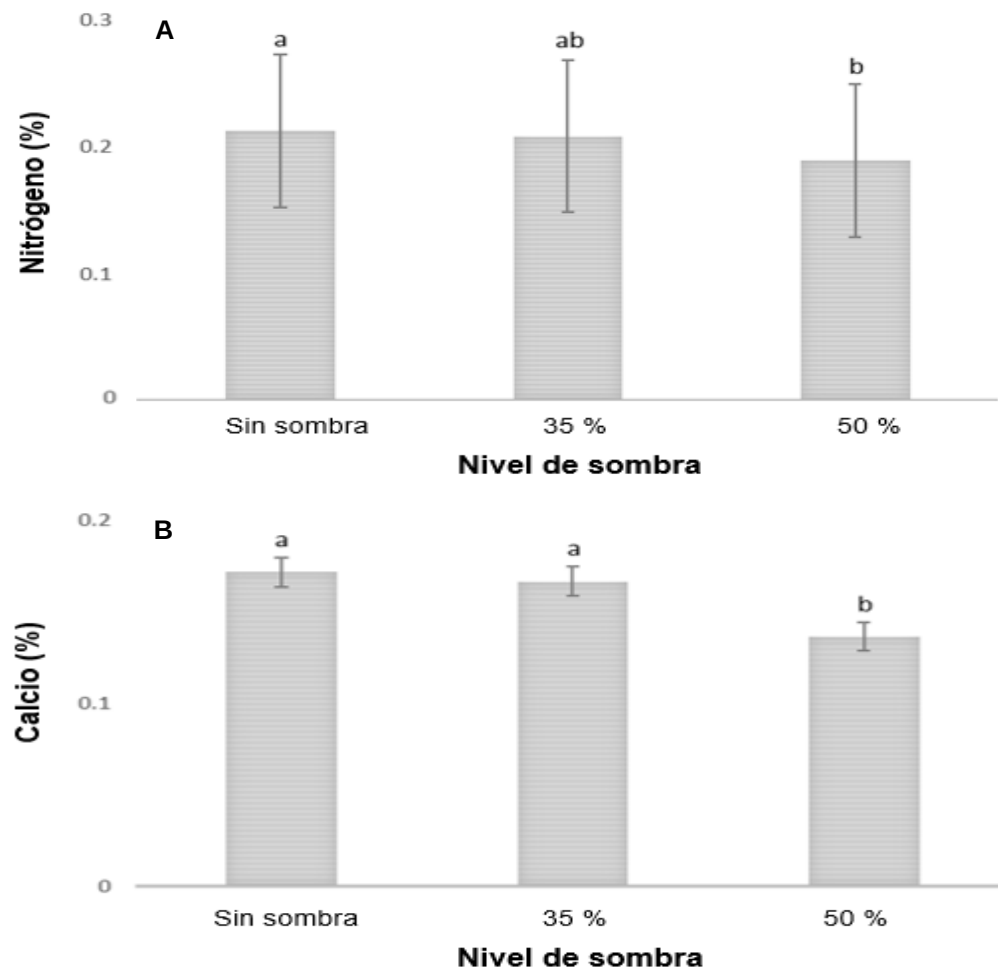
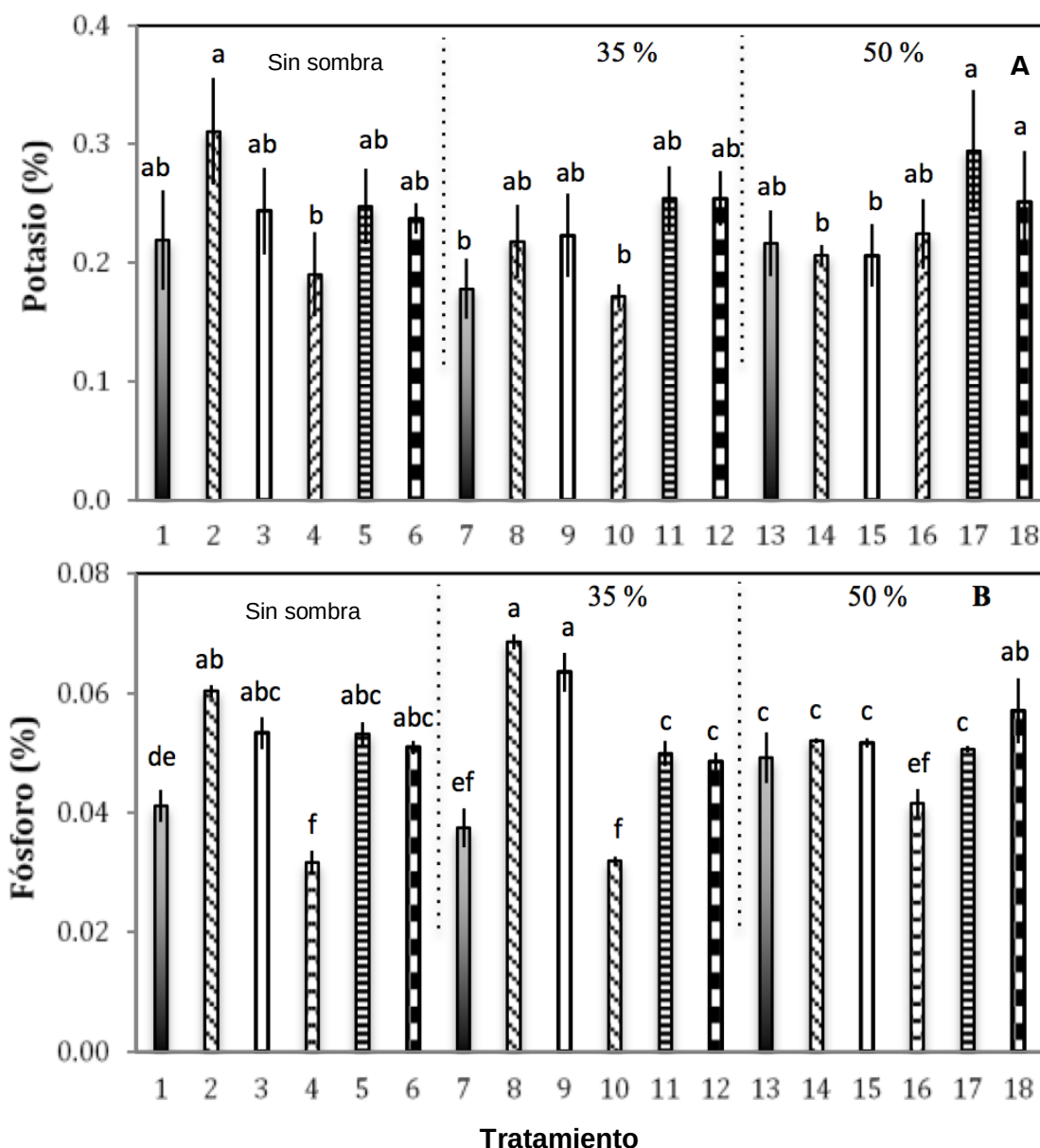


Figura 4. Efecto del nivel de sombra sobre la concentración de nitrógeno (A) y calcio (B) en el tallo de pitahaya (*Hylocereus* spp.). Los valores se expresan como la media $\pm$ error estándar. Letras diferentes en una misma gráfica son estadísticamente diferentes (Tukey ≤ 0.05).

Respecto a la concentración de K (Figura 5), esta solo se afectó por la aplicación de lombricomposta ($P \leq 0.05$, Apéndices 1 y 6). La aplicación de composta en suelo a pH 6.2 y 8 mostró valores estadísticamente similares, alrededor de 20 % superiores a las concentraciones obtenidos en plantas sin

aplicación, dado que la lombricomposta es fuente de este elemento (91.2 mg kg⁻¹). Además, la disponibilidad y absorción de K no se ve afectada por el pH del suelo (Chen & Barber, 1990).

La concentración de P fue afectada únicamente por la interacción sombra×aplicación de lombricomposta ($P \leq 0.05$, Apéndice 1). Las plantas cultivadas con 35 % de sombra en suelos con pH 6.2 y 8.0 y con aplicación de lombricomposta mostraron mayor concentración de P (Figura 5, Apéndice 7), 31 % superior a lo encontrado en plantas sin sombra (testigo). El pH del suelo determina la disponibilidad de fosfatos asimilables por la planta, un aumento del pH reduce el suministro hacia la raíz (Chen & Barber, 1990); sin embargo, la concentración de P no se vio afectada significativamente en aquellos tratamientos donde se aplicó lombricomposta en suelos con pH 6.2 y 8.0. Lo anterior puede deberse a que la pitahaya desarrolle varias respuestas para equilibrar y estabilizar los niveles disponibles de P, como puede ser el iniciar simbiosis micorrízica, producción de fosfatasa o exudados radicales (ácidos orgánicos) que reducen el pH de la rizósfera, ocasionando la solubilización y mineralización de P insoluble (Varma, 1995). Además, los resultados mostraron diferente respuesta genotípica en la absorción de P bajo distintos niveles de sombra, dado que se presentó interacción significativa especie×sombra ($P \leq 0.05$). Las plantas de *H. ocamponis* presentaron mayor concentración con 35 % de sombra, 14 % superior a lo encontrado en plantas cultivadas sin sombra y con 50 % de sombra, y 30 % mayor con respecto a lo encontrado en *H. undatus* bajo el mismo nivel de sombra. Las plantas de *H. undatus* cultivadas con 50 % de sombra mostraron la mayor concentración de P para esta especie. La expresión diferencial entre las especies al transporte de P podría estar asociada a la presencia de un gen que codifique un transportador de P y a que la luz puede regular la morfología de las raíces y la posterior absorción de P (Schachtman et al., 1998).



Datos expresados como media $\pm$ error estándar. Datos reportados en peso fresco. Diferentes letras indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $P \leq 0.05$).

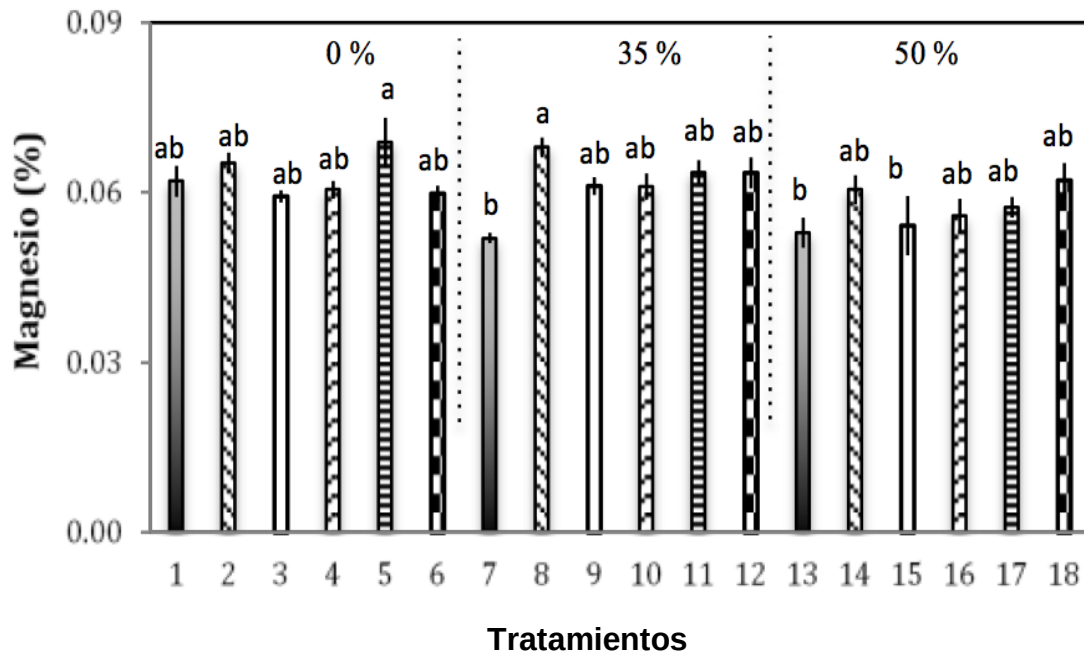
T1 = *H. ocamponis*, sin sombra, sin aplicación de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T2 = *H. ocamponis*, sin sombra, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T3 = *H. ocamponis*, sin sombra, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 8.0; T4 = *H. undatus*, sin sombra, sin aplicación de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T5 = *H. undatus*, sin sombra, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T6 = *H. undatus*, sin sombra, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 8.0; T7 = *H. ocamponis*, malla sombra de 35 %, sin aplicación de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T8 = *H. ocamponis*, malla sombra de 35 %, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T9 = *H. ocamponis*, malla sombra de 35 %, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 8.0; T10 = *H. undatus*, malla sombra de 35 %, sin aplicación de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T11 = *H. undatus*, malla sombra de 35 %, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T12 = *H. undatus*, malla sombra de 35 %, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 8.0; T13 = *H. ocamponis*, malla sombra de 50 %, sin aplicación de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T14 = *H. ocamponis*, malla sombra de 50 %, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T15 = *H. ocamponis*, malla sombra de 50 %, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 8.0; T16 = *H. undatus*, malla sombra de 50 %, sin aplicación de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T17 = *H. undatus*, malla sombra de 50 %, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T18 = *H. undatus*, malla sombra de 50 %, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 8.0.

Figura 5. Concentración de potasio (A) y fósforo (B) en tallos de pitahaya (*Hylocereus ocamponis* y *H. undatus*), cultivados en invernadero bajo diferentes niveles de sombra y aplicación de lombricomposta a diferentes pH de suelo.

La concentración de Mg se vio afectada por los factores sombra y fertilización (Apéndices 1 y 8). El cultivo sin sombra y con 35 % de sombra permitió obtener tallos con 11 % más de Mg con respecto aquellas plantas cultivadas con 50 % de sombra (Figura 6), y con mayor crecimiento y acumulación de biomasa, dado el papel esencial de este elemento para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Además, la mayor de concentración de Mg a mayores niveles de radiación solar puede deberse a la función de este elemento como protector de los constituyentes de los tilacoides al participar en el mecanismo de disipación del exceso de estrés lumínico (Marschner & Cakmak, 1989). Por otro lado, las concentraciones de Mg en aquellos tratamientos con aplicación de 3 kg de lombricomposta en suelos a pH 8.0 y sin aplicación de lombricomposta a suelos con pH 6.2 fueron estadísticamente similares, pero 11 % menores a la concentración lograda al aplicar 3 kg de lombricomposta a suelo con pH 6.2. Lo anterior es debido a que el pH del suelo afectó directamente la liberación de Mg presente en la lombricomposta y su absorción por las plantas, dado que es común una menor disponibilidad y absorción a $\text{pH} > 6.5$ (Mg no intercambiable).

La concentración de Fe fue mayor en *H. ocamponis*, 15 % superior a lo encontrado en *H. undatus* (Figura 7). Lo que podría deberse a que los genotipos desarrollan diferentes mecanismos para solubilizar y absorber eficientemente el Fe, como la presencia de raíces con mayor capacidad de reducción al producir iones H^+ o agentes reductores de Fe^{3+} (Clark, 1983). Además, se observó diferente respuesta genotípica a la absorción de Fe bajo distintos niveles de sombra ($P \leq 0.05$, Apéndice 9). El cultivo de *H. undatus* con 50 % de sombra mostró mayor concentración de Fe (Figura 7), 12 % superior a lo obtenido sin sombra y con 35 % de sombra. En contraste, *H. ocamponis* cultivada con 50 % de sombra presentó menor concentración; 10 % inferior a lo obtenido con 35 % de sombra. Por otra parte, la aplicación de lombricomposta en suelo a pH 6.2 permitió las mayores concentraciones de Fe, 30 y 4 % mayores en comparación con los tratamientos sin aplicación de lombricomposta y con lombricomposta a suelo con pH 8. Lo anterior fue

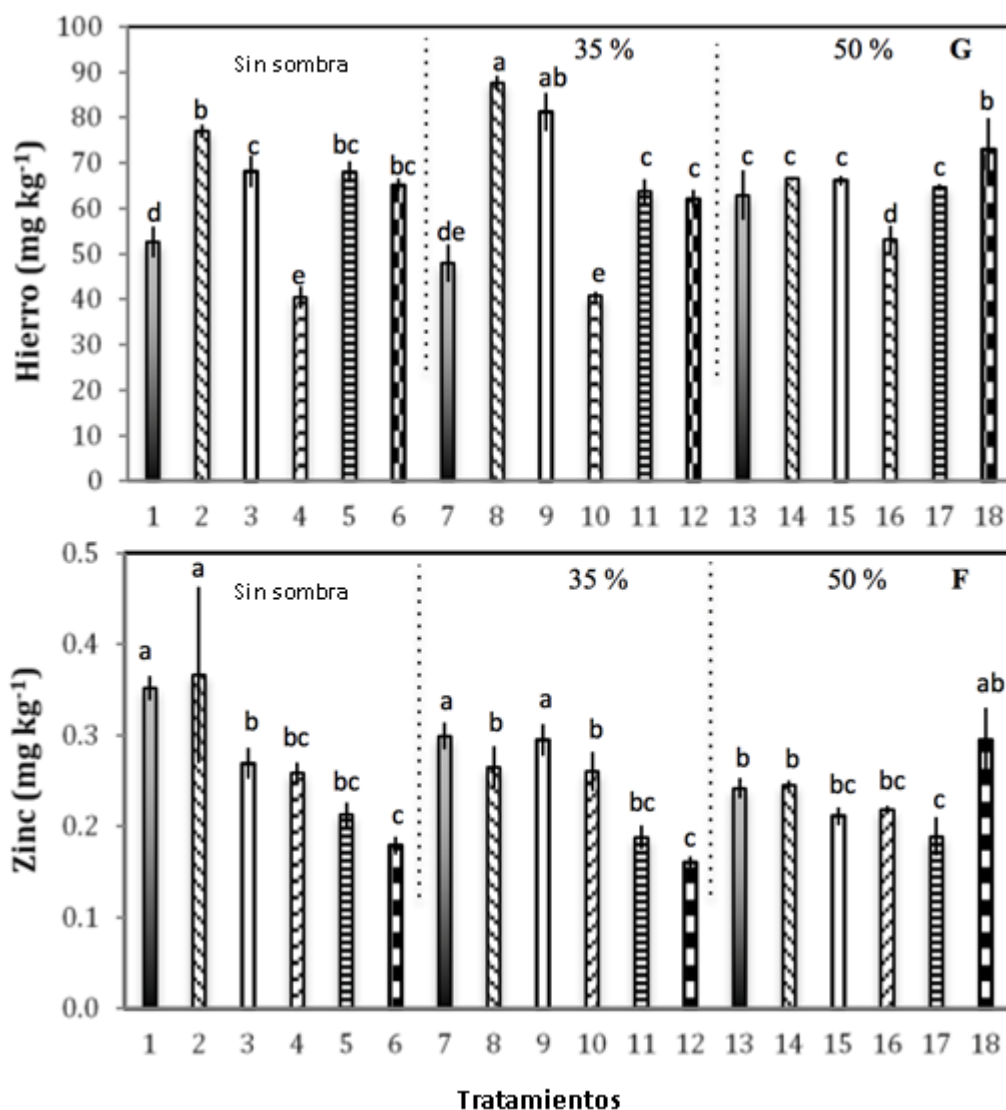
debido a que la adición de lombricomposta suministra Fe a la planta, además de que la reducción de Fe por las raíces y microorganismos es altamente dependiente del pH del suelo, disminuyendo la solubilidad de Fe a pH superiores a 7.5 (Bienfait & Scheffers, 1992; Lindsay & Schwab, 1982).



Datos expresados como media $\pm$ error estándar. Datos reportados en peso fresco. Diferentes letras indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $P \leq 0.05$).

T1 = *H. ocamponis*, sin sombra, sin aplicación de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T2 = *H. ocamponis*, sin sombra, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T3 = *H. ocamponis*, sin sombra, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 8.0; T4 = *H. undatus*, sin sombra, sin aplicación de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T5 = *H. undatus*, sin sombra, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T6 = *H. undatus*, sin sombra, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 8.0; T7 = *H. ocamponis*, malla sombra de 35 %, sin aplicación de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T8 = *H. ocamponis*, malla sombra de 35 %, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T9 = *H. ocamponis*, malla sombra de 35 %, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 8.0; T10 = *H. undatus*, malla sombra de 35 %, sin aplicación de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T11 = *H. undatus*, malla sombra de 35 %, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T12 = *H. undatus*, malla sombra de 35 %, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 8.0; T13 = *H. ocamponis*, malla sombra de 50 %, sin aplicación de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T14 = *H. ocamponis*, malla sombra de 50 %, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T15 = *H. ocamponis*, malla sombra de 50 %, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 8.0; T16 = *H. undatus*, malla sombra de 50 %, sin aplicación de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T17 = *H. undatus*, malla sombra de 50 %, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T18 = *H. undatus*, malla sombra de 50 %, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 8.0.

Figura 6. Concentración de magnesio en tallos de pitahaya (*Hylocereus ocamponis* y *H. undatus*), cultivados en invernadero bajo diferentes niveles de sombra y aplicación de lombricomposta a diferentes pH de suelo.



Datos expresados como media $\pm$ error estándar. Datos reportados en peso fresco. Diferentes letras indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $P \leq 0.05$).

T1 = *H. ocamponis*, sin sombra, sin aplicación de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T2 = *H. ocamponis*, sin sombra, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T3 = *H. ocamponis*, sin sombra, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 8.0; T4 = *H. undatus*, sin sombra, sin aplicación de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T5 = *H. undatus*, sin sombra, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T6 = *H. undatus*, sin sombra, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 8.0; T7 = *H. ocamponis*, malla sombra de 35 %, sin aplicación de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T8 = *H. ocamponis*, malla sombra de 35 %, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T9 = *H. ocamponis*, malla sombra de 35 %, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 8.0; T10 = *H. undatus*, malla sombra de 35 %, sin aplicación de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T11 = *H. undatus*, malla sombra de 35 %, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T12 = *H. undatus*, malla sombra de 35 %, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 8.0; T13 = *H. ocamponis*, malla sombra de 50 %, sin aplicación de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T14 = *H. ocamponis*, malla sombra de 50 %, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T15 = *H. ocamponis*, malla sombra de 50 %, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 8.0; T16 = *H. undatus*, malla sombra de 50 %, sin aplicación de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T17 = *H. undatus*, malla sombra de 50 %, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T18 = *H. undatus*, malla sombra de 50 %, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 8.0.

Figura 7. Concentración de hierro (A) y zinc (B) en tallos de pitahaya (*Hylocereus ocamponis* y *H. undatus*), cultivados en invernadero bajo diferentes niveles de sombra y aplicación de lombricomposta a diferentes pH de suelo.

Por último, se observaron diferencias genotípicas en la absorción de Zn a los distintos niveles de luz dado el efecto significativo de la interacción especie×sombra ($P \leq 0.05$, Anexo 10). El cultivo de *H. ocamponis* sin sombra y con 35 % de sombra mostraron mayores concentraciones de Zn (Figura 7), 30 % superiores a lo encontrado con 50 % de sombra y 34 % mayores a las concentraciones encontradas en *H. undatus*, no se encontró diferencias estadísticas significativas en el cultivo de *H. undatus* a los diferentes niveles de sombra.

3.5. Agrupamiento de tratamientos según similitudes

El análisis de conglomerados permitió identificar cinco grupos principales (Figura 8), con tratamientos cuyo efecto fue similar sobre las características de crecimiento, contenido de clorofilas y estado nutrimental de los tallos de pitahaya. El primer conglomerado integró a tres tratamientos con 70.08 % de similitud entre observaciones: *H. ocamponis* cultivada sin sombra y sin aplicación de lombricomposta en suelo con pH 6.2 (T1); *H. ocamponis* cultivada sin sombra y con aplicación de 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 6.2 (T2) y *H. ocamponis* cultivada sin sombra y con aplicación de 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 8.0 (T3). Las plantas de este grupo tuvieron una mayor concentración de N, K, Ca y Zn, dado que la mayor radiación podría haber influido en el transporte y absorción de estos elementos; sin embargo, presentaron menor concentración de clorofilas por la mayor intensidad de radiación solar y posible fotooxidación. Por lo que, el cultivo de *H. ocamponis* sin sombra podría tener un efecto negativo en la productividad fotosintética.

El segundo conglomerado integró a *H. undatus* cultivada sin sombra más la aplicación de lombricomposta a suelos con pH 6 y 8, y *H. undatus* con 35 % de sombra y con aplicación de lombricomposta a suelos con pH 6 y 8 (tratamientos cinco, seis, 11 y 12), con 70.76 % de similitud entre observaciones, cuyas condiciones de sombra y aplicación de lombricomposta

a diferente pH del suelo permitieron el mayor crecimiento, grosor y acumulación de biomasa seca para esta especie, lo que confirma la mayor adaptabilidad de *H. undatus* y potencial productivo a 0 y 35 % de sombra en suelos a pH 6.2 y 8.

Por otra parte, el conglomerado III (91.38 % de similitud) se integró por *H. ocamponis* cultivada con 35 % de sombra y con aplicación de lombricomposta en suelo con pH 6.2 y 8.0 (tratamientos ocho y nueve), condiciones de cultivo que permitieron mayor crecimiento, acumulación de peso seco, contenido de clorofilas, Fe y P para esta especie. Lo anterior, indica que este nivel de sombra y aplicación de lombricomposta son las que probablemente permitan que *H. ocamponis* exprese su mayor potencial productivo.

El conglomerado IV, con 74.61 % de similitud, se integró por *H. undatus* cultivada sin sombra y con 35 % de sombra en suelo con pH 6.2 y sin aplicación de lombricomposta (tratamientos cuatro y 10) y, *H. ocamponis* cultivada con 35 % en suelo con pH 6.2 y sin aplicación de lombricomposta (tratamiento siete). Este grupo se caracterizó por su alto contenido de clorofilas totales y crecimiento; pero las menores concentraciones de P, K, Mg y Fe, dado la nutrición insuficiente, ya que la disponibilidad de P, K y Mg en el suelo fue baja, por lo que no se garantizó el suministro óptimo para cubrir los requerimientos nutrimentales de la pitahaya.

Finalmente, todos los tratamientos de *H. ocamponis* y *H. undatus* con 50 % de sombra (tratamientos 13, 14, 15, 16, 17 y 18) integraron el conglomerado V, con 60.90 % de similitud entre observaciones, el cual se caracterizó por tener plantas con menor peso seco, grosor de tallo, crecimiento y menor acumulación de Ca, Mg y N. Por lo que no es recomendable el cultivo de estas dos especies de pitahaya con 50 % de sombra.

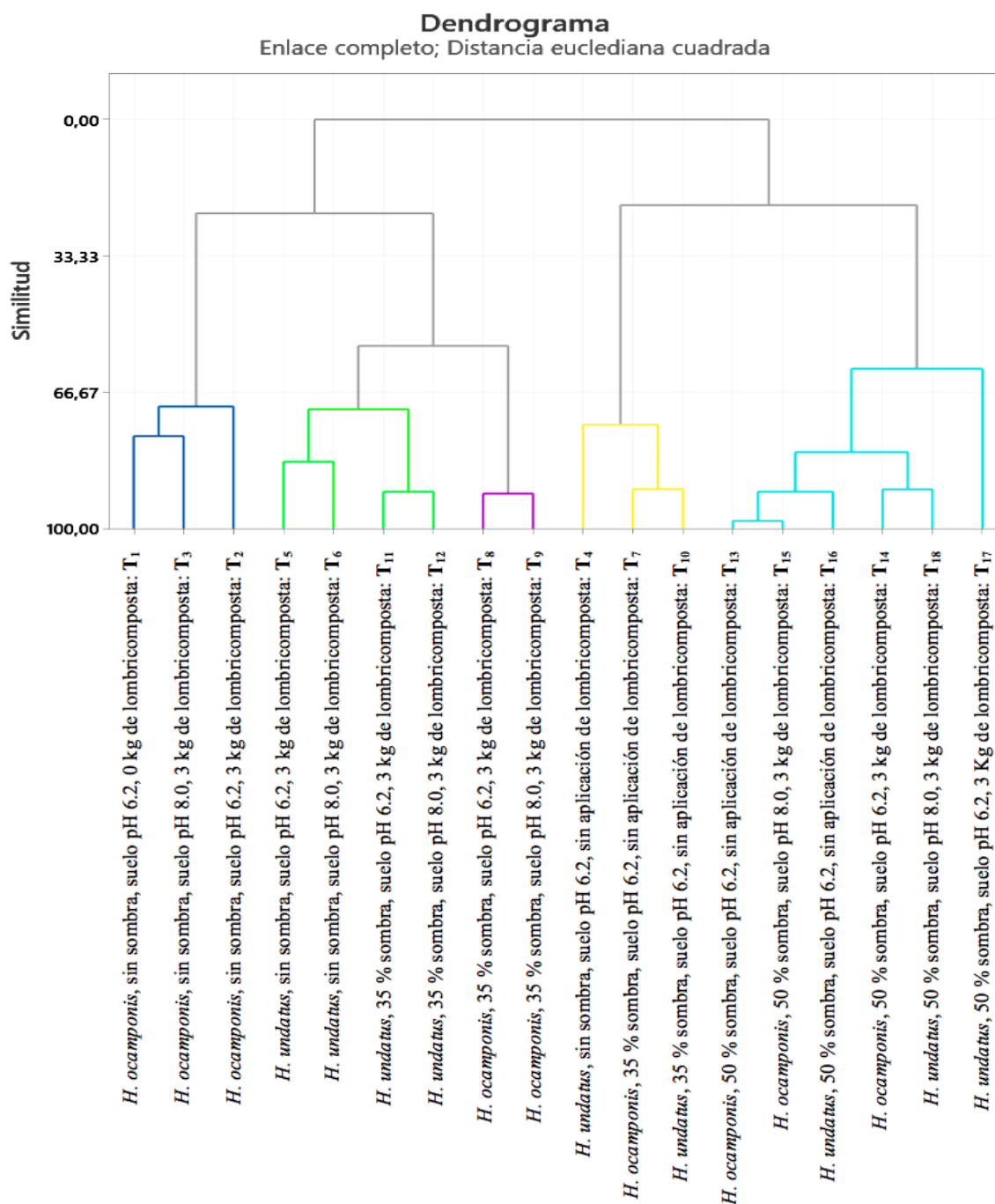


Figura 8. Dendrograma de observaciones agrupadas en función a todas las variables respuesta.

3.6. Correlación canónica

Se empleó el análisis de correlación canónica para determinar la asociación entre el valor nutritivo y parámetros de crecimiento de los tallos de pitahaya con los factores edafoclimáticos que incidieron en el comportamiento de la pitahaya (Figura 9). La variable nutritiva y la variable edafoclimática mostraron una alta correlación significativa (0.54). El Ca fue la variable que más contribuyó a la primera variable canónica (V1) entre las variables originales del grupo “nutritivo”. El grosor y peso seco del tallo fueron las características de crecimiento con mayor contribución a la primera variable canónica (V1).

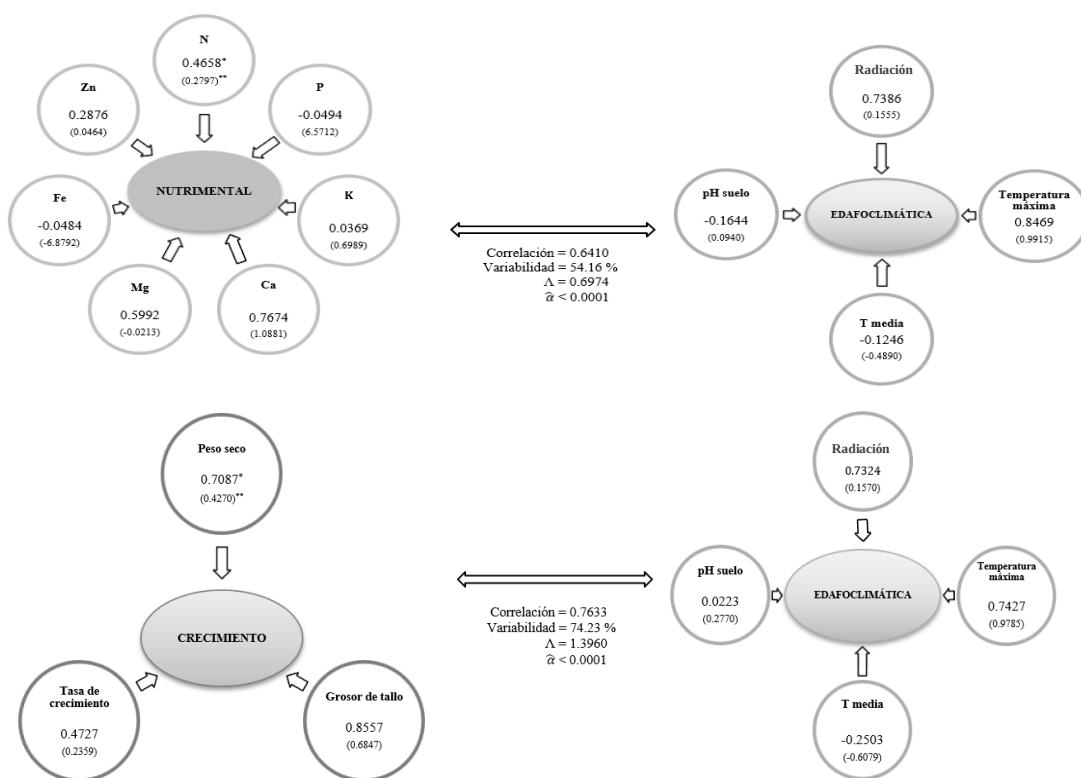


Figura 9. Correlación canónica de la primera variable canónica y la correlación simple con sus respectivas variables originales: A) Valor nutritivo del tallo de pitahaya y condiciones edafoclimáticas en el cultivo de pitahaya; B) Crecimiento del tallo de pitahaya y condiciones edafoclimáticas.

Respecto a los factores edafoclimáticos, la radiación y temperatura máxima estuvieron fuertemente correlacionados con las variables nutrimental y de crecimiento (Figura 9); sin embargo, la temperatura fue la variable original de mayor peso en la primera variable canónica (U1) entre los factores edafoclimáticos. Así, en las condiciones del presente estudio, la pitahaya fue capaz de tolerar altas temperaturas, no mayores a 42/25°C (diurna/nocturna), sin presentar efectos negativos en la acumulación de biomasa; sin embargo, son necesarios más estudios para determinar el efecto de la sombra y temperatura sobre la fijación de CO₂, floración y calidad del fruto.

4. CONCLUSIONES

Los resultados mostraron que el crecimiento, contenido de clorofilas totales y concentración nutrimental de tallos de dos especies de pitahaya (*Hylocereus ocamponis* y *H. undatus*) se vieron afectados por las distintas condiciones de sombra y aplicación de lombricomposta. La especie *H. undatus* mostró mayor adaptabilidad al cultivo sin sombra y con 35 % de sombra; en cambio, *H. ocamponis* mostró mayor crecimiento, contenido de clorofilas y acumulación de peso seco con 35 % de sombra. Se encontraron mayores contenidos de N, Ca y Mg y Zn en tallos de pitahayas cultivadas sin sombra y con 35 % de sombra. No se recomienda el cultivo de *H. ocamponis* y *H. undatus* con 50 % de sombra, dado la menor acumulación de peso seco, grosor y crecimiento; así como menor acumulación de Ca, Mg y N. La aplicación de lombricomposta favoreció la acumulación de peso seco y las concentraciones de K, P, Mg y Fe. La disponibilidad y absorción de Fe se vio afectada por el pH, siendo mayor la concentración en tallos en suelos con pH 6.2 más aplicación de lombricomposta. La concentración de P no se vio afectada por la aplicación de lombricomposta en suelos con pH 6.2 y 8.0

5. LITERATURA CITADA

Akram, S., & Mushtaq, M. (2019). Dragon (*Hylocereus megalanthus*) Seed Oil. En *Fruit Oils: Chemistry and Functionality* (pp. 675–689). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-12473-1_36

- Andrade, J. L., Rengifo, E., Ricalde, M. F., Simá, J. L., Cervera, J. C., & Vargas Soto, G. (2006). Microambientes de luz, crecimiento y fotosíntesis de la pitahaya (*Hylocereus undatus*) en un agrosistema de Yucatán, México. *Agrociencia*, 40(6), 687–697. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30240601>
- Anónimo. (2020). Impulsa Puebla la producción de pitaya y pitahaya. *Revista Unica*. <https://revistaunica.com.mx/impulsa-puebla-la-produccion-de-pitaya-y-pitahaya/>
- Azcón-Bieto, J., & Talón, M. (2013). *Fundamentos de fisiología vegetal*. (Segunda). McGraw-Hill - Interamericana De España, Publicacions I Edicions de la Universitat De Barcelona.
- Balois-Morales, R., Peña-Valdivia, C. B., & Arroyo-Peña, V. B. (2013). Symptoms and sensitivity to chilling injury of pitahaya (*Hylocereus undatus* (Haw.) britton & rose) fruits during postharvest . En *Agrociencia* (Vol. 47, pp. 795–813). scielomx .
- Becerril-Piña, R., Mastachi-Loza, C. A., González-Sosa, E., Díaz-Delgado, C., & Bâ, K. M. (2015). Assessing desertification risk in the semi-arid highlands of central Mexico. *Journal of Arid Environments*, 120, 4–13. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.04.006>
- Behling, A., Sanquetta, C. R., Dalla Corte, A. P., Caron, B., Simon, A. A., Behling, M., & Schmidt, D. (2015). Conversion efficiency of photosynthetically active radiation intercepted in biomass in stands of black wattle in Brazil. *Bosque (Valdivia)*, 36(1), 61–69. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002015000100007>
- Ben-Arie, R., Sonego, L., Zeidman, M., & Lurie, S. (1989). Cell Wall Changes in Ripening Peaches. En *Cell Separation in Plants* (pp. 253–262). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-74161-6_24
- Ben-Asher, J., Nobel, P. S., Yossof, E., & Mizrahi, Y. (2006). Net CO₂ uptake rates for *Hylocereus undatus* and *Selenicereus megalanthus* under field conditions: Drought influence and a novel method for analyzing temperature dependence. *Photosynthetica*, 44(2), 181–186. <https://doi.org/10.1007/s11099-006-0004-y>
- Bienfait, H. F., & Scheffers, M. R. (1992). Some properties of ferric citrate relevant to the iron nutrition of plants. *Plant and Soil*, 143(1), 141–144. <https://doi.org/10.1007/BF00009139>
- Castellanos Z., J., Uvalle, B., J. X., & Aguilar S., A. (2000). *Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Agua*. 2ª edición. Ed. Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola. México. 225 p.
- Cervantes, S. E., Graham, E. A., & Andrade, J. L. (2005). Light microhabitats, growth and photosynthesis of an epiphytic bromeliad in a tropical dry

- forest. *Plant Ecology*, 179(1), 107–118. <https://doi.org/10.1007/s11258-004-5802-3>
- Chandran, S. (2010). Effect of film packaging in extending shelf life of dragon fruit, *Hylocereus undatus* and *H. polyrhizus*. *Acta Horticulturae*, 875, 389–394. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.875.49>
- Chen, J.-H., & Barber, S. A. (1990). Soil pH and Phosphorus and Potassium Uptake by Maize Evaluated with an Uptake Model. *Soil Science Society of America Journal*, 54(4), 1032–1036. <https://doi.org/10.2136/sssaj1990.03615995005400040017x>
- Clark, R. B. (1983). Plant genotype differences in the uptake, translocation, accumulation, and use of mineral elements required for plant growth. In *Genetic Aspects of Plant Nutrition* (pp. 49–70). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-009-6836-3_5
- Esquivel, P., Stintzing, F. C., & Carle, R. (2007). Phenolic Compound Profiles and their Corresponding Antioxidant Capacity of Purple Pitaya (*Hylocereus* sp.) Genotypes. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 62(9–10), 636–644. <https://doi.org/10.1515/znc-2007-9-1003>
- Evans, J. (1988). Acclimation by the Thylakoid Membranes to Growth Irradiance and the Partitioning of Nitrogen Between Soluble and Thylakoid Proteins. *Functional Plant Biology*, 15(2), 93. <https://doi.org/10.1071/PP9880093>
- Fonseca-García, C., Coleman-Derr, D., Garrido, E., Visel, A., Tringe, S. G., & Partida-Martínez, L. P. (2016). The Cacti Microbiome: Interplay between Habitat-Filtering and Host-Specificity. *Frontiers in Microbiology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00150>
- Franco-Salazar, V. A., & Véliz, J. A. (2008). Efectos de la salinidad sobre el crecimiento, acidez titulable y concentración de clorofila en *Opuntia ficus-indica* (L.) MILL. SABER. *Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente*, 20, 12–17. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=427739437003>
- Freitas, S. T. de, & Mitcham, E. J. (2013). Quality of pitaya fruit (*Hylocereus undatus*) as influenced by storage temperature and packaging. *Scientia Agricola*, 70(4), 257–262. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000400006>
- Galindo Pardo, F. V., Fortis Hernández, M., Preciado Rangel, P., Trejo Valencia, R., Segura Castruita, M. A., & Orozco Vidal, J. A. (2014). Caracterización físico-química de sustratos orgánicos para producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo sistema protegido. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(7), 1219-1232.
- García-Rubio, L. A., Vargas Ponce, O., Ramírez-Mireles, F. D. J., Munguía-Lino, G., Corona-Oceguera, C. A., & Cruz-Hernández, T. (2015).

- Distribución geográfica de *Hylocereus* (Cactaceae) en México. *Botanical Sciences*, 93(4), 921. <https://doi.org/10.17129/botsci.282>
- Gil-Marín, José Alexander y Rodríguez, Raúl y Jasso-Cantú, Diana y Zermeno, Alejandro (2006). Resistencia estomática, transpiración y potencial hídrico en sábila con diferentes condiciones ambientales. *Terra Latinoamericana*, 24 (3), 355-365.
- Gilman, I. S., & Edwards, E. J. (2020). Crassulacean acid metabolism. *Current Biology*, 30(2), R57–R62. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.11.073>
- Gonçalves, A. F. M., Pinto, S. I. do C., & Corrêa, R. M. (2020). Pitaya (*Hylocereus undatus*) initial growth in function to NPK fertilization. *Revista Agrogeoambiental*, 11(4). <https://doi.org/10.18406/2316-1817v11n420191370>
- González, C. V., Fanzone, M. L., Cortés, L. E., Bottini, R., Lijavetzky, D. C., Ballaré, C. L., & Boccalandro, H. E. (2015). Fruit-localized photoreceptors increase phenolic compounds in berry skins of field-grown *Vitis vinifera* L. cv. Malbec. *Phytochemistry*, 110, 46–57. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2014.11.018>
- Graham, E. A., & Nobel, P. S. (2005). Daily Changes in Stem Thickness and Related Gas Exchange Patterns for the Hemiepiphytic Cactus *Hylocereus undatus*. *International Journal of Plant Sciences*, 166(1), 13–20. <https://doi.org/10.1086/425669>
- Herman, S., Acevedo, E., & Silva, P. (2001). Anatomía del tejido fotosintético de diez taxa de *Opuntia* establecidos en el secano árido mediterráneo de Chile. *Revista chilena de historia natural*, 74(2). <https://doi.org/10.4067/s0716-078x2001000200011>
- Hernández-Ramos, L., García-Mateos, R., Castillo-González, A. M., Ybarra-Moncada, C., & Nieto-Ángel, R. (2020). Fruits of the pitahaya *Hylocereus undatus* and *H. ocamponis*: nutritional components and antioxidants. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 93, 197–203. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2020.093.024>
- HiGinbotham, N. (1973). The mineral absorption process in plants. *The Botanical Review*, 39(1), 15–69. <https://doi.org/10.1007/BF02860069>
- Ho, P. L., Tran, D. T., Hertog, M. L. A. T. M., & Nicolaï, B. M. (2021). Effect of controlled atmosphere storage on the quality attributes and volatile organic compounds profile of dragon fruit (*Hylocereus undatus*). *Postharvest Biology and Technology*, 173, 111406. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111406>
- Hua, Q., Chen, C., Tel Zur, N., Wang, H., Wu, J., Chen, J., Zhang, Z., Zhao, J., Hu, G., & Qin, Y. (2018). Metabolomic characterization of pitaya fruit from three red-skinned cultivars with different pulp colors. *Plant*

- Physiology and Biochemistry, 126, 117–125.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.02.027>
- Ibrahim, S. R. M., Mohamed, G. A., Khedr, A. I. M., Zayed, M. F., & El-Kholy, A. A.-E. S. (2018). Genus *Hylocereus*: Beneficial phytochemicals, nutritional importance, and biological relevance-A review. *Journal of Food Biochemistry*, 42(2), e12491. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12491>
- Jalgaonkar, K., Mahawar, M. K., Bibwe, B., & Kannaujia, P. (2020). Postharvest Profile, Processing and Waste Utilization of Dragon Fruit (*Hylocereus* Spp.): A Review. *Food Reviews International*, 1–27. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1742152>
- Jiang, Y.-L., Chen, L.-Y., Lee, T.-C., & Chang, P.-T. (2020). Improving postharvest storage of fresh red-fleshed pitaya (*Hylocereus polyrhizus* sp.) fruit by pre-harvest application of CPPU. *Scientia Horticulturae*, 273, 109646. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109646>
- Kishore, K. (2016). Phenological growth stages of dragon fruit (*Hylocereus undatus*) according to the extended BBCH-scale. *Scientia Horticulturae*, 213, 294–302. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.10.047>
- Kováčik, J., Klejdus, B., Bačkor, M., & Repčák, M. (2007). Phenylalanine ammonia-lyase activity and phenolic compounds accumulation in nitrogen-deficient *Matricaria chamomilla* leaf rosettes. *Plant Science*, 172(2), 393–399. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2006.10.001>
- Legaria Solano, J. P., Alvarado Cano, M. E., & Hernández, R. G. (2005). Diversidad genética en pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth. Britton y Rose). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 28, 179 – 185. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61028301>
- Lichtenthaler, H. K. (1987). [34] Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. En S. P. Colowick & N. O. Kaplan (Eds.), *Methods in Enzymology* (pp. 350–382). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
- Lichtenzweig, J., Abbo, S., Nerd, A., Tel-Zur, N., & Mizrahi, Y. (2000). Cytology and mating systems in the climbing cacti *Hylocereus* and *Selenicereus*. *American Journal of Botany*, 87(7), 1058–1065. <https://doi.org/10.2307/2657005>
- Lindsay, W. L., & Schwab, A. P. (1982). The chemistry of iron in soils and its availability to plants. *Journal of Plant Nutrition*, 5(4–7), 821–840. <https://doi.org/10.1080/01904168209363012>
- Liu, R., Gao, H., Chen, H., Fang, X., & Wu, W. (2019). Synergistic effect of 1-methylcyclopropene and carvacrol on preservation of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*). *Food Chemistry*, 283, 588–595. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.066>

- Lüttge, U. (2004). Ecophysiology of Crassulacean Acid Metabolism (CAM). *Annals of Botany*, 93(6), 629–652. <https://doi.org/10.1093/aob/mch087>
- Magalhães, D. S., da Silva, D. M., Ramos, J. D., Salles Pio, L. A., Pasqual, M., Vilas Boas, E. V. B., Galvão, E. C., & de Melo, E. T. (2019). Changes in the physical and physico-chemical characteristics of red-pulp dragon fruit during its development. *Scientia Horticulturae*, 253, 180–186. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.050>
- Magaña, W., Balbín, M., Corrales, J., Rodríguez, A., & Saucedo, C. (2006). Principales características de calidad de las pitahayas (*Hylocereus undatus* Haworth), frigoconservadas en atmósferas controladas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 15, 52–57. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93215211>
- Manzanero-Acevedo, L. A. Isaac-Márquez, R., Zamora-Crescencio, P. Rodríguez-Canché, L. Guadalupe, Ortega-Haas, J. J., & Dzib Castillo, B. (2014). Conservación de la pitahaya [*Hylocereus undatus* (haw.) Britton & Rose] en el estado de campeche, méxico. *Foresta Veracruzana*, 16, 9–16. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49731008002>
- Marschner, H., & Cakmak, I. (1989). High Light Intensity Enhances Chlorosis and Necrosis in Leaves of Zinc, Potassium, and Magnesium Deficient Bean (*Phaseolus vulgaris*) Plants. *Journal of Plant Physiology*, 134(3), 308–315. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(89\)80248-2](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(89)80248-2)
- Mercado-Silva, E. M. (2018). Pitaya— *Hylocereus undatus* (Haw). En *Exotic Fruits* (pp. 339–349). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803138-4.00045-9>
- Mizrahi, Y. (2020). Do We Need New Crops for Arid Regions? A Review of Fruit Species Domestication in Israel. *Agronomy*, 10(12), 1995. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121995>
- Montesinos Cruz, J., Rodríguez-Larramendi, L., Ortiz-Pérez, R., Fonseca-Flores, M., Ruíz Herrera, G., & Guevara-Hernández, F. (2015). Revisión bibliográfica Pitahaya (*Hylocereus* spp.) un recurso fitogenético con historia y futuro para el trópico seco mexicano. *Cultivos tropicales*, 36, 67–76. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v36s1/ctr07s115.pdf>
- Moreno Velázquez, D., Cruz Romero, W., García Lara, E., Ibañez Martínez, A., Barrios Díaz, J. M., & Barrios Díaz, B. (2013). Cambios fisicoquímicos poscosecha en tres cultivares de pepino con y sin película plástica . En *Revista mexicana de ciencias agrícolas* (Vol. 4, pp. 909–920). scielomx .
- Naikoo, M. I., Dar, M. I., Raghib, F., Jaleel, H., Ahmad, B., Raina, A., Khan, F. A., & Naushin, F. (2019). Role and Regulation of Plants Phenolics in Abiotic Stress Tolerance. En *Plant Signaling Molecules* (pp. 157–168). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816451-8.00009-5>

- Nerd, A., Gutman, F., & Mizrahi, Y. (1999). Ripening and postharvest behaviour of fruits of two *Hylocereus* species (Cactaceae). *Postharvest Biology and Technology*, 17(1), 39–45. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(99\)00035-6](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(99)00035-6)
- Nguyen, N. (2020). The Marketing for Vietnamese Dragon Fruit. *Archives of Business Research*, 8(5), 221–226. <https://doi.org/10.14738/abr.85.8299>
- Nobel, P. S., & La Barrera, E. (2004). CO₂ uptake by the cultivated hemiepiphytic cactus, *Hylocereus undatus*. *Annals of Applied Biology*, 144(1), 1–8. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2004.tb00310.x>
- Novoa, A., Le Roux, J. J., Robertson, M. P., Wilson, J. R. U., & Richardson, D. M. (2015). Introduced and invasive cactus species: a global review. *AoB PLANTS*, 7. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plu078>
- Obenland, D., Cantwell, M., Lobo, R., Collin, S., Sievert, J., & Arpaia, M. L. (2016). Impact of storage conditions and variety on quality attributes and aroma volatiles of pitahaya (*Hylocereus* spp.). *Scientia Horticulturae*, 199, 15–22. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.12.021>
- Ortiz Hernández, Y. D., Livera Salazar, M., & Carrillo Muñoz, J. A. (1999). Asimilación de CO₂ por la pitahaya *Hylocereus undatus* en condiciones de campo. *Agrociencia*, 33(2), 165–169.
- Osuna-Enciso, T., Valdez-Torres, J. B., Sañudo-Barajas, J. A., Muy-Rangel, M. D., Hernández-Verdugo, S., Villarreal-Romero, M., & Osuna-Rodríguez, 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. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952016000100061&nrm=iso
- Osuna Enciso, T., Ibarra Zazueta, M. E., Muy Rangel, M. D., Valdez Torres, J. B., Villarreal Romero, M., & Hernández Verdugo, S. (2011). Calidad postcosecha de frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haw.) cosechados en tres estados de madurez . En *Revista fitotecnia mexicana* (Vol. 34, pp. 63–72). [scielomx](http://www.scielomx.org) .
- Punitha, V., Boyce, A. N., & Chandran, S. (2010). Effect of storage temperatures on the physiological and biochemical properties of *Hylocereus polyrhizus*. *Acta Horticulturae*, 875, 137–144. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.875.16>
- Quiroz-González, B., Corrales-García, J. J. E., Colinas-León, M. T. B., & Ybarra-Moncada, M. C. (2017). Identification of variables correlated with chilling injury in Pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth). *Agrociencia*, 51, 153–172. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952017000200153&nrm=iso

- Raveh, E., Nerd, A., & Mizrahi, Y. (1998). Responses of two hemiepiphytic fruit crop cacti to different degrees of shade. *Scientia Horticulturae*, 73(2–3), 151–164. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(97\)00134-9](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(97)00134-9)
- Robards, K., & Antolovich, M. (1997). Analytical Chemistry of Fruit Bioflavonoids A Review. *The Analyst*, 122(2), 11R–34R. <https://doi.org/10.1039/a606499j>
- Sago, Y. (2016). Effects of Light Intensity and Growth Rate on Tipburn Development and Leaf Calcium Concentration in Butterhead Lettuce. *HortScience*, 51(9), 1087–1091. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI10668-16>
- Schachtman, D. P., Reid, R. J., & Ayling, S. M. (1998). Phosphorus Uptake by Plants: From Soil to Cell. *Plant Physiology*, 116(2), 447–453. <https://doi.org/10.1104/pp.116.2.447>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, & Rural, S. de A. y D. (2019). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Producción Anual Agrícola, Cierre de la producción agrícola (1980-2019). <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Shao, Q., Wang, H., Guo, H., Zhou, A., Huang, Y., Stern, S. R., & Li, M. (2014). Effects of Shade Treatments on Photosynthetic Characteristics, Chloroplast Ultrastructure, and Physiology of *Anoectochilus roxburghii*. *PLoS ONE*, 9(2), e85996. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0085996>
- Silvera, K., Neubig, K. M., Whitten, W. M., Williams, N. H., Winter, K., & Cushman, J. C. (2010). Evolution along the crassulacean acid metabolism continuum. *Functional Plant Biology*, 37(11), 995. <https://doi.org/10.1071/FP10084>
- Subandi, M., Mustari, E., & Setian, A. (2018). The Crossing Effect of Dragon Fruit Plant Cultivars [*Hylocereus* Sp.] on Yield. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(2.29), 762. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i2.29.14252>
- Tofiño, A., Fregene, M., Ceballos, H., & Cabal, D. (2006). Regulación de la biosíntesis del almidón en plantas terrestres: perspectivas de modificación. *Acta Agronómica*, 55. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169920320001>
- Tomás-Barberán, F. A., & Espín, J. C. (2001). Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(9), 853–876. <https://doi.org/10.1002/jsfa.885>
- Tomaz de Oliveira, M. M., Lu, S., Zurgil, U., Raveh, E., & Tel-Zur, N. (2021). Grafting in *Hylocereus* (Cactaceae) as a tool for strengthening tolerance to high temperature stress. *Plant Physiology and*

- Biochemistry, 160, 94–105.
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.01.013>
- Tran, D.-H., Yen, C.-R., & Chen, Y.-K. H. (2015). Effects of bagging on fruit characteristics and physical fruit protection in red pitaya (*Hylocereus* spp.). *Biological Agriculture & Horticulture*, 31(3), 158–166.
<https://doi.org/10.1080/01448765.2014.991939>
- Uarrota, V. G., Stefen, D. L. V., Leolato, L. S., Gindri, D. M., & Nerling, D. (2018). Revisiting Carotenoids and Their Role in Plant Stress Responses: From Biosynthesis to Plant Signaling Mechanisms During Stress. *En Antioxidants and Antioxidant Enzymes in Higher Plants* (pp. 207–232). Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-75088-0_10
- Uthairatanakij, A., Cholmaitri, C., Aiamla-or, S., & Jitareerat, P. (2018). Gamma irradiation as phytosanitary treatment for red flesh dragon fruit. *Acta Horticulturae*, 1210, 145–150.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1210.20>
- Uz, I., & Tavali, I. E. (2014). Short-Term Effect of Vermicompost Application on Biological Properties of an Alkaline Soil with High Lime Content from Mediterranean Region of Turkey. *The Scientific World Journal*, 2014, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2014/395282>
- Varma, A. (1995). Ecophysiology and Application of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Arid Soils. *En Mycorrhiza* (pp. 561–591). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-08897-5_24
- Vázquez-Martínez, B., Alia Tejacal, I., Guillén-Sánchez, D., Juárez-Lopez, P., Andrade Rodriguez, M., Villegas-Torres, O., & Martínez-Morales, A. (2015). Efecto de la baja temperatura en el metabolismo de carbohidratos y calidad de frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota* [Jacq.] H.E. Moore & Stearn). *Acta Agrícola y Pecuaria*, 1, 70–77.
- Wall, M. M., & Khan, S. A. (2008). Postharvest Quality of Dragon Fruit (*Hylocereus* spp.) after X-ray Irradiation Quarantine Treatment. *HortScience*, 43(7), 2115–2119.
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.2115>
- Wang, L., Zhang, X., Ma, Y., Qing, Y., Wang, H., & 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.
<https://doi.org/10.1080/14620316.2019.1595747>
- Wanitchang, J., Terdwongworakul, A., Wanitchang, P., & Noypitak, S. (2010). Maturity sorting index of dragon fruit: *Hylocereus polyrhizus*. *Journal of Food Engineering*, 100(3), 409–416.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.04.025>

- Wettstein, V., D., Gough, S., Kannangara, & G., C. (1995). Chlorophyll Biosynthesis. The Plant Cell, 1039–1057. <https://doi.org/10.1105/tpc.7.7.1039>
- Wu, L., Hsu, H.-W., Chen, Y.-C., Chiu, C.-C., Lin, Y.-I., & Ho, J. A. (2006). Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya. Food Chemistry, 95(2), 319–327. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.01.002>
- Wu, Y., Xu, J., He, Y., Shi, M., Han, X., Li, W., Zhang, X., & Wen, X. (2019). Metabolic Profiling of Pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) during Fruit Development and Maturation. Molecules, 24(6), 1114. <https://doi.org/10.3390/molecules24061114>
- Yong, Y. Y., Dykes, G., Lee, S. M., & Choo, W. S. (2018). Effect of refrigerated storage on betacyanin composition, antibacterial activity of red pitahaya (*Hylocereus polyrhizus*) and cytotoxicity evaluation of betacyanin rich extract on normal human cell lines. LWT, 91, 491–497. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.078>

6. APÉNDICES

Apéndices 1. Valores percentiles de la distribución de Fisher ($F_{0.05}$) y valores de F correspondientes al análisis de varianza para la evaluación del efecto de la especie (*Hylocereus ocamponis* y *H. undatus*), niveles de sombra y aplicación de lombricomposta a diferentes pH de suelo, sobre el crecimiento, contenido de clorofila y concentración nutrimental en tallos de plantas de pitahaya.

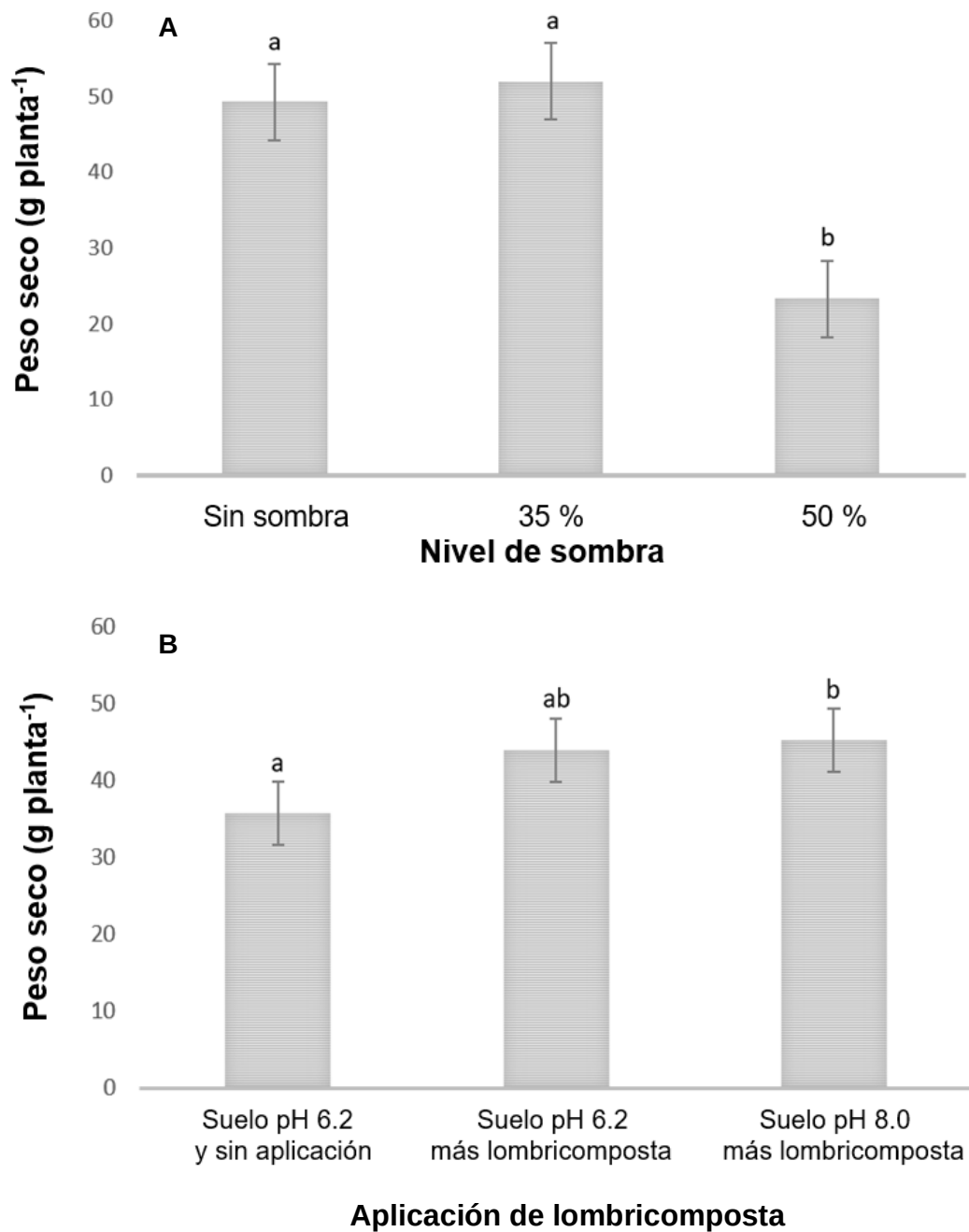
		Factor de variación						CV (%)
		E	S	F	E x S	E x F	S x F	
Grados de libertad (gl)		1	2	2	2	2	4	--
gl error		6	12	36	12	36	36	--
$F_{0.05}$		5.99	3.89	3.26	3.89	3.26	2.63	--
Valores de F	CT	5.44	9.01**	0.94	0.31	0.12	1.01	19.28
	Peso seco	0.65	21.02**	3.85*	2.08	1.74	1.11	30.82
	Grosor	6.89*	66.37**	5.90**	1.81	0.50	2.20	16.41
	TC	0.19	13.11**	0.31	3.89*	0.30	0.12	32.37
	N	3.80	4.08*	1.06	0.45	2.14	0.95	14.45
	P	23.10**	0.70	113.94**	5.56*	2.07	10.71**	2.74
	K	0.13	0.71	14.20**	1.83	1.45	1.72	15.80
	Ca	0.07	8.12**	0.07	0.36	2.70	2.39	13.81
	Mg	0.52	18.05**	14.46**	0.51	2.84	2.30	7.06
	Fe	25.32**	0.66	117.21**	5.50*	2.29	11.20**	8.53
Zn		88.29**	2.51	2.72	5.33*	1.34	2.50	22.66

E = especie; S = sombra; F = fertilización; CV = coeficiente de variación; gl = grados de libertad; CT = clorofilas totales; TC = tasa de crecimiento; N = nitrógeno; P = fósforo; K = potasio; Ca = calcio; Mg = magnesio; Fe = hierro; Zn = zinc; * = efecto significativo a $P \leq 0.05$, ** = efecto muy significativo a $P \leq 0.01$.

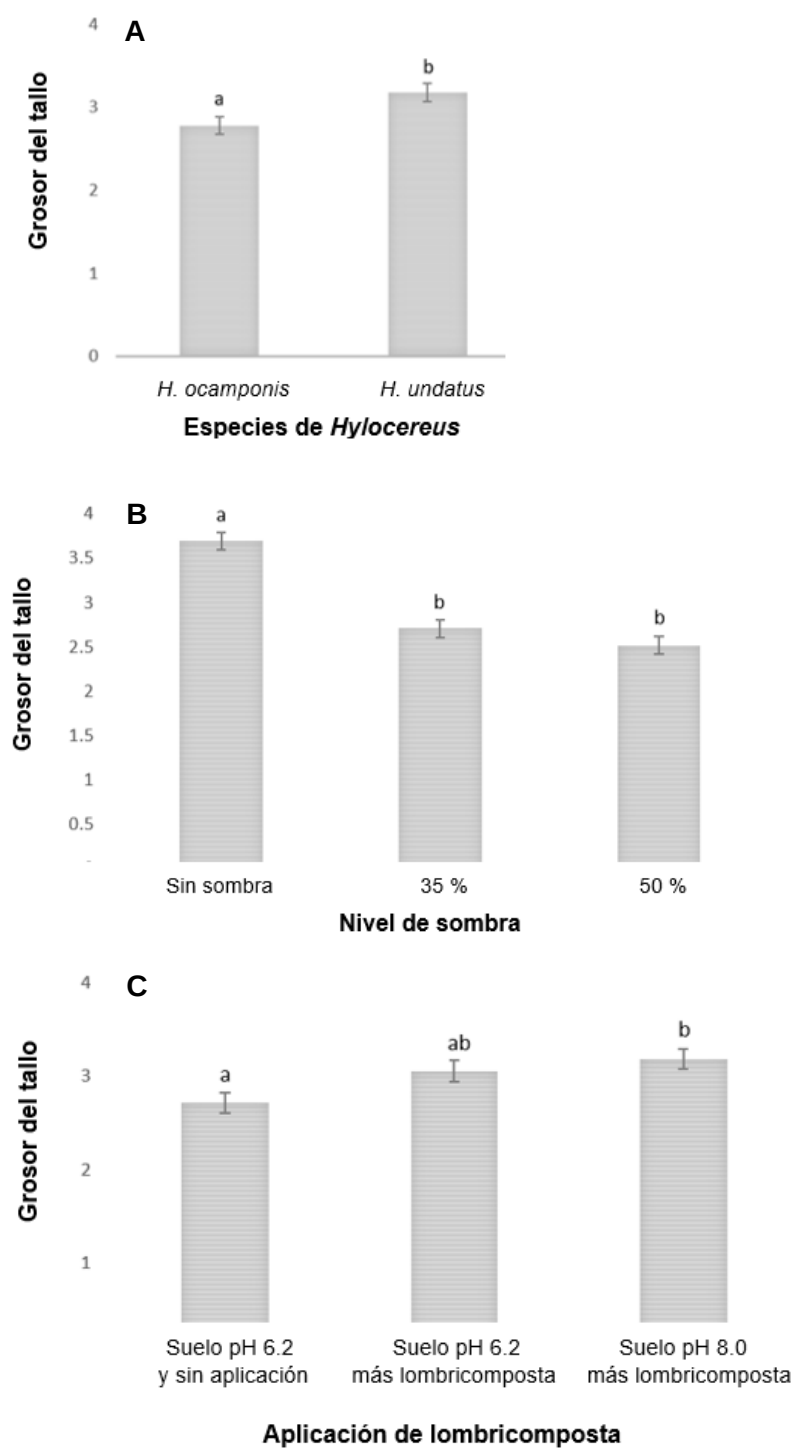
Apéndices 2. Contenido de clorofilas totales en tallos de dos especies de pitahaya (*Hylocereus ocamponis* y *H. undatus*) cultivadas en invernadero bajo diferentes niveles de sombra y aplicación de lombricomposta a diferentes pH de suelo.

Tratamiento	Clorofilas totales (mg 100 g ⁻¹ p. f.)
T1: <i>H. ocamponis</i> , sin sombra, sin aplicación de lombricomposta	14.73 ± 0.82 a
T2: <i>H. ocamponis</i> , sin sombra, suelo con pH 6.2 y aplicación de lombricomposta	14.01 ± 1.53 a
T3: <i>H. ocamponis</i> , sin sombra, suelo con pH 8.0 y aplicación de lombricomposta	16.78 ± 2.22 a
T4: <i>H. undatus</i> , sin sombra, sin aplicación de lombricomposta	16.41 ± 0.66 a
T5: <i>H. undatus</i> , sin sombra, suelo con pH 6.2 y aplicación de lombricomposta	14.98 ± 2.07 a
T6: <i>H. undatus</i> , sin sombra, suelo con pH 8.0 y aplicación de lombricomposta	17.68 ± 2.88 a
T7: <i>H. ocamponis</i> , 35 % sombra, sin aplicación de lombricomposta	22.24 ± 1.64 a
T8: <i>H. ocamponis</i> , 35 % sombra, suelo con pH 6.2 y aplicación de lombricomposta	18.80 ± 2.58 a
T9: <i>H. ocamponis</i> , 35 % sombra, suelo con pH 8.0 y aplicación de lombricomposta	19.50 ± 0.64 a
T10: <i>H. undatus</i> , 35 % sombra, sin aplicación de lombricomposta	22.35 ± 1.52 a
T11: <i>H. undatus</i> , 35 % sombra, suelo con pH 6.2 y aplicación de lombricomposta	20.02 ± 1.41 a
T12: <i>H. undatus</i> , 35 % sombra, suelo con pH 8.0 y aplicación de lombricomposta	20.24 ± 2.68 a
T13: <i>H. ocamponis</i> , 50 % sombra, sin aplicación de lombricomposta	16.59 ± 1.14 a
T14: <i>H. ocamponis</i> , 50 % sombra, suelo con pH 6.2 y aplicación de lombricomposta	16.33 ± 1.69 a
T15: <i>H. ocamponis</i> , 50 % sombra, suelo con pH 8.0 y aplicación de lombricomposta	16.82 ± 0.76 a
T16: <i>H. undatus</i> , 50 % sombra, sin aplicación de lombricomposta	19.58 ± 2.27 a
T17: <i>H. undatus</i> , 50 % sombra, suelo con pH 6.2 y aplicación de lombricomposta	19.60 ± 1.63 a
T18: <i>H. undatus</i> , 50 % sombra, suelo con pH 8.0 y aplicación de lombricomposta	17.84 ± 0.39 a

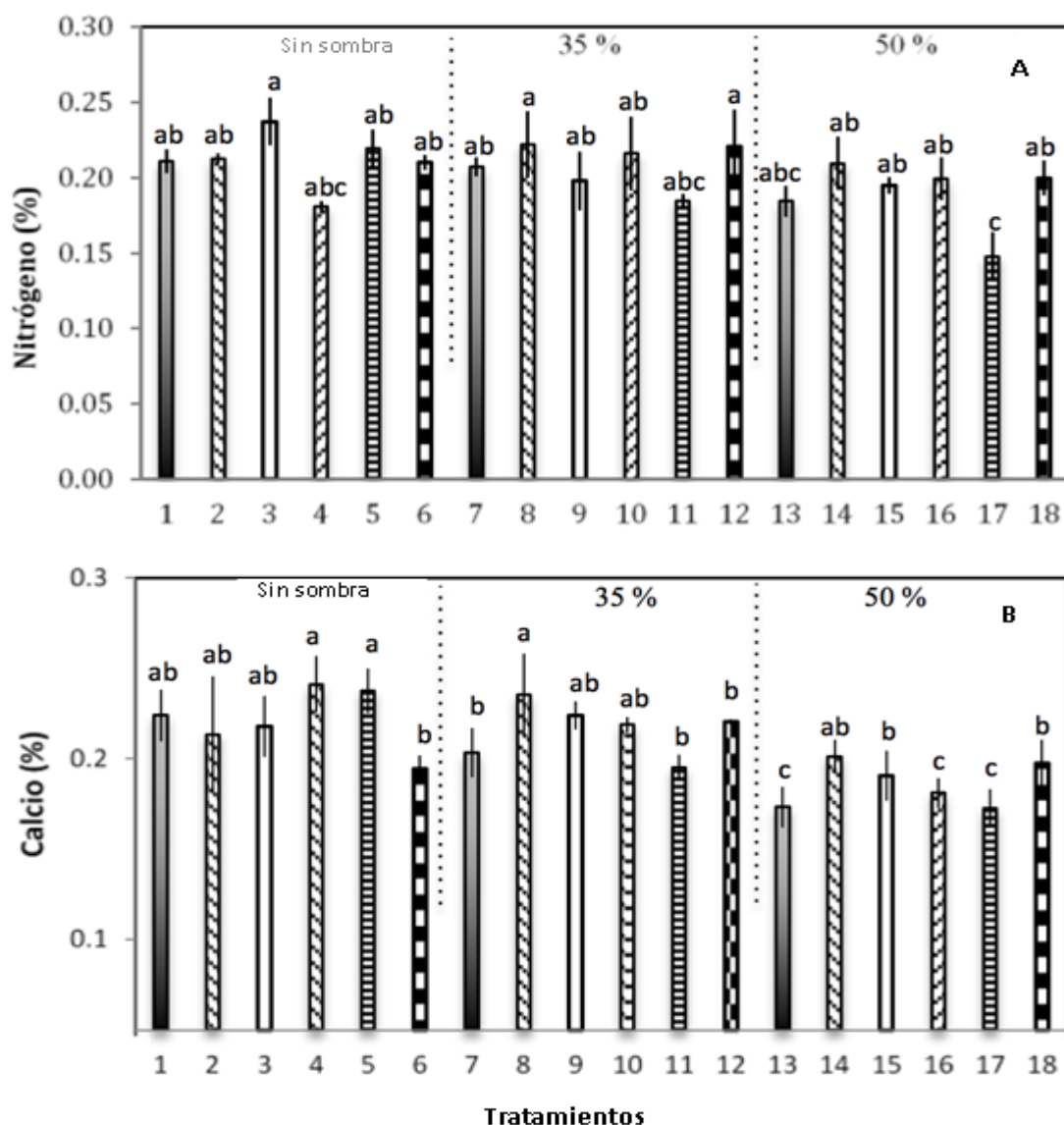
Los valores se expresan como la media ± error estándar de cuatro repeticiones. Letras diferentes en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey ≤ 0.05).



Apéndices 3. Efecto de diferentes niveles de sombra (A) y aplicación de lombricomposta a diferentes pH de suelo (B) sobre la acumulación de biomasa seca en tallos pitahaya (*Hylocereus* spp.).



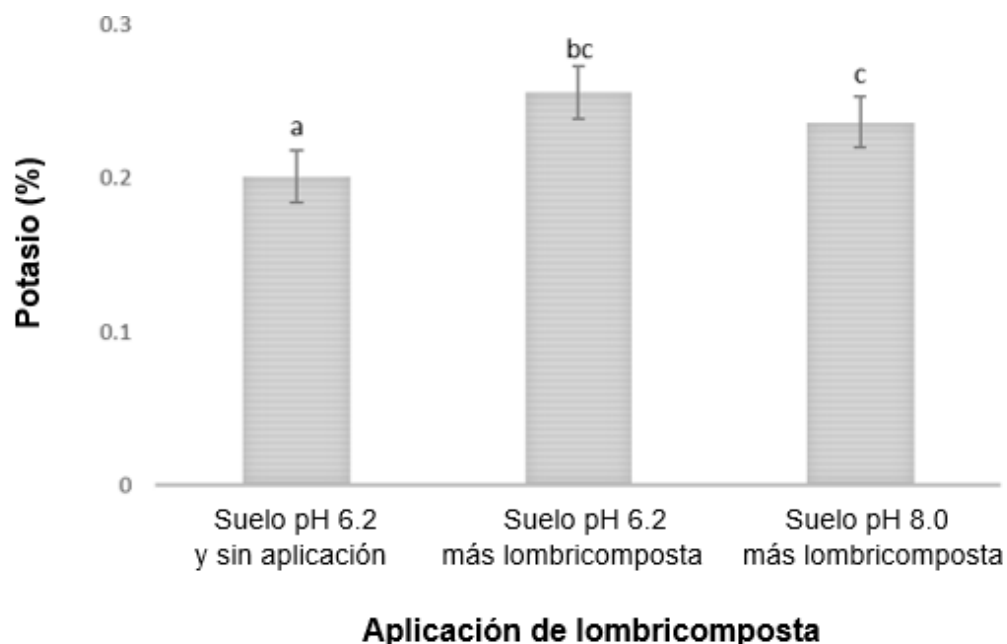
Apéndices 4. Efecto de diferentes factores (especie (A), sombra (B) y aplicación de lombricomposta (C) a diferentes pH de suelo) sobre el grosor del tallo de pitahaya (*Hylocereus* spp.).



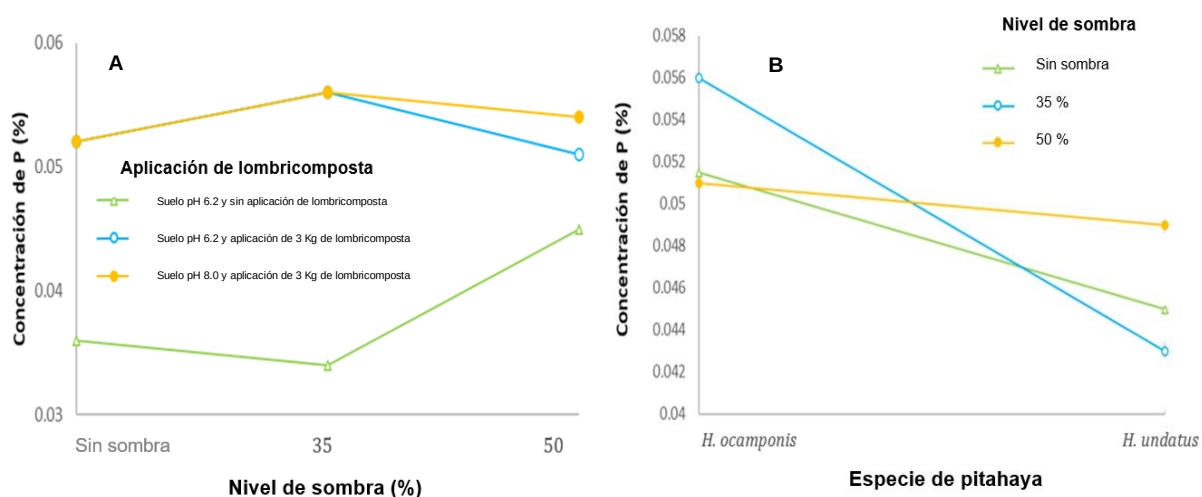
Datos expresados como media $\pm$ error estándar. Datos reportados en peso fresco. Diferentes letras indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $P \leq 0.05$).

T1 = *H. ocamponis*, sin sombra, sin aplicación de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T2 = *H. ocamponis*, sin sombra, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T3 = *H. ocamponis*, sin sombra, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 8.0; T4 = *H. undatus*, sin sombra, sin aplicación de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T5 = *H. undatus*, sin sombra, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T6 = *H. undatus*, sin sombra, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 8.0; T7 = *H. ocamponis*, malla sombra de 35 %, sin aplicación de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T8 = *H. ocamponis*, malla sombra de 35 %, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T9 = *H. ocamponis*, malla sombra de 35 %, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 8.0; T10 = *H. undatus*, malla sombra de 35 %, sin aplicación de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T11 = *H. undatus*, malla sombra de 35 %, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T12 = *H. undatus*, malla sombra de 35 %, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 8.0; T13 = *H. ocamponis*, malla sombra de 50 %, sin aplicación de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T14 = *H. ocamponis*, malla sombra de 50 %, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T15 = *H. ocamponis*, malla sombra de 50 %, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 8.0; T16 = *H. undatus*, malla sombra de 50 %, sin aplicación de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T17 = *H. undatus*, malla sombra de 50 %, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 6.2; T18 = *H. undatus*, malla sombra de 50 %, 3 kg de lombricomposta en suelo con pH 8.0.

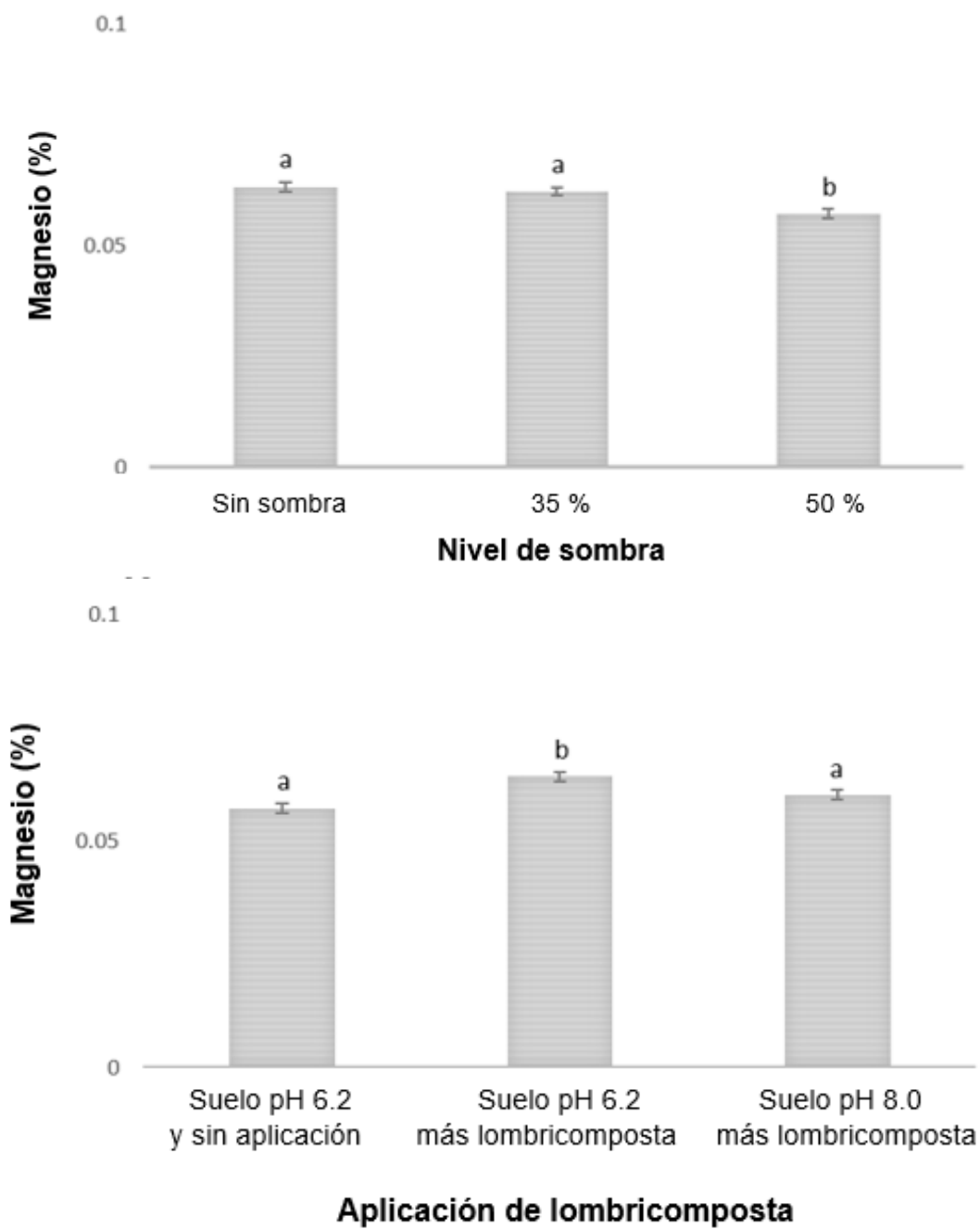
Apéndice 5. Concentración de nitrógeno (A) y calcio (B) en tallos de pitahaya (*Hylocereus ocamponis* y *H. undatus*), cultivados en invernadero bajo diferentes niveles de sombra y aplicación de lombricomposta a diferentes pH de suelo.



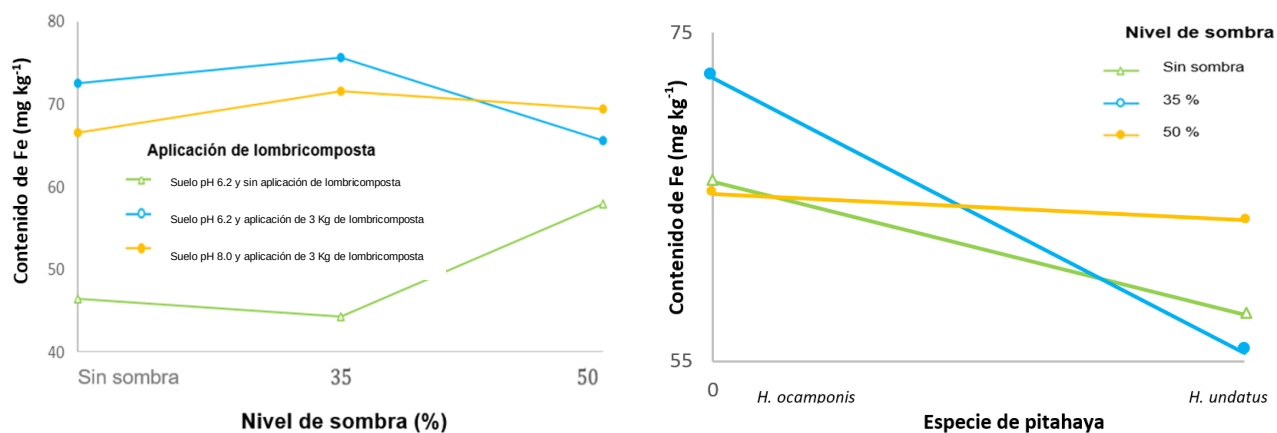
Apéndices 6. Efecto de la aplicación de lombricomposta, a diferentes pH de suelo, sobre la concentración de potasio en tallos de pitahaya (*Hylocereus* spp.).



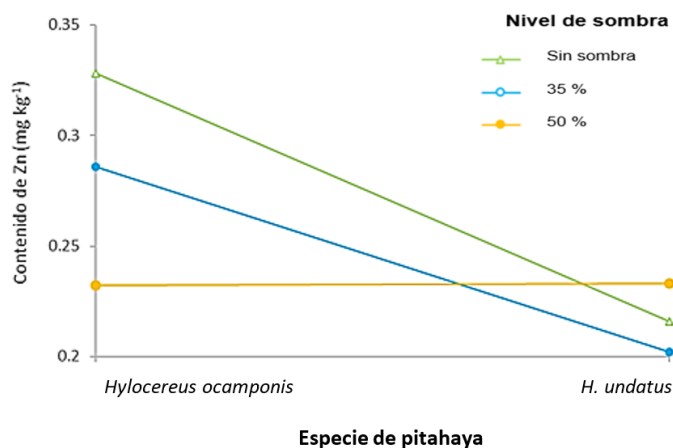
Apéndices 7. Efecto de la interacción sombra por aplicación de lombricomposta a diferentes pH de suelo (A) y de la interacción especie por sombra (B) sobre la concentración de fósforo en tallos de pitahaya (*Hylocereus* spp.).



Apéndices 8. Efecto de diferentes niveles de sombra (A) y aplicación de lombricomposta a diferentes pH de suelo (B) sobre la concentración de magnesio en tallos pitahaya (*Hylocereus* spp.).



Apéndices 9. Efecto de la interacción sombra por aplicación de lombricomposta a diferentes pH de suelo (A) y de la interacción especie por sombra (B) sobre la concentración de hierro en tallos de pitahaya (*Hylocereus* spp).



Apéndices 10. Efecto de la interacción especie por sombra sobre la concentración de zinc en tallos de pitahaya (*Hylocereus* spp).

**VI. CRECIMIENTO Y COMPUESTOS BIOQUÍMICOS EN
PLANTA DE PITAHAYA (*Hylocereus ocamponis* y *H. undatus*)
AL SOMBREADO Y A LA FERTILIZACIÓN CON
LOMBRICOMPOSTA**

CRECIMIENTO Y CARACTERÍSTICAS BIOQUÍMICAS EN PLANTA DE PITAHAYA (*Hylocereus ocamponis* y *H. undatus*) AL SOMBREADO Y A LA FERTILIZACIÓN CON LOMBRICOMPOSTA

RESUMEN

La pitahaya (*Hylocereus* spp.) pertenece al grupo de las plantas MAC (Metabolismo del Ácido Crasuláceo). Actualmente, esta cactácea ha sido motivo de atención comercial por el agradable sabor que tienen sus frutos. Sus frutos poseen alto valor nutricional y potencial nutraceutico. En regiones áridas y semiáridas, la pitahaya representa una de las especies con alto potencial de adaptación, económico y social. Sin embargo, existe poca información sobre las condiciones de manejo agronómico que permitan hacer posible que estas especies expresen su potencial productivo. Por tal motivo, el objetivo de esta investigación fue conocer el efecto del sombreado (sin sombra, 35 y 50 %) y aplicación de lombricomposta en suelo con diferente pH (6.2 y 8.0), sobre el crecimiento, contenido de pigmentos fotosintéticos y características bioquímicas de *Hylocereus ocamponis* y *H. undatus*. Las plantas se mantuvieron en invernadero y se aplicaron 18 tratamientos cuando las pitahayas enraizaron, producto de la combinación de los factores: especie, sombra y fertilización (aplicación de lombricomposta en suelos con diferente pH). La especie *H. undatus* mostró mayor adaptación al nivel de intensidad de radiación solar, logrando expresar su máximo potencial de desarrollo en condiciones de cultivo sin sombra y con 35 % de sombra; en cambio, *H. ocamponis* mostró un mayor desarrollo, producción de brotes vegetativos, contenido de clorofilas y acumulación de biomasa fresca con 35 % de sombra. El cultivo sin sombra de *H. ocamponis* puede tener un efecto negativo sobre su productividad fotosintética, debido a la sensibilidad de esta especie a la fotoinhibición. El cultivo de pitahaya con 50 % de sombra afectó el desarrollo de la planta y ocasionó menores valores de los pigmentos fotosintéticos, acumulación de azúcares solubles, acidez y compuestos fenólicos.

Palabras clave: *Hylocereus ocamponis* y *H. undatus*, porcentaje de sombra, pH del suelo, pigmentos fotosintéticos, azúcares, acidez titulable y fenoles solubles.

¹ Tesis de Doctorado en Ciencias, en Horticultura, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Lyzbeth Hernández Ramos

Director de Tesis: Dra. María del Rosario García Mateos

GROWTH AND BIOCHEMICAL CHARACTERISTICS IN PITAHAYA PLANT (*Hylocereus ocamponis* and *H. undatus*) IN RESPONSE TO SHADING AND VERMICOMPOST FERTILIZATION

ABSTRACT

Pitahaya (*Hylocereus* spp.) belongs to the group of CAM plants (Crassulacean acid metabolism). Recently, this cactacea has been the target of commercial attention due to the pleasant taste of their fruits. This fruit has high nutritional and nutraceutical value. In arid and semi-arid regions, pitahaya represents one of the species with high potential for adaptation, economic and social. However, there is little information on the agronomic management conditions that allow these species to express their productive potential. For this reason, the objective of this research was to know the effect of shading (without shade, 35 and 50 %) and application of vermicompost in soil with different pH (6.2 and 8.0), on the growth, photosynthetic pigment content and biochemical characteristics of *Hylocereus ocamponis* and *H. undatus*. The plants were kept in a greenhouse and 18 treatments were applied when the pitahaya was rooted, product of the combination of factors: species, shade, and fertilization (application of vermicompost in soils with different pH). The species *H. undatus* showed greater adaptation to the level of intensity of solar radiation, being able to express its maximum potential of development in conditions of cultivation without shade and with 35 % of shade; on the other hand, *H. ocamponis* grown under 35 % shade showed a greater development, production of vegetative shoots, chlorophyll content and accumulation of fresh biomass. Zero-shade *H. ocamponis* cultivation, without shade, may have a negative effect on its photosynthetic productivity, due to the sensitivity of this species to photoinhibition. Pitahaya grown under 50 % shade affected the development of the plant and caused lower values of photosynthetic pigments, accumulation of soluble sugars, acidity, and phenolic compounds.

Keywords: *Hylocereus ocamponis* and *H. undatus*, percentage of shade, soil pH, photosynthetic pigments, sugars, titratable acidity, and soluble phenols.

¹Doctoral Thesis in Science, in Horticulture, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo

Author: Lyzbeth Hernández Ramos

Advisor: Dra. María del Rosario García Mateos

1. INTRODUCCIÓN

La pitahaya (*Hylocereus* spp.), “tuna tasaja” o “fruta del dragón”, es una planta que pertenece a la familia Cactaceae, que comprende aproximadamente entre 16-18 especies de cactáceas nativas de México, Centro América y Sudamérica (García-Rubio et al., 2015; Mercado-Silva, 2018); sin embargo, su adaptabilidad a diversas condiciones edafoclimáticas ha permitido su cultivo en diferentes países (India, Israel, Tailandia, Taiwan, Vietnam, China, Estados Unidos, entre otros) (Hernández-Ramos et al., 2020). En México, la pitahaya se encuentra en 11 de las 14 provincias biogeográficas y, del total de especies conocidas, al menos 50 % se distribuyen en su territorio nacional (García-Rubio et al., 2015).

Las pitahayas son especies clave para su aprovechamiento en ecosistemas áridos y semiáridos, al ser plantas eficientes en el uso del agua por su metabolismo del ácido crasuláceo (MAC) (Mizrahi et al., 2007), alternativa fotosintética que les permite fijar dióxido de carbono (CO₂) y almacenarlo en las vacuolas en forma de ácido málico durante la noche; durante el día, la planta mantiene sus estomas cerrados para reducir pérdida de agua y liberar CO₂ del ácido málico por descarboxilación, el cual se incorpora al ciclo de Calvin para generar azúcares (glucosa). Además, el metabolismo fotosintético MAC, normalmente va asociado con cambios morfológicos como la presencia de órganos fotosintéticos con grandes vacuolas, diseñados para el almacenamiento de agua en estas estructuras celulares (Fonseca-García et al., 2016).

Los frutos de pitahaya son bayas globosas o subglobosas, de sabor dulce y con semillas pequeñas en su pulpa y con epicarpio grueso con brácteas. En México, las tres especies de pitahaya de mayor distribución y aprovechamiento son: *H. undatus* (Haw.) Britton & Rose, especie de epicarpio rojo y mesocarpio blanco, de mayor importancia económica, como cultivo y de exportación; *H. purpusii*, especie de epicarpio y mesocarpio rojo; y *H. ocamponis*, especie endémica poco documentada, que esta tomando

importancia comercial por la pigmentación roja de su pulpa debido al alto contenido de betalaínas (García-Rubio et al., 2015; Hernández-Ramos et al., 2020). En adición, se reconoce que el aprovechamiento ocurre en poblaciones silvestres, cultivos de traspatio y plantaciones intensivas ya bien formadas, siendo común observar que la planta de pitahaya como cultivo se le da poco manejo en relación al riego, fertilización y control de plagas y enfermedades, destacando solo la poda como la principal actividad principal (Manzanero-Acevedo et al., 2014). Aunado a ello, en México predominan las áreas dedicadas al cultivo de la pitahaya sin sombra (1,753 Ha) a cielo abierto (SIAP, 2019), es decir, no existe sombreado natural y tampoco artificial, lo cual podría afectar el desarrollo y el metabolismo de la pitahaya. Algunos autores mencionan un posible efecto de la intensidad de radiación sobre el rendimiento fotosintético de plantas MAC, debido a que influye negativamente en la fijación y reducción del CO₂. En algunas especies de *Hylocereus* se puede presentar una fotoinhibición, así como efectos negativos en el intercambio gaseoso y crecimiento de las partes vegetativas (Andrade et al., 2006; Lüttge, 2004; Raveh et al., 1998); así como la degradación de los pigmentos fotosintéticos, principalmente clorofilas. Lo anterior, podría explicar la baja producción y rendimiento de la pitahaya en México, 6.04 t·ha⁻¹ a cielo abierto (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera & Rural, 2019), en comparación con lo reportado por Mizrahi (2020) y Nguyen (2020) en donde los rendimientos de pitahaya en Israel y Vietman son de 35 t·ha⁻¹ y de 30 a 50 t·ha⁻¹, respectivamente, bajo condiciones de cultivo con fertirriego.

El cultivo de pitahaya podría contribuir al desarrollo agrícola, económico y social de regiones áridas y semiáridas de México, dado su alto potencial de producción y adaptabilidad a condiciones adversas de sequía prolongada (precipitaciones anuales menores a 600 mm) y suelos problemáticos (calcáreos, pedregosos y con pH elevado), factores de estrés abiótico donde los cultivos tradicionales (maíz, frijol, chile, jitomate, entre otros) no han prosperado dado que reducen significativamente el rendimiento de cultivos.

Lo anterior es importante, dado que en México más de 65 % de su territorio se encuentra en condiciones de sequía (xérica, hiperárida, árida, semiárida y subhúmedas secas), regiones con escasa disponibilidad de agua (precipitaciones menores a 600 mm), baja humedad relativa, alta radiación solar, fluctuaciones de temperaturas extremas y alto potencial de evapotranspiración (Becerril-Piña et al., 2015); además, de suelos calcáreos o con altos contenidos de sales que pueden tener su efecto en altos valores de conductividad eléctrica y de pH en el suelo, provocando un efecto negativo en la disponibilidad de nutrimentos para la absorción por los cultivos, y, por ende, un efecto negativo en el crecimiento, desarrollo y producción de la mayoría de las plantas cultivadas.

A pesar de la importancia del cultivo de la pitahaya para México, país que es el centro de origen de varias cactáceas debido a su gran diversidad de especies (Novoa et al., 2015), y de las propiedades nutraceuticas y nutrimentales de los frutos de *Hylocereus*, por sus altos contenidos de ácidos grasos insaturados y diversos metabolitos (ácidos fenólicos, flavonoides, ácido ascórbico, betalaínas y triterpenoides) (Ibrahim et al., 2018); sin embargo, existe poco conocimiento del manejo agronómico que permita que la pitahaya exprese su mayor potencial productivo. En este contexto, el objetivo de la presente investigación fue conocer el efecto del sombreado (sin sombra, 35 y 50 %) y la aplicación de lombricomposta al sustrato como fuente de fertilización, con su respectivo testigo; a dos diferentes pH, 6.2 y 8.0; en el crecimiento, contenido de pigmentos fotosintéticos y características bioquímicas de tallos de dos especies de pitahaya (*Hylocereus ocamponis* y *H. undatus*).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Sitio experimental

El experimento se llevó a cabo en un invernadero de cristal ubicado en la Universidad Autónoma Chapingo (19° 29' 35.7" LN y 98° 53' 7.9" LO y 2,256

m), de julio de 2018 a agosto de 2019. Las plantas de pitahayas se establecieron en tres subparcelas con diferentes niveles de sombreado (con malla sombra): sin sombra, 35 y 50 %. La temperatura ambiental, humedad relativa e intensidad de radiación durante el día y la noche (Cuadro 1), en cada subparcela, se registraron con un data logger HOBO® U12-013 (Burlington, Vermont, EUA).

Las lecturas medias de radiación máxima registradas durante el día fueron de 13,648 luxes ($252.49 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) en la subparcela sin sombra, 6,834 luxes ($126.43 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) en la subparcela con malla sombra de 35 % y 2,901 luxes ($53.67 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) en la subparcela con malla sombra de 50 %. El curso diario de la temperatura, humedad relativa y radiación solar para cada subparcela a diferente nivel de sombra se muestra en el Anexo 1.

Cuadro 1. Intensidad de radiación, temperatura y humedad relativa registrada en el día y la noche durante el cultivo de pitahaya (*Hylocereus* spp.), bajo diferentes niveles de sombra.

Variable	Sin sombra		Subparcela 35 % de sombra		50 % de sombra	
	Diurna	Nocturna	Diurna	Norturna	Diurna	Norturna
IR (luxes)	6,737.4	63.9	3,201.2	20.6	2,173.1	41.2
T _μ (°C)	29.4	15.6	30.3	16.0	29.7	15.4
T _{mín} (°C)	10.3	8.1	11.7	9.0	10.8	8.7
T _{máx} (°C)	42.3	26.3	42.5	25.1	41.3	25.0
HR (%)	33.5	60.8	32.7	59.8	33.6	61.1

Los datos son el promedio de 11 500 lecturas. IR: intensidad de radiación, T_μ: temperatura media, T_{mín}: temperatura mínima, T_{máx}: temperatura máxima, HR: humedad relativa.

2.2. Material vegetal y sustrato

Se utilizaron plantas de dos especies de pitahaya (*Hylocereus ocampensis* y *H. undatus*), las cuales previamente se enraizaron en bolsas de plástico utilizando suelo como sustrato. Primero, se obtuvieron esquejes de ambas especies, de aproximadamente 38 ± 1 cm de longitud, procedentes de la comunidad de Molcaxac, estado de Puebla, México.

Los esquejes se desinfectaron por inmersión con 3 g L⁻¹ de oxiclورو de cobre, dejándolos deshidratar y cicatrizar en sombra por siete d; posteriormente 5 cm de longitud en la porción basal de los esquejes fueron sumergidos en enraizador comercial en polvo Radix 1500® (ácido indol-3-butírico al 0.15 %) e inmediatamente fueron plantados en bolsas de polietileno negro de 10 L de capacidad con una mezcla de suelo conformado por tierra negra obtenida en el monte y tierra compuesta por más de 50 % de hojas secas de árboles, en una relación 1:1 (v/v). A los dos meses de establecidos, se logró tener plantas (tallos) con un sistema de raíces delgadas y abundantes de más de 30 cm de longitud. El suelo utilizado presentó una textura franco (33.5, 28.0 y 38.5 % de arena, limo y arcilla, respectivamente y de acuerdo con el análisis químico previo del suelo, los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 2; la interpretación de los resultados se realizó utilizando valores de referencia de Castellanos et al. (2000).

Cuadro 2. Propiedades químicas, físicas y cantidad de elementos minerales como nutrimentos en la mezcla de suelo de tierra negra de monte: tierra compuesta con más de 50 % de hoja seca, utilizado en el experimento.

Variable	Resultado	Interpretación
pH	6.20	Moderadamente ácido
Materia orgánica (%)	7.60	Muy alto
Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	0.30	Bajo
N-NO ₃ (mg kg ⁻¹)	11.20	Medio
P (mg kg ⁻¹)	6.90	Bajo
K (mg kg ⁻¹)	91.20	Muy bajo
Ca (mg kg ⁻¹)	796	Moderadamente bajo
Fe (mg kg ⁻¹)	45.10	Alto
Mg (mg kg ⁻¹)	102	Moderadamente bajo
Cu (mg kg ⁻¹)	0.62	Moderadamente bajo
Zn (mg kg ⁻¹)	1.20	Moderadamente bajo
Mn (mg kg ⁻¹)	2.50	Bajo
B (mg kg ⁻¹)	0.30	Muy bajo
Na (mg kg ⁻¹)	31.60	Moderadamente bajo
Al (mg kg ⁻¹)	7.40	Muy bajo
S (mg kg ⁻¹)	29.90	Muy alto
CIC (meq 100g ⁻¹)	5.26	Bajo
Carbonatos totales (%)	0.01	Libre

2.3. pH del sustrato

Se trabajó con diferente pH de sustrato: 1) sustrato con pH original del suelo utilizado para las macetas (pH 6.2) y 2) macetas con suelo con pH ajustado aproximadamente a 8, con el fin de alcanzar un pH alcalino similar al del suelo del huerto de pitahaya de Molcaxac, Puebla (pH 8.2). Cada semana se verificó el pH de las macetas, la medición se realizó de manera directa en el sustrato con un potenciómetro para suelo (pH Tester, Hanna GroLine HI981030, Woonsocket, USA). Las macetas con pH alcalino se ajustaron con CaO (cal agrícola), para lo cual cada semana se regó las macetas de pH alcalino con dos litros de una solución de CaO (6 g L^{-1}).

2.4. Aplicación de lombricomposta

En esta investigación se utilizó lombricomposta de estiércol de ovino, proporcionada por productores de pitahaya de Molcaxac, Puebla, México, dado que es el fertilizante orgánico que actualmente utilizan para esta especie como cultivo. El análisis de la calidad de la lombricomposta se presenta en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Características químicas de la lombricomposta utilizada en los tratamientos del experimento.

pH	CE (dS m^{-1})	Humedad (%)	MO (%)	Cenizas (%)	C orgánico (%)	Relación C/N
8.35	3.10	49.20	57.60	42.40	33.40	13.90
N total (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	S (%)
2.41	0.32	0.71	7.70	0.65	0.09	0.39
Fe (mg kg^{-1})	Cu (mg kg^{-1})		Mn (mg kg^{-1})	Zn (mg kg^{-1})	B (mg kg^{-1})	
3362	24.38		182	103	93.2	

CE: conductividad eléctrica, MO: materia orgánica. Los resultados son expresados en base seca.

Los resultados de los análisis químicos del suelo y de la lombricomposta se consideraron para definir la cantidad de composta a aplicar: planta en maceta con suelo con pH = 6.2 y sin aplicación de lombricomposta (testigo), planta en maceta con suelo con pH = 6.2 y aplicación de 3 kg de lombricomposta, y planta en maceta con suelo con pH ajustado a 8.2 y aplicación de 3 kg de lombricomposta. La aplicación de lombricomposta se fraccionó en tres aplicaciones al año (octubre de 2018, enero y mayo de 2019).

2.5. Tratamientos, diseño y unidad experimental

Las plantas de pitahaya fueron establecidas bajo un sistema de tutorado de espaldera con postes y alambres de acero inoxidable, a una distancia de 0.5 m entre plantas y 1.2 m entre hileras. Se estableció un diseño experimental en parcelas subdivididas con 18 tratamientos con cuatro repeticiones (Cuadro 4).

Cuadro 4. Tratamientos aplicados bajo un diseño de parcelas subdivididas, considerando tres factores: especies de *Hylocereus*, nivel de sombra y aplicación de lombricomposta.

T	Especie	Sombra	Lombricomposta	Fertilización		pH final del suelo
				pH inicial del suelo	Aplicación CaO	
T1	<i>H. ocamponis</i>	Sin sombra	Sin aplicación	6.2	No	6.2
T2	<i>H. ocamponis</i>	Sin sombra	3 kg	6.2	No	6.2
T3	<i>H. ocamponis</i>	Sin sombra	3 kg	6.2	Sí	8.0
T4	<i>H. undatus</i>	Sin sombra	Sin aplicación	6.2	No	6.2
T5	<i>H. undatus</i>	Sin sombra	3 kg	6.2	No	6.2
T6	<i>H. undatus</i>	Sin sombra	3 kg	6.2	Sí	8.0
T7	<i>H. ocamponis</i>	35 %	Sin aplicación	6.2	No	6.2
T8	<i>H. ocamponis</i>	35 %	3 kg	6.2	No	6.2
T9	<i>H. ocamponis</i>	35 %	3 kg	6.2	Sí	8.0
T10	<i>H. undatus</i>	35 %	Sin aplicación	6.2	No	6.2
T11	<i>H. undatus</i>	35 %	3 kg	6.2	No	6.2
T12	<i>H. undatus</i>	35 %	3 kg	6.2	Sí	8.0
T13	<i>H. ocamponis</i>	50 %	Sin aplicación	6.2	No	6.2
T14	<i>H. ocamponis</i>	50 %	3 kg	6.2	No	6.2
T15	<i>H. ocamponis</i>	50 %	3 kg	6.2	Sí	8.0
T16	<i>H. undatus</i>	50 %	Sin aplicación	6.2	No	6.2
T17	<i>H. undatus</i>	50 %	3 kg	6.2	No	6.2
T18	<i>H. undatus</i>	50 %	3 kg	6.2	Sí	8.0

Donde T = tratamiento

La unidad experimental consistió en una planta por maceta (tallo) de pitahaya. La parcela grande consistió en la especie de pitahaya (*H. ocamponis* y *H. undatus*). La parcela mediana fue el nivel de de sombra, con tres subparcelas: sin sombra, 35 y 50 % de sombra, para lo cual se usó malla sombra negra de monofilamentos de polietileno de alta densidad. Las condiciones de aplicación de lombricomposta se consideraron como la parcela chica. Todos los tratamientos se regaron una vez por semana, saturando las macetas de agua potable.

2.6. Variables evaluadas

Las variables se registraron a los 12 meses después del establecimiento de la pitahaya en maceta. En primer lugar, de las plantas de cada tratamiento se registró el grosor (cm) y número de brotes; así como, el crecimiento (cm planta⁻¹). Posteriormente, se realizó una poda severa en las plantas de pitahaya, dejando solo el tallo principal. Se registró el peso fresco (g) de la totalidad de brotes y/o tallos retirados con la poda por tratamiento, mediante una balanza electrónica (Scout Pro SP2001 Ohaus®, USA). Luego, el material vegetal por tratamiento fue secado en un horno de aire forzado Binder® (Tuttlingen, Alemania), a 65 °C hasta peso constante y se registró la biomasa acumulada expresada como peso seco (g) de la totalidad del material vegetal seco por tratamiento. Los tallos secos fueron molidos en un molino Thomas-Wiley Mill (Model 4, Thomas Scientific, USA) y fueron utilizados para el análisis nutrimental y determinación del contenido de clorofilas totales, de acuerdo con los siguientes métodos:

Acidez titulable. La acidez se determinó apartir de muestras frescas obtenidas a las ocho de la mañana. La acidez de los tallos podados por tratamiento se determinó utilizando la técnica descrita por la AOAC (2005). Los resultados se expresaron como porcentaje de ácido málico.

Azúcares solubles totales (AST). Se determinaron por el método de antrona descrito por Witham et al. (1971). Las lecturas se realizaron a 600

nm en un espectrofotómetro Thermo Spectronic® modelo Genesys 10 UV (New York, EUA). La concentración de azúcares se estimó a partir de una curva estándar de glucosa ($y = 0.0044x + 0.0174$, $R^2 = 0.992$).

Proteína cruda. El porcentaje de proteína se determinó mediante el método descrito por la AOAC (2005).

Almidón total. El contenido de almidón se cuantificó de acuerdo al método descrito por Vázquez-Martínez et al. (2015), a partir del residuo vegetal de la extracción alcohólica de azúcares. El residuo fue suspendido con 10 mL de agua destilada y se llevó a ebullición durante 20 min. Después, a la suspensión se le agregó 5 mL de la enzima α -amilasa a 1 % (Merck®, Alemania) y se colocó en baño María a 55 °C durante una hora. La mezcla se filtró y midió su volumen. Posteriormente se tomó una alícuota de 10 mL y se le agregó 5 mL de HCl 1.125 N, se colocaron en baño María durante 2.5 h. Transcurrido el tiempo, se dejó enfriar la mezcla, se neutralizó con NaOH al 40 % y se registró el volumen final. Por último, con esta solución se cuantificaron los azúcares solubles totales por el método de antrona descrito por Witham et al. (1971).

Contenido de clorofilas totales y carotenoides. La concentración de clorofila a (Cla), clorofila b (Clb), clorofilas totales (CT) y carotenoides se determinaron por extracción con acetona a 80 % (v/v) en penumbra, de acuerdo a lo descrito por Lichtenthaler (1987). Los resultados se expresaron en miligramos (mg) por 100 g de peso fresco ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1} \text{ p. f.}$).

Cuantificación de flavonoides. Se preparó un extracto metanólico, para lo cual se mezcló 1 g de tallo molido con 10 mL de metanol a 80 % (v/v). La mezcla se homogeneizó mediante agitación en un vortex, se sonicó por 10 min a temperatura ambiente, la extracción se realizó dos veces con el mismo residuo. El extracto se guardó en refrigeración hasta su análisis. Se preparó una mezcla con 0.5 mL de extracto metanólico, 1.5 mL de etanol a 95 % (v/v), 0.1 mL de solución de AlCl_3 a 10 % (p/v), 0.1 mL de solución de CH_3COOK (1 M) y 2.8 mL de agua destilada. La mezcla se incubó por 30

min. Posteriormente, la absorbancia se determinó a 415 nm en un espectrofotómetro Thermo Spectronic® modelo Genesys 10 UV (New York, EUA). La concentración de los flavonoides se determinó a partir de una curva estándar de quercetina ($y = 0.006x - 0.0026$; $R^2 = 0.996$). Los resultados se expresaron en miligramos (mg) equivalentes de quercetina por 100 g de peso fresco ($\text{mg EAG} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ p. f.}$).

Cuantificación de compuestos fenólicos solubles totales. La cuantificación de estos metabolitos se realizó de acuerdo al método descrito por Singleton y Rossi (1965), a partir del extracto metanólico elaborado para la cuantificación de flavonoides. Las lecturas se realizaron a 760 nm en un espectrofotómetro Thermo Spectronic® modelo Genesys 10 UV (New York, EUA). La concentración de fenoles solubles totales se estimó a partir de una curva estándar de ácido gálico ($y = 0.0011x - 0.0084$; $R^2 = 0.998$). Los resultados se expresaron en miligramos (mg) equivalentes de ácido gálico por 100 g de peso fresco ($\text{mg EAG} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$).

2.7. Análisis estadístico

Todos los datos se expresaron como la media $\pm$ error estándar de cuatro repeticiones. Se realizó un análisis de varianza utilizando un modelo mixto, según el diseño de parcelas subdivididas y comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$), mediante el software SAS 9.2 (SAS Institute). Con el fin de agrupar a los 18 tratamientos con base a las variables evaluadas, se realizó un análisis de conglomerados por observaciones mediante el software Minitab 19.2 (Minitab Inc., EE. UU.). La distancia entre dos conglomerados fue definida mediante el método de vinculación completa y la medición de la distancia entre los centroides de conglomerados fue aplicada por eucladiana cuadrada. Por último, con el objetivo de identificar y cuantificar la asociación lineal entre los grupos de variables bioquímicas y variables edafoclimáticas, se desarrolló un análisis de correlación canónica con ayuda del software SAS 9.2.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Crecimiento y producción de brotes

El crecimiento de las plantas de pitahaya se vio afectado solo por la interacción especie×sombra ($P \leq 0.05$, Apéndice 2), lo que confirmó que cada especie taxonómica responde diferente a una misma condición, dependiendo del medio en donde se ha desarrollado de forma natural. La especie *H. ocamponis* cultivada con malla sombra de 35 % presentó mayor crecimiento de sus tallos principales y número de tallos producidos; en contraste, no se encontraron diferencias estadísticas entre el crecimiento de los tallos de *H. undatus* cultivada sin sombra y con malla sombra con 35 % (Cuadro 5, Figura 1). El cultivo de pitahaya con 50 % de sombra ocasionó una disminución del crecimiento en ambas especies (Figura 1), por lo que la longitud de sus tallos principales fue menor en un 35 % en *H. ocamponis* y en un 41 % en *H. undatus*, con respecto a los valores obtenidos con los otros niveles de intensidad de radiación. Al respecto, son pocos los estudios sobre el efecto del sombreado en el desarrollo de las diferentes especies de *Hylocereus*. Raveh et al. (1998) reportaron mayor respuesta de crecimiento en *H. polyrhizus* cultivada con 30 % de sombra; en cambio, en *H. undatus* se ha reportado mayor crecimiento de los tallos con 40 % a 60 % de sombra (Andrade et al., 2006). La diferente capacidad de adaptación de las especies y cultivares de *Hylocereus* a distintos niveles de sombreado puede deberse a las características anatómicas y fisiológicas de las células y tejidos de las diferentes especies taxonómicas, como se ha reportado en diversas plantas MAC, como es la presencia de hipodermis, el aumento de cera epidérmica y estomas hundidos en la epidermis con el fin de adaptarse a los diferentes niveles de la intensidad de la radiación solar (Lüttge, 2004). En el presente estudio, la inhibición del crecimiento a 50 % de sombra pudo deberse a que la insuficiente radiación solar ocasionó insuficiente cantidad de los pigmentos fotosintéticos tales como las clorofilas, carotenos, y otros de menos importancia, y por ende, posibles menores tasas de fotosíntesis. El

crecimiento de la planta depende de la biomasa acumulada a través de la fotosíntesis y durante este proceso existe una alta demanda de fotoasimilados (Behling et al., 2015).

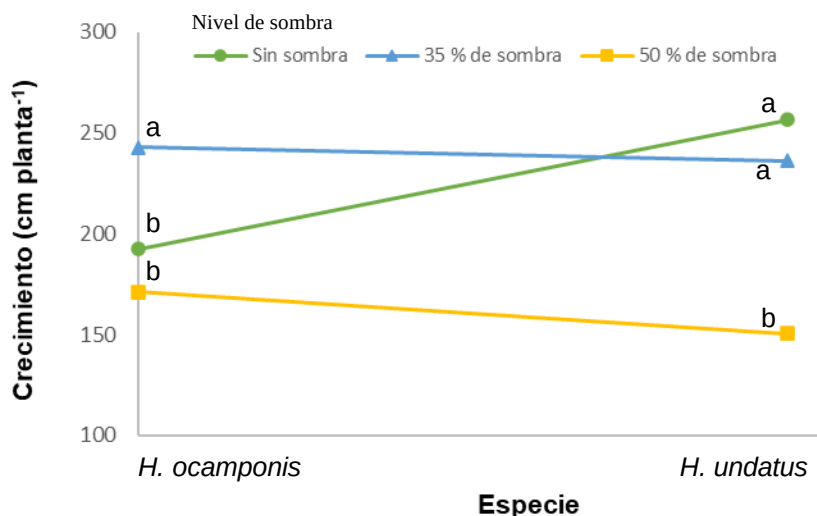


Figura 1. Efecto de la interacción especie por sombra sobre el crecimiento de tallos de dos especies de pitahaya (*Hylocereus ocamponis* y *H. undatus*). Los valores se expresan como la media. Letras diferentes, en la misma especie, indican diferencias estadísticamente significativas (Tukey ≤ 0.05).

En el caso del tratamiento sin sombra, el menor desarrollo de brotes vegetativos y crecimiento de tallos en *H. ocamponis* (Cuadro 5), pudo ocasionarse a que, en lugar de manifestar un mayor desarrollo, la radiación solar indujo una mayor cantidad de carbohidratos y, en consecuencia, una mayor cantidad de materia y peso seco total (datos no mostrados). Respecto al número de tallos secundarios desarrollados y peso fresco, las plantas de *H. undatus* presentaron los mayores valores con relación a la especie *H. ocamponis* (Cuadro 5); sin embargo, el peso fresco se vio afectada solo por dos de los tres factores evaluados (sombra y fertilización, Apéndice 3), sin interacción significativa entre factores ($P > 0.05$). El peso fresco fue menor en plantas cultivadas con 50 % de sombra y sin aplicación de lombricomposta, con respecto a los otros tratamientos. La acumulación de biomasa en la planta posiblemente dependió de la eficiencia de conversión de radiación

fotosintéticamente activa en fotoasimilados (Behling et al., 2015) y del suministro de nutrientes en la planta.

Cuadro 5. Crecimiento, número de tallos producidos y biomasa acumulada en dos especies de pitahaya (*Hylocereus ocamponis* y *H. undatus*) cultivadas bajo diferentes niveles de sombra y aplicación de lombricomposta a diferentes pH de suelo.

TRATAMIENTOS							
Especie	S	Fertilización		Crecimiento (cm planta ⁻¹)	Tallos producidos (número planta ⁻¹)	Peso fresco acumulado (g)	
		pH final del suelo	Cantidad de lombricomposta				
T1	<i>H. ocamponis</i>	SS	6.2	SA	179.3 ± 46.5 bc	4 ± 2	307.1 ± 46.1 abc
T2	<i>H. ocamponis</i>	SS	6.2	3 kg	188.9 ± 27.8 bc	4 ± 1	387.9 ± 22.9 abc
T3	<i>H. ocamponis</i>	SS	8.0	3 kg	209.0 ± 78.6 abc	3 ± 1	479.2 ± 79.9 abc
T4	<i>H. undatus</i>	SS	6.2	SA	239.0 ± 42.8 ac	9 ± 1	459.0 ± 50.8 abc
T5	<i>H. undatus</i>	SS	6.2	3 kg	305.6 ± 126.6 ac	7 ± 2	625.1 ± 81.5 a
T6	<i>H. undatus</i>	SS	8.0	3 kg	277.2 ± 79.2 ac	7 ± 1	606.0 ± 162.3 ab
T7	<i>H. ocamponis</i>	35 %	6.2	SA	225.3 ± 97.0 abc	7 ± 3	344.6 ± 60.0 abc
T8	<i>H. ocamponis</i>	35 %	6.2	3 kg	258.2 ± 51.2 ac	5 ± 1	539.5 ± 44.4 abc
T9	<i>H. ocamponis</i>	35 %	8.0	3 kg	271.9 ± 84.6 ac	5 ± 1	461.6 ± 85.5 abc
T10	<i>H. undatus</i>	35 %	6.2	SA	247.1 ± 39.8 ac	6 ± 1	403.3 ± 49.4 abc
T11	<i>H. undatus</i>	35 %	6.2	3 kg	218.5 ± 92.8 abc	6 ± 2	508.5 ± 144.8 abc
T12	<i>H. undatus</i>	35 %	8.0	3 kg	243.3 ± 87.8 ac	6 ± 1	617.5 ± 67.3 a
T13	<i>H. ocamponis</i>	50 %	6.2	SA	157.3 ± 26.1 bc	3 ± 0	187.9 ± 31.2 c
T14	<i>H. ocamponis</i>	50 %	6.2	3 kg	190.9 ± 49.6 abc	4 ± 1	206.3 ± 34.2 c
T15	<i>H. ocamponis</i>	50 %	8.0	3 kg	170.4 ± 31.6 bc	4 ± 1	214.4 ± 12.6 c
T16	<i>H. undatus</i>	50 %	6.2	SA	159.2 ± 75.0 bc	3 ± 1	236.8 ± 63.7 c
T17	<i>H. undatus</i>	50 %	6.2	3 kg	143.3 ± 46.8 b	5 ± 1	232.4 ± 38.2 c
T18	<i>H. undatus</i>	50 %	8.0	3 kg	148.5 ± 22.9 b	5 ± 0	247.5 ± 30.8 bc

S: Sombra, SS: Sin sombra, SA: Sin aplicación. Los valores se expresan como la media ± error estándar de cuatro repeticiones. Letras diferentes en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey ≤ 0.05).

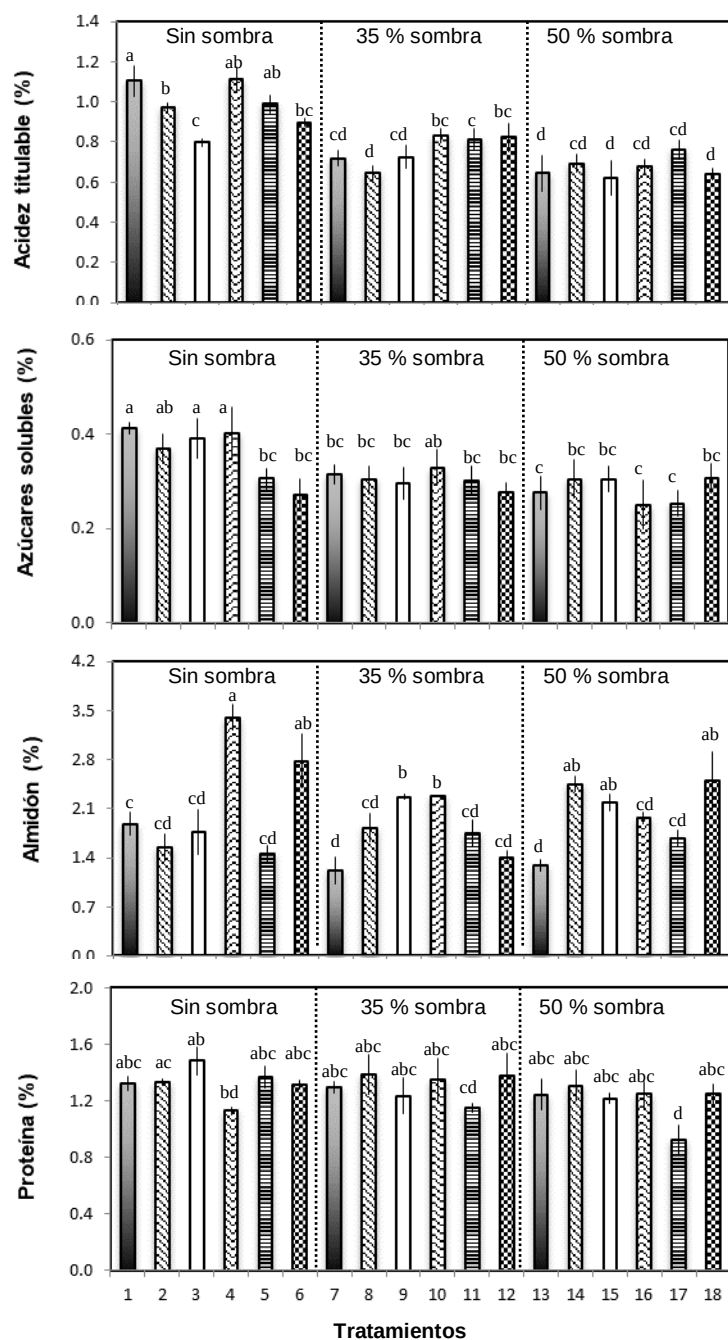
3.2. Acidez

La acidez en los tallos es una variable que proporciona información importante para evaluar la capacidad de fotosíntesis de las plantas a través del metabolismo ácido crasuláceo, ya que la acumulación de ácido málico en las vacuolas esta correlacionado directamente con la asimilación neta del CO₂ durante la noche (Raveh et al., 1998). La acidez de los tallos de *H. ocamponis* y *H. undatus* se vio afectada por la interacción sombra×fertilización (Apendice 2 y 4). Las plantas de *H. ocamponis* y *H. undatus* cultivadas sin sombra y sin aplicación de lombricomposta, correspondientes a los Tratamientos uno y cuatro, presentaron mayor acidez con respecto a los otros tratamientos (Figura 2). En contraste, el contenido

de acidez en *H. ocamponis* y *H. undatus* cultivadas con 50 % de sombra, en suelos con pH 8.0 más aplicación de lombricomposta (Tratamientos 15 y 18), fueron 35.7 % menores a lo encontrado en las plantas cultivadas sin sombra. La lombricomposta fue la fuente de nutrimentos, por lo que las plantas que no se les aplicó lombricomposta presentaron menor suministro mineral requerido para cubrir la demanda nutrimental del cultivo, lo que representó un factor de estrés abiótico para la planta. Se ha reportado mayores concentraciones de ácidos orgánicos en las vacuolas en plantas en condiciones de estrés, dado que la expresión del Metabolismo del Ácido Crasuláceo (MAC) varía en función de diversos factores ambientales, como es la menor intensidad de radiación, fotoperiodo, temperatura, condiciones de sequía y deficiencias nutrimentales en la planta, entre otros (Franco-Salazar & Véliz, 2008; Silvera et al., 2010).

3.3. Acumulación de azúcares solubles

Los azúcares solubles son una importante fuente de carbono y junto con el almidón, son los principales carbohidratos de reserva de las plantas MAC. El contenido de azúcares solubles totales (AST) se vio afectado solo por los niveles de sombra (Apéndice 2 y 5), lo que indicó que la pitahaya responde de manera diferente a la intensidad de radiación. Los tallos de pitahaya cultivados sin sombra presentaron mayor contenido de AST (Figura 2), superiores en 15.5 % en *H. ocamponis* y 21.3 % en *H. undatus*, en comparación con lo encontrado en plantas cultivadas con malla sombra de 35 % y 50 %. Es importante señalar, que aún cuando el cultivo de pitahaya sin sombra presentó concentraciones menores de clorofila, similares a lo encontrado con malla sombra de 50 %; probablemente el mayor contenido de AST fue debido a un aumento en la eficiencia en el uso de la radiación por las clorofilas, lo que pudo ocasionar un aumento en la capacidad fotosintética de la pitahaya cultivada sin sombra, que se refleja en el incremento de la acumulación de productos fotosintéticos como son los ácidos orgánicos, azúcares y almidón.



■ *H. ocamponis*, suelo pH 6.2, sin aplicación de composta ▨ *H. ocamponis*, suelo pH 6.2, con aplicación de lombricomposta
 □ *H. ocamponis*, suelo pH 8.0, con aplicación de lombricomposta ▩ *H. undatus*, suelo pH 6.2, sin aplicación de composta
 ▤ *H. undatus*, suelo pH 6.2, con aplicación de lombricomposta ▦ *H. undatus*, suelo pH 8.0, con aplicación de lombricomposta

Datos expresados como media $\pm$ error estándar. Datos reportados en peso fresco. Diferentes letras indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $P \leq 0.05$).

Figura 2. Cambios en acidez titulable (A), azúcares solubles totales (B), almidón (C) y proteína en tallos de pitahaya (*Hylocereus ocamponis* y *H. undatus*), cultivados bajo diferentes niveles de sombra (sin sombra, 35 y 50 %) y con aplicación de lombricomposta a diferentes pH de suelo (6.2 y 8.0).

3.4. Almidón

El almidón es un carbohidrato de reserva, fundamental es el suministro de carbono para el crecimiento de la planta, mediante la síntesis de sacarosa a partir de este polisacárido. Los diferentes tratamientos evaluados ejercieron efecto en la concentración de almidón (Apéndice 2). De manera general, se observó que las plantas de pitahaya cultivadas sin sombra y con 50 % de sombra presentaron mayor contenido de almidón (Figura 2), posiblemente debido a una menor demanda de fotosintatos para el desarrollo y crecimiento de las plantas que pudo favorecer la biosíntesis de almidón, proceso regulado por el estado de desarrollo de la planta que se favorece en presencia de una reducción en la tasa fotosintética y del crecimiento general de la planta (Tofiño et al., 2006).

3.5. Proteína

El contenido de proteínas en las hojas está relacionado con la fotosíntesis y depende de la intensidad de radiación a la que este expuesta la planta durante su crecimiento (Evans, 1988). El análisis estadístico mostró que ninguno de los factores evaluados (especie, sombra y fertilización), ni la interacción entre ellos (Apéndice 2) tuvieron un efecto significativo en el contenido de proteínas de los tallos ($P > 0.05$), pese a que se ha reportado que el ambiente luminoso durante el crecimiento de las plantas condiciona sus características fotosintéticas, morfológicas y su fisiología (Azcón-Bieto y Talón, 2013).

3.6. Concentración de pigmentos fotosintéticos

La concentración de pigmentos fotosintéticos en pitahaya (Figura 2) fueron afectadas solo por dos (especie y sombra) de los tres factores evaluados (Apéndices 6 y 7), sin interacción significativa entre factores ($P > 0.05$). Los tallos de *H. undatus* presentaron mayor concentración de clorofilas totales (8.3 %) superior a lo observado en *H. ocamponis*. Por

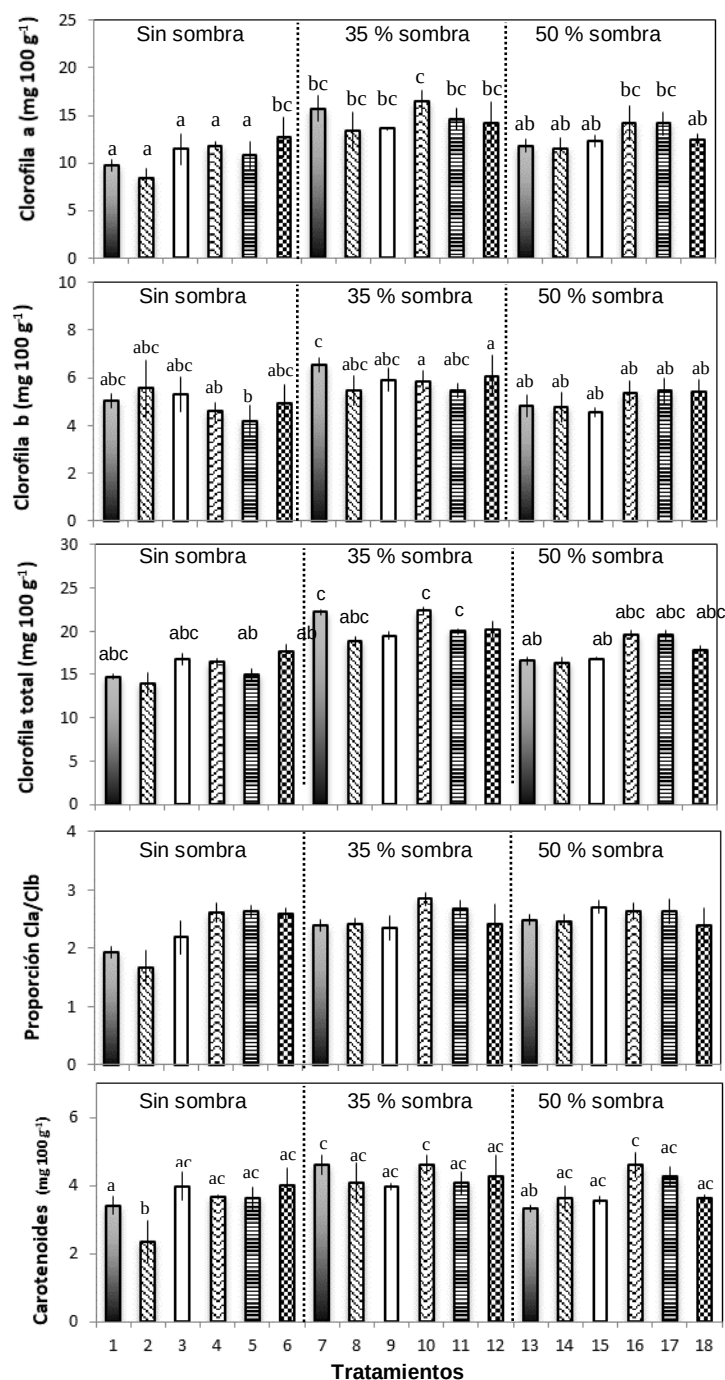
otro lado, la concentración de clorofila a (Cl_a) fue estadísticamente igual entre las plantas cultivadas sin sombra y con 50 % de sombra, pero menores a lo encontrado en pitahaya cultivada a 35 % de sombra. Similar comportamiento al observado en carotenoides (Figura 3), donde los tallos de plantas cultivadas de pitahaya con 35 % de sombra mostraron concentraciones superiores (18 % y 10 %), superiores a lo encontrado sin sombra y con 50 % de sombra, respectivamente.

Las concentraciones de clorofila b (Cl_b) y totales fueron afectadas por el nivel de sombra ($P \leq 0.05$, Apéndice 2), siendo mayores en aquellas plantas cultivadas con 35 % de sombra (Figura 3). El contenido de clorofila es un indicador de la capacidad fotosintética de las plantas, el cual puede presentar una reducción en cuanto a cantidad y calidad de las clorofilas (a y b) en condiciones limitantes de radiación solar.

La disminución en cantidad de las clorofilas a (Cl_a) en aquellas plantas cultivadas sin sombra puede deberse a la degradación de los pigmentos fotosintéticos por la intensidad de la radiación solar, en donde predominan los fotones de luz de onda corta que se caracterizan por poseer mayor energía radiante y éstos tienen la capacidad de degradar todo tipo de pigmento y compuesto orgánico. Las plantas cultivadas con excesiva radiación pueden presentar fotoinhibición que ocasiona daños en el aparato fotosintético al inactivar o dañar el centro de reacción del PSII (Shao et al., 2014), principalmente a los pigmentos fotosintéticos (Cl_a y Cl_b). Lo anterior, coincide con lo reportado por Raveh et al. (1998) y con Andrade et al. (2006), quienes encontraron menor concentración de clorofilas en *H. polyrhizus* y *H. undatus*, respectivamente, cultivadas sin sombra, e indicaron que las plantas de *Hylocereus* puede sufrir fotoinhibición al cultivarse a una densidad de flujo de fotones fotosintéticos (DFFF) mayor a $20 \text{ mol m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ($231.5 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

En cambio, el menor contenido de clorofilas en las pitahayas cultivadas con 50 % de sombra pudo deberse a una deficiencia de luz solar para la biosíntesis de los mismos pigmentos, que el estímulo de la luz solar no es suficiente para la síntesis de las clorofilas, dado que se requiere la presencia de protoclorofilida oxidorreductasa, enzima dependiente de la luz, para convertir la protoclorofilida a clorofila (Taiz y Zeiger, 2002; Wettstein et al., 1995).

La concentración de carotenoides fue mayor en los tallos de *H. undatus*, 11.6 % superior a lo encontrado en *H. ocamponis*. Las plantas cultivadas con 35 % de sombra presentaron mayor concentración de carotenoides (Figura 3), 26 y 13 % mayor a lo encontrado en los tallos de pitahaya cultivadas sin sombra y con 50 % de sombra, respectivamente, aunque es importante aclarar que los carotenoides son pigmentos mucho menos eficientes para la fotosíntesis en relación con las Cl_a y Cl_b. La luz estimula la biosíntesis de carotenoides, pigmentos accesorios en la captación y transporte de la energía luminosa durante la fotosíntesis, que son considerados fotoprotectores al disipar el exceso de energía lumínica (Uarrota et al., 2018).



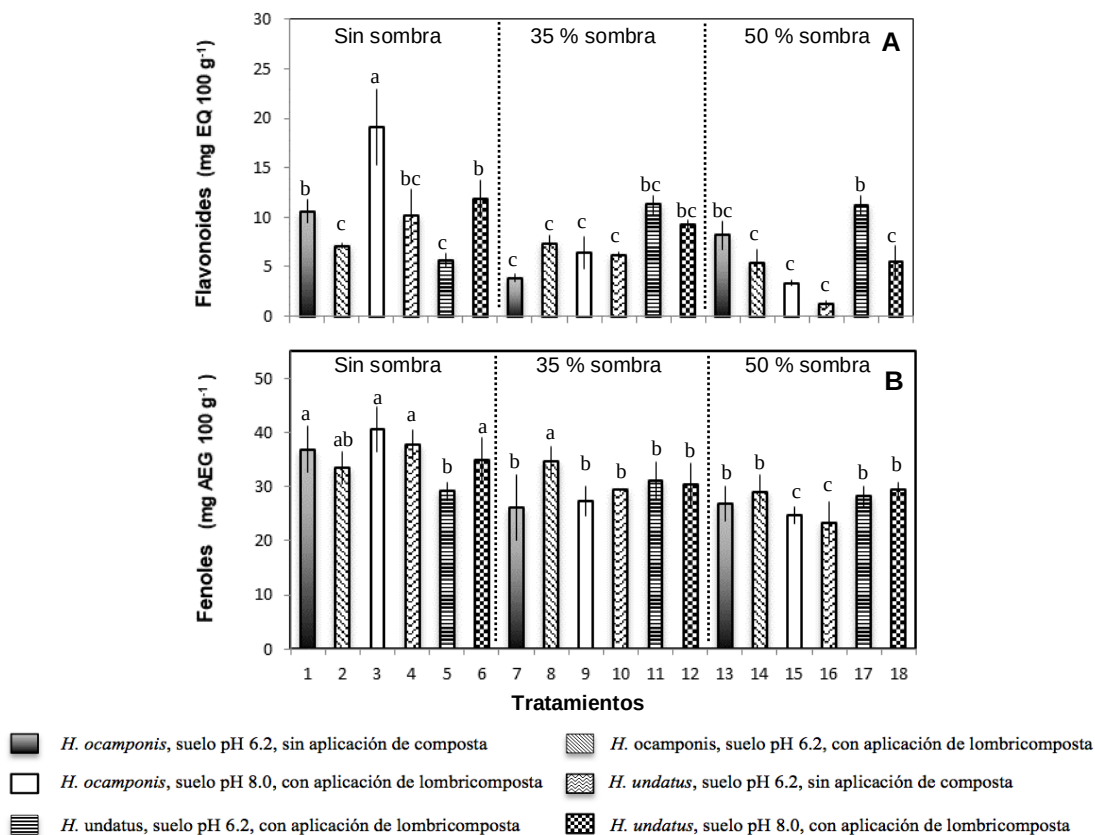
■ *H. ocamponis*, suelo pH 6.2, sin aplicación de composta ▨ *H. ocamponis*, suelo pH 6.2, con aplicación de lombricomposta
 □ *H. ocamponis*, suelo pH 8.0, con aplicación de lombricomposta ▩ *H. undatus*, suelo pH 6.2, sin aplicación de composta
 ▤ *H. undatus*, suelo pH 6.2, con aplicación de lombricomposta ▦ *H. undatus*, suelo pH 8.0, con aplicación de lombricomposta

Datos expresados como media $\pm$ error estándar. Datos reportados en peso fresco. Diferentes letras indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $P \leq 0.05$).

Figura 3. Concentración de clorofila a (A), clorofila b (B), clorofilas totales (C), proporción Cl a / Cl b (D) y carotenoides (E) en tallos de pitahaya (*H. ocamponis* y *H. undatus*), cultivados bajo diferentes niveles de sombra (sin sombra, 35 y 50 %) y con aplicación de lombricomposta a diferentes pH de suelo (6.2 y 8.0).

3.7. Contenido de compuestos fenólicos y flavonoides en tallo

En la naturaleza, al menos 2 % del carbono fotosintetizado por las plantas es convertido en compuestos fenólicos (Robards & Antolovich, 1997). La acumulación de estos metabolitos secundarios juega un papel importante en la defensa contra el estrés abiótico (Robards & Antolovich, 1997). Los flavonoides constituyen un amplio grupo de compuestos fenólicos. Los resultados obtenidos en la concentración de estos fitoquímicos en el tallo de pitahaya se muestran en la Figura 4. De manera general, se observó que las plantas que se cultivaron sin sombra tuvieron mayor contenido de flavonoides y compuestos fenólicos solubles totales (FST) que el resto de los tratamientos con 35 y 50 % de sombra (Apéndice 8).



Datos expresados como media $\pm$ error estándar. Datos reportados en peso fresco. Diferentes letras indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $P \leq 0.05$).

Figura 4. Contenido de flavonoides (A) y compuestos fenólicos solubles totales (B) en tallos de pitahaya (*H. ocamponis* y *H. undatus*), cultivados bajo diferentes niveles de sombra (sin sombra, 35 y 50 %) y con aplicación de lombricomposta a diferentes pH de suelo (6.2 y 8.0).

El contenido de flavonoides se vio afectado por el efecto de tratamientos ($P \leq 0.05$) (Apéndice 2). Las plantas de *H. ocamponis* cultivadas sin sombra en suelo con pH 8.0 y con aplicación de lombricomposta (Tratamiento 3) presentaron mayor concentración de este metabolito secundario (Figura 4), 38 a 90 % superior a lo encontrado en el resto de los otros tratamientos. Respecto a los fenólicos solubles totales (FST), su acumulación se vio afectada solamente por la interacción sombra×aplicación de lombricomposta ($P \leq 0.05$, Apéndice 8). La acumulación de FST se favoreció en plantas cultivadas sin sombra, en suelo con pH 8.0 más aplicación de lombricomposta y sin aplicación, 24 % superior a lo observado en otras condiciones. La inducción de la síntesis de compuestos de defensa en la pared celular, como son diversos tipos de compuestos fenólicos, es la respuesta común de las plantas a factores de estrés abiótico, tales como la deficiencia de nutrimentos en el suelo y la alta intensidad de radiación (Naikoo et al., 2019; Robards & Antolovich, 1997).

La luz favorece la síntesis de compuestos fenólicos, como un mecanismo de tolerancia al estrés foto-oxidativo. La enzima fenilalanina amonio-liasa (PAL) participa en la biosíntesis de estos fitoquímicos, cuya actividad está regulada por la calidad de la luz percibida por los fotorreceptores de la planta (fitocromos y criptocromos) (González et al., 2015). Además, el cultivo de pitahaya en suelo con pH 8.0 puede favorecer el estrés nutrimental en la planta. Los suelos ligeramente a fuertemente alcalinos (pH 7.5 a 8.6 o más) llegan a presentar alto contenido de CaCO_3 y baja disponibilidad de N, P, Fe, B, Mn, Cu y Zn (Bertrand et al., 2003). Se ha demostrado que las deficiencias de N, P y K ocasionan una mayor acumulación de compuestos fenólicos en las plantas, debido a una mayor actividad de la enzima fenilalanina amonio-liasa (PAL) por la disminución de la demanda de proteínas involucradas en el crecimiento de la planta (Kiváčik et al., 2007; Naikoo et al., 2019).

3.8. Agrupamiento de datos con base a tratamientos por similitud

El análisis de conglomerados permitió identificar cinco grupos principales (Figura 5), con tratamientos cuyo efecto fue similar sobre el desarrollo y características bioquímicas de los tallos de pitahaya sometidos a diferentes grados de sombra, pH de los sustratos y aplicación de lombricomposta. El primer conglomerado integró a tres tratamientos (Tratamientos 1, 2 y 3), correspondientes a *H. ocamponis* cultivada sin sombra en suelos con pH 6.2 y 8.0, y con aplicación de lombricomposta y sin aplicación de lombricomposta, con 58.79 % de similitud entre observaciones. Las plantas de este grupo presentaron alto contenido de proteína, azúcares solubles totales, fenoles y flavonoides, y menor contenido de clorofila a, carotenoides, almidón y número de brotes. Por lo que se puede afirmar que el cultivo sin sombra no es idóneo para *H. ocamponis*, dado que la mayor intensidad de radiación tuvo un efecto negativo sobre su productividad fotosintética y crecimiento, debido a la sensibilidad de esta especie a la fotoinhibición.

En segundo lugar, el conglomerado II (66.30 % de similitud) agrupó seis tratamientos: *H. undatus* cultivada sin sombra, en suelos con pH 6.2 y 8.0 y con aplicación de lombricomposta (Tratamientos 5 y 6), y por plantas de *H. ocamponis* y *H. undatus* cultivadas con 35 % de sombra, en suelos con pH 6.2 y 8.0, y con aplicación de lombricomposta (Tratamientos 8, 9, 11 y 12). Este grupo se caracterizó por presentar plantas con mayor desarrollo y acumulación de biomasa. Lo anterior pone de manifiesto la mayor adaptabilidad de *H. undatus* a dos niveles de sombra, que le permitieron expresar un potencial productivo similar al de *H. ocamponis* a 35 % sombra, condición idónea en este experimento para el cultivo de esta especie.

Por otra parte, el conglomerado III solo se integró por plantas de *H. undatus* cultivadas sin sombra, en suelos con pH 6.2 y sin aplicación de lombricomposta; condiciones que ocasionaron menor contenido de clorofila a y clorofila b, y el mayor contenido de compuestos fenólicos y acumulación de almidón para esta especie. Los compuestos fenólicos mostraron una

respuesta sensible a deficiencia de nutrimentos en la planta, lo que indicó que *H. undatus* podrá crecer adecuadamente en condiciones sin sombra solo si tiene un buen manejo nutrimental.

El conglomerado IV, con 88.76 % de similitud, se integró por *H. ocamponis* y *H. undatus* cultivadas con 35 % de sombra en suelo con pH 6.2 y sin aplicación de lombricomposta (Tratamientos 7 y 10). Estas plantas presentaron mayor contenido de clorofilas y los menores contenidos de compuestos fenólicos y almidón, así como poco crecimiento y baja acumulación de biomasa, dado que el suministro de nutrimentos del suelo no garantizó el aporte óptimo para cubrir los requerimientos nutrimentales de la planta de pitahaya, por lo que podría ser necesario complementar la nutrición con la aplicación de fertilizantes naturales para poder lograr la mayor expresión del potencial productivo de estas plantas.

Por último, todas las plantas de *H. ocamponis* y *H. undatus* cultivadas a 50 % de sombra (Tratamientos 13, 14, 15, 16, 17 y 18) integraron el conglomerado V, con 66.79 % de similitud entre observaciones, el cual se caracterizó por tener plantas con menor acumulación de biomasa, azúcares solubles, compuestos fenólicos, acidez y crecimiento. Por lo que no es recomendable el cultivo de estas dos especies de pitahaya con 50 % de sombra.

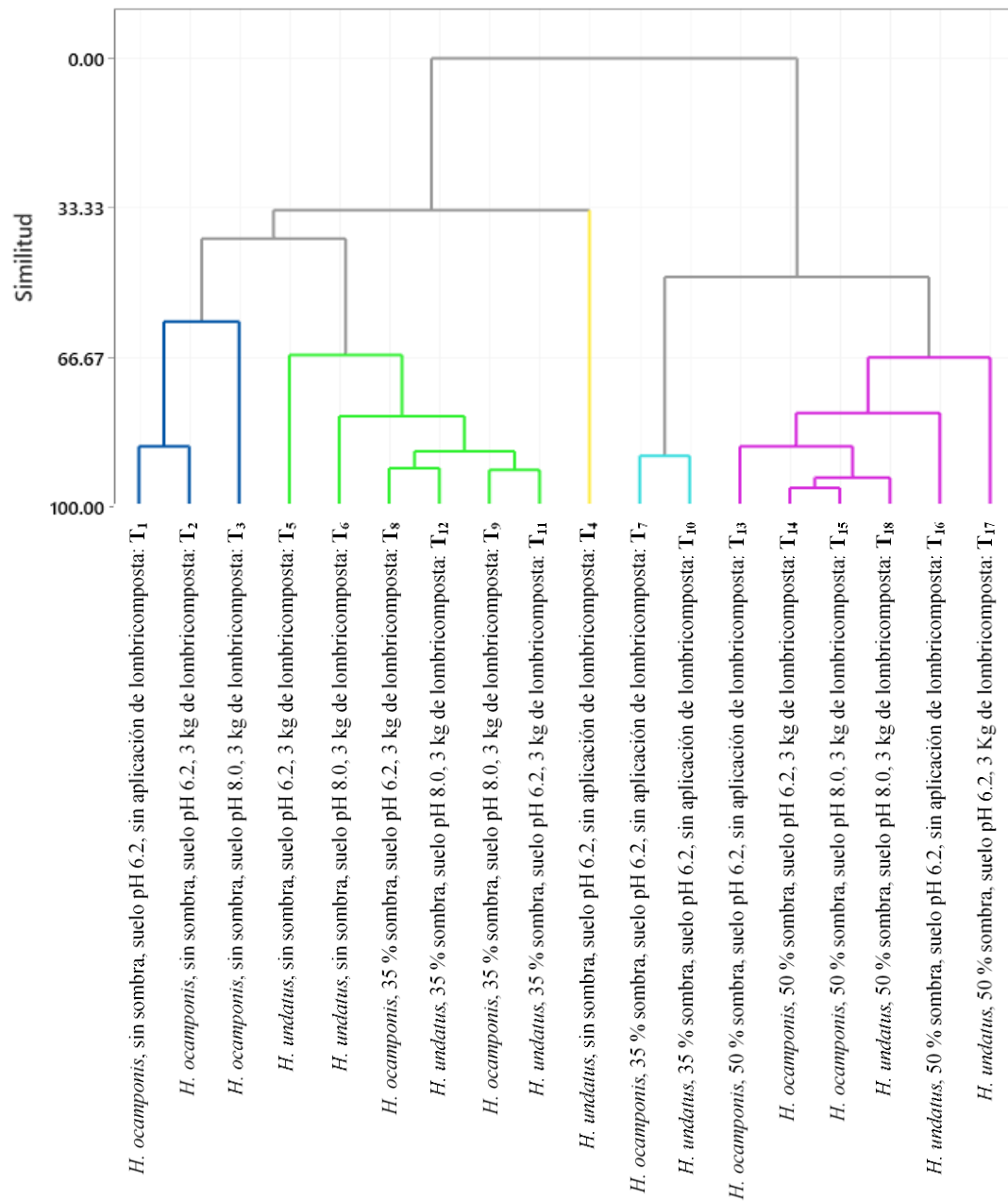


Figura 5. Dendrograma (enlace completo, distancia eucladiana cuadrada) de observaciones agrupadas en función a todas las variables respuesta.

3.9. Correlación canónica

Se empleó el análisis de correlación canónica para determinar la asociación entre los factores edafoclimáticos y las variables bioquímicas de los tallos de pitahaya (Figura 6), encontrándose alta correlación significativa (0.83) en el primer par de variables canónicas (V1: bioquímica y edafoclimáticas). Entre las variables originales bioquímicas, la acidez fue aquella que más contribuyó a conformar la primera variable canónica (V1). Respecto a los factores edafoclimáticos, la temperatura fue la variable original de mayor peso en la primera variable canónica (U1). Asimismo, se obtuvo que la intensidad de radiación y temperatura máxima estuvieron fuertemente correlacionadas con la variable canónica bioquímica. Lo que sugirió que el cultivo de pitahaya a altas temperaturas ocasionó mayor acumulación de ácido málico en el tallo, dado que se favoreció la expresión del metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM), corroborando y confirmando esta información, que la pitahaya pertenece al grupo de especies que se adaptan bajo condiciones del trópico seco.

El cultivo de pitahaya sin sombra favorece mayores periodos de tiempo con altas temperaturas. La utilización de mallas plásticas para sombrear es una técnica cada vez más utilizada en la producción hortícola, para amortiguar altas temperaturas durante los periodos con alta radiación solar; sin embargo, en el cultivo de pitahaya es común el sombreado natural, por la asociación de este cultivo con otras especies, principalmente de leguminosas (mezquite (*Prosopis laevigata*), pitaya (*Stenocereus* spp.), guaje (*Leucaena leucocephala*), chacá (*Bursera simaruba*), entre otros) que fungen como tutor “vivo” y proporcionan sombra natural al cultivo. Por lo cual, es recomendable realizar más estudios sobre el efecto del sombreado, dado que la mayoría de los estudios previos sobre la respuesta de la pitahaya al sombreado se han centrado principalmente en el sombreado artificial (mallas plásticas). El

sombreado natural puede ocasionar diferente respuesta fotosintética en la planta, dado que en estas condiciones no solo cambia la intensidad de radiación, también puede cambiar el espectro de luz y elevar la humedad relativa del ambiente.

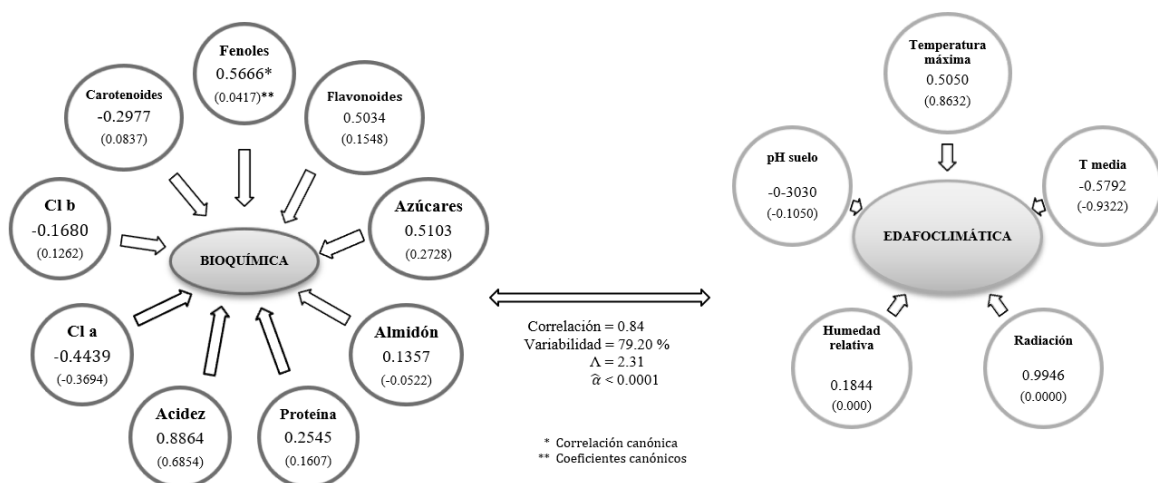


Figura 6. Correlación canónica entre el primer par de variables canónicas (V1: bioquímica y U1: edafoclimática) y la correlación simple con sus respectivas variables originales: características bioquímicas del tallo de pitahaya y condiciones edafoclimáticas durante su cultivo.

4. CONCLUSIONES

Las distintas condiciones de sombra y aplicación de lombricomposta afectaron el desarrollo, contenido de pigmentos fotosintéticos y características bioquímicas de los tallos de *Hylocereus ocamponis* y *H. undatus*. La especie *H. undatus* mostró mayor adaptación al nivel de intensidad de radiación solar, logrando expresar su máximo potencial de desarrollo en condiciones de cultivo sin sombra y con 35 % de sombra; en cambio, *H. ocamponis* mostró un mayor desarrollo, producción de brotes vegetativos, contenido de clorofilas y acumulación de biomasa fresca con 35 % de sombra. La reducción del desarrollo, menor concentración de clorofilas y mayor contenido de compuestos fenólicos en *H. ocamponis* cultivada sin

sombra se asocian a la posible fotoinhibición de la fotosíntesis. El mayor contenido de compuestos fenólicos estuvo asociado a la deficiencia de luz solar y nutrimental en la planta. El cultivo de pitahaya con 50 % de sombra afectó el desarrollo de la planta y ocasionó menores valores de los pigmentos fotosintéticos, acumulación de azúcares solubles, acidez y compuestos fenólicos.

5. LITERATURA CITADA

- Andrade, J. L., Rengifo, E., Ricalde, M. F., Simá, J. L., Cervera, J. C., & Vargas Soto, G. (2006). Microambientes de luz, crecimiento y fotosíntesis de la pitahaya (*Hylocereus undatus*) en un agrosistema de Yucatán, México. *Agrociencia*, 40(6), 687–697.
- AOAC (2005). Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemist. EUA. 18th Ed.
- Akram, S., & Mushtaq, M. (2019). Dragon (*Hylocereus megalanthus*) Seed Oil. En *Fruit Oils: Chemistry and Functionality* (pp. 675–689). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-12473-1_36
- Andrade, J. L., Rengifo, E., Ricalde, M. F., Simá, J. L., Cervera, J. C., & Vargas Soto, G. (2006). Microambientes de luz, crecimiento y fotosíntesis de la pitahaya (*hylocereus undatus*) en un agrosistema de Yucatán, México. *Agrociencia*, 40(6), 687–697. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30240601>
- Anónimo. (2020). Impulsa Puebla la producción de pitaya y pitahaya. *Revista Unica*. <https://revistaunica.com.mx/impulsa-puebla-la-produccion-de-pitaya-y-pitahaya/>
- Azcón-Bieto, J., & Talón, M. (2013). Fundamentos de fisiología vegetal. (Segunda). McGraw-Hill - Interamericana de España, Publicacions I Edicions de la Universitat De Barcelona.
- Balois-Morales, R., Peña-Valdivia, C. B., & Arroyo-Peña, V. B. (2013). Symptoms and sensitivity to chilling injury of pitahaya (*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose) fruits during postharvest. *Agrociencia* 47, 795–813.
- Becerril-Piña, R., Mastachi-Loza, C. A., González-Sosa, E., Díaz-Delgado, C., & Bâ, K. M. (2015). Assessing desertification risk in the semi-arid highlands of central Mexico. *Journal of Arid Environments*, 120, 4–13. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.04.006>
- Behling, A., Sanquetta, C. R., Dalla Corte, A. P., Caron, B., Simon, A. A., Behling, M., & Schmidt, D. (2015). Conversion efficiency of photosynthetically active radiation intercepted in biomass in stands of

- black wattle in Brazil. *Bosque (Valdivia)*, 36(1), 61–69.
<https://doi.org/10.4067/S0717-92002015000100007>
- Ben-Arie, R., Sonogo, L., Zeidman, M., & Lurie, S. (1989). Cell Wall Changes in Ripening Peaches. En *Cell Separation in Plants* (pp. 253–262). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-74161-6_24
- Ben-Asher, J., Nobel, P. S., Yossor, E., & Mizrahi, Y. (2006). Net CO₂ uptake rates for *Hylocereus undatus* and *Selenicereus megalanthus* under field conditions: Drought influence and a novel method for analyzing temperature dependence. *Photosynthetica*, 44(2), 181–186.
<https://doi.org/10.1007/s11099-006-0004-y>
- Bienfait, H. F., & Scheffers, M. R. (1992). Some properties of ferric citrate relevant to the iron nutrition of plants. *Plant and Soil*, 143(1), 141–144.
<https://doi.org/10.1007/BF00009139>
- Castellanos Z., J., Uvalle, B., J. X., & Aguilar S., A. (2000). Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Agua. 2ª edición. Ed. Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola. México. 225 p.
- Cervantes, S. E., Graham, E. A., & Andrade, J. L. (2005). Light microhabitats, growth and photosynthesis of an epiphytic bromeliad in a tropical dry forest. *Plant Ecology*, 179(1), 107–118. <https://doi.org/10.1007/s11258-004-5802-3>
- Chandran, S. (2010). effect of film packaging in extending shelf life of dragon fruit, *Hylocereus undatus* and *H. polyrhizus*. *Acta Horticulturae*, 875, 389–394. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.875.49>
- Chen, J.-H., & Barber, S. A. (1990). Soil pH and Phosphorus and Potassium Uptake by Maize Evaluated with an Uptake Model. *Soil Science Society of America Journal*, 54(4), 1032–1036.
<https://doi.org/10.2136/sssaj1990.03615995005400040017x>
- Clark, R. B. (1983). Plant genotype differences in the uptake, translocation, accumulation, and use of mineral elements required for plant growth. En *Genetic Aspects of Plant Nutrition* (pp. 49–70). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-009-6836-3_5
- Esquivel, P., Stintzing, F. C., & Carle, R. (2007). Phenolic Compound Profiles and their Corresponding Antioxidant Capacity of Purple Pitaya (*Hylocereus* sp.) Genotypes. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 62(9–10), 636–644. <https://doi.org/10.1515/znc-2007-9-1003>
- Evans, J. (1988). Acclimation by the Thylakoid Membranes to Growth Irradiance and the Partitioning of Nitrogen Between Soluble and Thylakoid Proteins. *Functional Plant Biology*, 15(2), 93.
<https://doi.org/10.1071/PP9880093>
- Fonseca-García, C., Coleman-Derr, D., Garrido, E., Visel, A., Tringe, S. G., & Partida-Martínez, L. P. (2016). The Cacti Microbiome: Interplay

- between Habitat-Filtering and Host-Specificity. *Frontiers in Microbiology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00150>
- Franco-Salazar, V. A., & Véliz, J. A. (2008). Efectos de la salinidad sobre el crecimiento, acidez titulable y concentración de clorofila en *Opuntia ficus-indica* (L.) MILL. SABER. *Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente*, 20, 12–17. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=427739437003>
- Freitas, S. T. de, & Mitcham, E. J. (2013). Quality of pitaya fruit (*Hylocereus undatus*) as influenced by storage temperature and packaging. *Scientia Agricola*, 70(4), 257–262. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000400006>
- García-Rubio, L. A., Vargas Ponce, O., Ramírez-Mireles, F. D. J., Munguía-Lino, G., Corona-Oceguera, C. A., & Cruz-Hernández, T. (2015). Distribución geográfica de *Hylocereus* (Cactaceae) en México. *Botanical Sciences*, 93(4), 921. <https://doi.org/10.17129/botsci.282>
- Gilman, I. S., & Edwards, E. J. (2020). Crassulacean acid metabolism. *Current Biology*, 30(2), R57–R62. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.11.073>
- Gonçalves, A. F. M., Pinto, S. I. do C., & Corrêa, R. M. (2020). Pitaya (*Hylocereus undatus*) initial growth in function to NPK fertilization. *Revista Agrogeoambiental*, 11(4). <https://doi.org/10.18406/2316-1817v11n420191370>
- González, C. V., Fanzone, M. L., Cortés, L. E., Bottini, R., Lijavetzky, D. C., Ballaré, C. L., & Boccalandro, H. E. (2015). Fruit-localized photoreceptors increase phenolic compounds in berry skins of field-grown *Vitis vinifera* L. cv. Malbec. *Phytochemistry*, 110, 46–57. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2014.11.018>
- Graham, E. A., & Nobel, P. S. (2005). Daily Changes in Stem Thickness and Related Gas Exchange Patterns for the Hemiepiphytic Cactus *Hylocereus undatus*. *International Journal of Plant Sciences*, 166(1), 13–20. <https://doi.org/10.1086/425669>
- Herman, S., Acevedo, E., & Silva, P. (2001). Anatomía del tejido fotosintético de diez taxa de *Opuntia* establecidos en el secano árido mediterráneo de Chile. *Revista chilena de historia natural*, 74(2). <https://doi.org/10.4067/s0716-078x2001000200011>
- Hernández-Ramos, L., García-Mateos, R., Castillo-González, A. M., Ybarra-Moncada, C., & Nieto-Ángel, R. (2020). Fruits of the pitahaya *Hylocereus undatus* and *H. ocamponis*: nutritional components and antioxidants. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 93, 197–203. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2020.093.024>
- HiGinbotham, N. (1973). The mineral absorption process in plants. *The Botanical Review*, 39(1), 15–69. <https://doi.org/10.1007/BF02860069>

- Ho, P. L., Tran, D. T., Hertog, M. L. A. T. M., & Nicolaï, B. M. (2021). Effect of controlled atmosphere storage on the quality attributes and volatile organic compounds profile of dragon fruit (*Hylocereus undatus*). *Postharvest Biology and Technology*, 173, 111406. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111406>
- Hua, Q., Chen, C., Tel Zur, N., Wang, H., Wu, J., Chen, J., Zhang, Z., Zhao, J., Hu, G., & Qin, Y. (2018). Metabolomic characterization of pitaya fruit from three red-skinned cultivars with different pulp colors. *Plant Physiology and Biochemistry*, 126, 117–125. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.02.027>
- Ibrahim, S. R. M., Mohamed, G. A., Khedr, A. I. M., Zayed, M. F., & El-Kholy, A. A.-E. S. (2018). Genus *Hylocereus*: Beneficial phytochemicals, nutritional importance, and biological relevance-A review. *Journal of Food Biochemistry*, 42(2), e12491. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12491>
- Jalgaonkar, K., Mahawar, M. K., Bibwe, B., & Kannaujia, P. (2020). Postharvest Profile, Processing and Waste Utilization of Dragon Fruit (*Hylocereus* spp.): A Review. *Food Reviews International*, 1–27. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1742152>
- Jiang, Y.-L., Chen, L.-Y., Lee, T.-C., & Chang, P.-T. (2020). Improving postharvest storage of fresh red-fleshed pitaya (*Hylocereus polyrhizus* sp.) fruit by pre-harvest application of CPPU. *Scientia Horticulturae*, 273, 109646. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109646>
- Kishore, K. (2016). Phenological growth stages of dragon fruit (*Hylocereus undatus*) according to the extended BBCH-scale. *Scientia Horticulturae*, 213, 294–302. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.10.047>
- Kováčik, J., Klejdus, B., Bačkor, M., & Repčák, M. (2007). Phenylalanine ammonia-lyase activity and phenolic compounds accumulation in nitrogen-deficient *Matricaria chamomilla* leaf rosettes. *Plant Science*, 172(2), 393–399. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2006.10.001>
- Legaria Solano, J. P., Alvarado Cano, M. E., & Hernández, R. G. (2005). Diversidad genética en pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth. Britton y Rose). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 28, 179 – 185. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61028301>
- Lichtenthaler, H. K. (1987). [34] Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. En S. P. Colowick & N. O. Kaplan (Eds.), *Methods in Enzymology* (pp. 350–382). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
- Lichtenzveig, J., Abbo, S., Nerd, A., Tel-Zur, N., & Mizrahi, Y. (2000). Cytology and mating systems in the climbing cacti *Hylocereus* and *Selenicereus*. *American Journal of Botany*, 87(7), 1058–1065. <https://doi.org/10.2307/2657005>

- Lindsay, W. L., & Schwab, A. P. (1982). The chemistry of iron in soils and its availability to plants. *Journal of Plant Nutrition*, 5(4–7), 821–840. <https://doi.org/10.1080/01904168209363012>
- Liu, R., Gao, H., Chen, H., Fang, X., & Wu, W. (2019). Synergistic effect of 1-methylcyclopropene and carvacrol on preservation of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*). *Food Chemistry*, 283, 588–595. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.066>
- Lüttge, U. (2004). Ecophysiology of Crassulacean Acid Metabolism (CAM). *Annals of Botany*, 93(6), 629–652. <https://doi.org/10.1093/aob/mch087>
- Magalhães, D. S., da Silva, D. M., Ramos, J. D., Salles Pio, L. A., Pasqual, M., Vilas Boas, E. V. B., Galvão, E. C., & de Melo, E. T. (2019). Changes in the physical and physico-chemical characteristics of red-pulp dragon fruit during its development. *Scientia Horticulturae*, 253, 180–186. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.050>
- Magaña, W., Balbín, M., Corrales, J., Rodríguez, A., & Saucedo, C. (2006). Principales características de calidad de las pitahayas (*Hylocereus undatus* Haworth), frigoconservadas en atmósferas controladas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 15, 52–57. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93215211>
- Manzanero-Acevedo, L. A. Isaac-Márquez, R., Zamora-Crescencio, P. Rodríguez-Canché, L. Guadalupe, Ortega-Haas, J. J., & Dzib Castillo, B. (2014). Conservación de la pitahaya [*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose] en el estado de Campeche, México. *Foresta Veracruzana*, 16, 9–16. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49731008002>
- Marschner, H., & Cakmak, I. (1989). High Light Intensity Enhances Chlorosis and Necrosis in Leaves of Zinc, Potassium, and Magnesium Deficient Bean (*Phaseolus vulgaris*) Plants. *Journal of Plant Physiology*, 134(3), 308–315. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(89\)80248-2](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(89)80248-2)
- Mercado-Silva, E. M. (2018). Pitaya— *Hylocereus undatus* (Haw). En *Exotic Fruits* (pp. 339–349). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803138-4.00045-9>
- Mizrahi, Y. (2020). Do We Need New Crops for Arid Regions? A Review of Fruit Species Domestication in Israel. *Agronomy*, 10(12), 1995. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121995>
- Montesinos Cruz, J., Rodríguez-Larramendi, L., Ortiz-Pérez, R., Fonseca-Flores, M., Ruíz Herrera, G., & Guevara-Hernández, F. (2015). Revisión bibliográfica Pitahaya (*Hylocereus* spp.) un recurso fitogenético con historia y futuro para el trópico seco mexicano. *Cultivos tropicales*, 36, 67–76. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v36s1/ctr07s115.pdf>

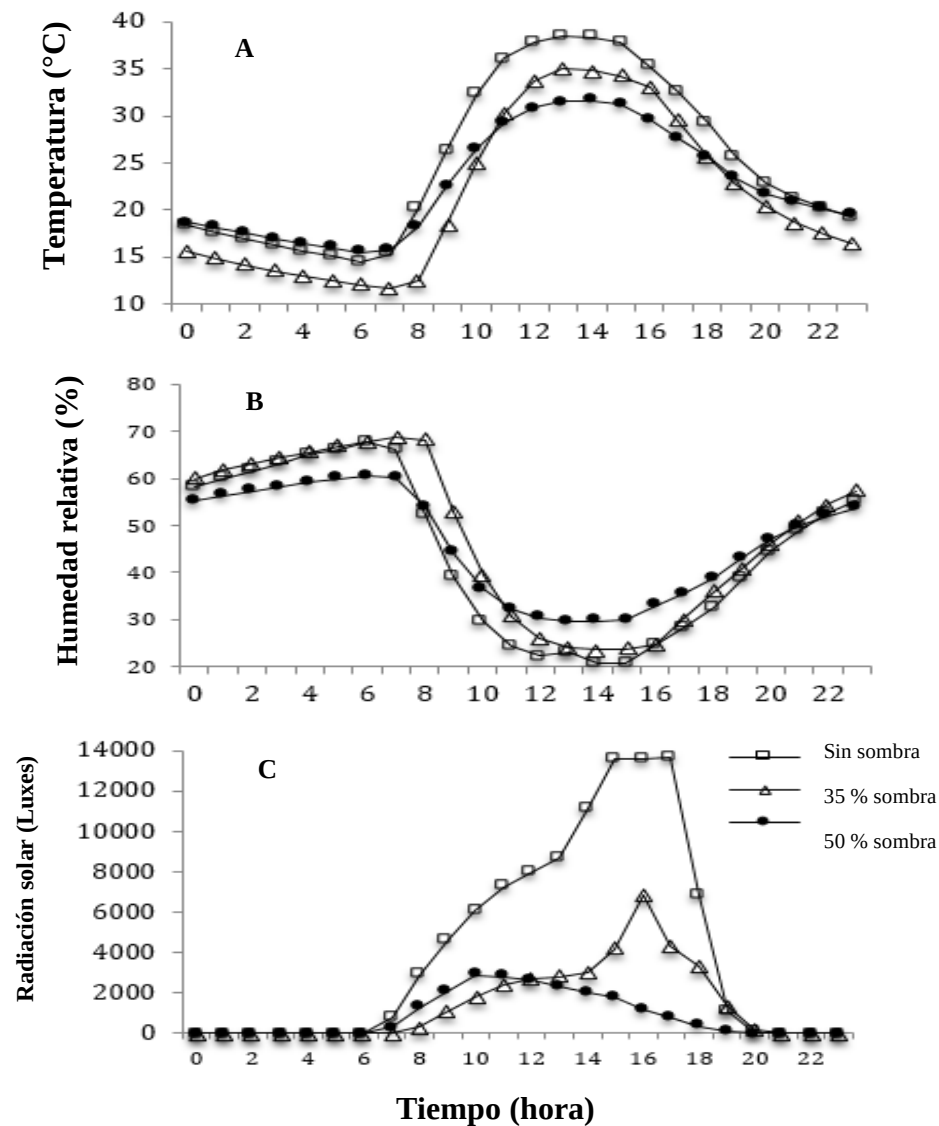
- Moreno Velázquez, D., Cruz Romero, W., García Lara, E., Ibañez Martínez, A., Barrios Díaz, J. M., & Barrios Díaz, B. (2013). Cambios fisicoquímicos poscosecha en tres cultivares de pepino con y sin película plástica . En *Revista mexicana de ciencias agrícolas* (Vol. 4, pp. 909–920). scielomx .
- Morgan, J. M. (1984). Osmoregulation and Water Stress in Higher Plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 35(1), 299–319. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.35.060184.001503>
- Naikoo, M. I., Dar, M. I., Raghib, F., Jaleel, H., Ahmad, B., Raina, A., Khan, F. A., & Naushin, F. (2019). Role and Regulation of Plants Phenolics in Abiotic Stress Tolerance. En *Plant Signaling Molecules* (pp. 157–168). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816451-8.00009-5>
- Nerd, A., Gutman, F., & Mizrahi, Y. (1999). Ripening and postharvest behaviour of fruits of two *Hylocereus* species (Cactaceae). *Postharvest Biology and Technology*, 17(1), 39–45. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(99\)00035-6](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(99)00035-6)
- Nguyen, N. (2020). The Marketing for Vietnamese Dragon Fruit. *Archives of Business Research*, 8(5), 221–226. <https://doi.org/10.14738/abr.85.8299>
- Nobel, P. S., & La Barrera, E. (2004). CO₂ uptake by the cultivated hemiepiphytic cactus, *Hylocereus undatus*. *Annals of Applied Biology*, 144(1), 1–8. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2004.tb00310.x>
- Novoa, A., Le Roux, J. J., Robertson, M. P., Wilson, J. R. U., & Richardson, D. M. (2015). Introduced and invasive cactus species: a global review. *AoB PLANTS*, 7. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plu078>
- Obenland, D., Cantwell, M., Lobo, R., Collin, S., Sievert, J., & Arpaia, M. L. (2016). Impact of storage conditions and variety on quality attributes and aroma volatiles of pitahaya (*Hylocereus* spp.). *Scientia Horticulturae*, 199, 15–22. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.12.021>
- Ortiz Hernández, Y. D., Livera Salazar, M., & Carrillo Muñoz, J. A. (1999). Asimilación de CO₂ por la pitahaya *Hylocereus undatus* en condiciones de campo. *Agrociencia*, 33(2), 165–169.
- Osuna-Enciso, T., Valdez-Torres, J. B., Sagudo-Barajas, J. A., Muy-Rangel, M. D., Hernández-Verdugo, S., Villarreal-Romero, M., & Osuna-Rodríguez, 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. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952016000100061&nrm=iso
- Osuna Enciso, T., Ibarra Zazueta, M. E., Muy Rangel, M. D., Valdez Torres, J. B., Villarreal Romero, M., & Hernández Verdugo, S. (2011). Calidad

- postcosecha de frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haw.) cosechados en tres estados de madurez . Revista fitotecnia mexicana, 34, 63–72.
- Punitha, V., Boyce, A. N., & Chandran, S. (2010). Effect of storage temperatures on the physiological and biochemical properties of *Hylocereus polyrhizus*. Acta Horticulturae, 875, 137–144. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.875.16>
- Quiroz-González, B., Corrales-García, J. J. E., Colinas-León, M. T. B., & Ybarra-Moncada, M. C. (2017). Identification of variables correlated with chilling injury in Pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth). Agrociencia, 51, 153–172. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952017000200153&nrm=iso
- Raveh, E., Nerd, A., & Mizrahi, Y. (1998). Responses of two hemiepiphytic fruit crop cacti to different degrees of shade. Scientia Horticulturae, 73(2–3), 151–164. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(97\)00134-9](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(97)00134-9)
- Robards, K., & Antolovich, M. (1997). Analytical Chemistry of Fruit Bioflavonoids. A Review. The Analyst, 122(2), 11R–34R. <https://doi.org/10.1039/a606499j>
- Sago, Y. (2016). Effects of Light Intensity and Growth Rate on Tipburn Development and Leaf Calcium Concentration in Butterhead Lettuce. HortScience, 51(9), 1087–1091. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI10668-16>
- Schachtman, D. P., Reid, R. J., & Ayling, S. M. (1998). Phosphorus Uptake by Plants: From Soil to Cell. Plant Physiology, 116(2), 447–453. <https://doi.org/10.1104/pp.116.2.447>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, & Rural, S. de A. y D. (2019). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Producción Anual Agrícola, Cierre de la producción agrícola (1980–2019). <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Shao, Q., Wang, H., Guo, H., Zhou, A., Huang, Y., Stern, S. R., & Li, M. (2014). Effects of Shade Treatments on Photosynthetic Characteristics, Chloroplast Ultrastructure, and Physiology of *Anoectochilus roxburghii*. PLoS ONE, 9(2), e85996. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0085996>
- Silvera, K., Neubig, K. M., Whitten, W. M., Williams, N. H., Winter, K., & Cushman, J. C. (2010). Evolution along the crassulacean acid metabolism continuum. Functional Plant Biology, 37(11), 995. <https://doi.org/10.1071/FP10084>
- Subandi, M., Mustari, E., & Setian, A. (2018). The crossing effect of dragon fruit plant cultivars [*Hylocereus* sp.] on Yield. International Journal of

- Tofiño, A., Fregene, M., Ceballos, H., & Cabal, D. (2006). Regulación de la biosíntesis del almidón en plantas terrestres: perspectivas de modificación. *Acta Agronómica*, 55. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169920320001>
- Tomás-Barberán, F. A., & Espín, J. C. (2001). Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(9), 853–876. <https://doi.org/10.1002/jsfa.885>
- Tomaz de Oliveira, M. M., Lu, S., Zurgil, U., Raveh, E., & Tel-Zur, N. (2021). Grafting in *Hylocereus* (Cactaceae) as a tool for strengthening tolerance to high temperature stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 160, 94–105. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.01.013>
- Tran, D.-H., Yen, C.-R., & Chen, Y.-K. H. (2015). Effects of bagging on fruit characteristics and physical fruit protection in red pitaya (*Hylocereus* spp.). *Biological Agriculture & Horticulture*, 31(3), 158–166. <https://doi.org/10.1080/01448765.2014.991939>
- Uarrota, V. G., Stefen, D. L. V., Leolato, L. S., Gindri, D. M., & Nerling, D. (2018). Revisiting Carotenoids and Their Role in Plant Stress Responses: From Biosynthesis to Plant Signaling Mechanisms During Stress. En *Antioxidants and Antioxidant Enzymes in Higher Plants* (pp. 207–232). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75088-0_10
- Uthairatanakij, A., Cholmaitri, C., Aiamla-or, S., & Jitareerat, P. (2018). Gamma irradiation as phytosanitary treatment for red flesh dragon fruit. *Acta Horticulturae*, 1210, 145–150. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1210.20>
- Uz, I., & Tavalı, I. E. (2014). Short-Term Effect of Vermicompost Application on Biological Properties of an Alkaline Soil with High Lime Content from Mediterranean Region of Turkey. *The Scientific World Journal*, 2014, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2014/395282>
- Varma, A. (1995). Ecophysiology and Application of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Arid Soils. En *Mycorrhiza* (pp. 561–591). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-08897-5_24
- Vázquez-Martínez, B., Alia Tejacal, I., Guillén-Sánchez, D., Juárez-López, P., Andrade Rodríguez, M., Villegas-Torres, O., & Martínez-Morales, A. (2015). Efecto de la baja temperatura en el metabolismo de carbohidratos y calidad de frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota* [Jacq.] H.E. Moore & Stearn). *Acta Agrícola y Pecuaria*, 1, 70–77.

- Wall, M. M., & Khan, S. A. (2008). Postharvest Quality of Dragon Fruit (*Hylocereus* spp.) after X-ray Irradiation Quarantine Treatment. *HortScience*, 43(7), 2115–2119. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.2115>
- Wang, L., Zhang, X., Ma, Y., Qing, Y., Wang, H., & 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. <https://doi.org/10.1080/14620316.2019.1595747>
- Wanitchang, J., Terdwongworakul, A., Wanitchang, P., & Noypitak, S. (2010). Maturity sorting index of dragon fruit: *Hylocereus polyrhizus*. *Journal of Food Engineering*, 100(3), 409–416. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.04.025>
- Wettstein, V., D., Gough, S., Kannangara, & G., C. (1995). Chlorophyll Biosynthesis. *The Plant Cell*, 1039–1057. <https://doi.org/10.1105/tpc.7.7.1039>
- Wu, L., Hsu, H.-W., Chen, Y.-C., Chiu, C.-C., Lin, Y.-I., & Ho, J. A. (2006). Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya. *Food Chemistry*, 95(2), 319–327. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.01.002>
- Wu, Y., Xu, J., He, Y., Shi, M., Han, X., Li, W., Zhang, X., & Wen, X. (2019). Metabolic Profiling of Pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) during Fruit Development and Maturation. *Molecules*, 24(6), 1114. <https://doi.org/10.3390/molecules24061114>
- Yong, Y. Y., Dykes, G., Lee, S. M., & Choo, W. S. (2018). Effect of refrigerated storage on betacyanin composition, antibacterial activity of red pitahaya (*Hylocereus polyrhizus*) and cytotoxicity evaluation of betacyanin rich extract on normal human cell lines. *LWT*, 91, 491–497. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.078>

6. APÉNDICES

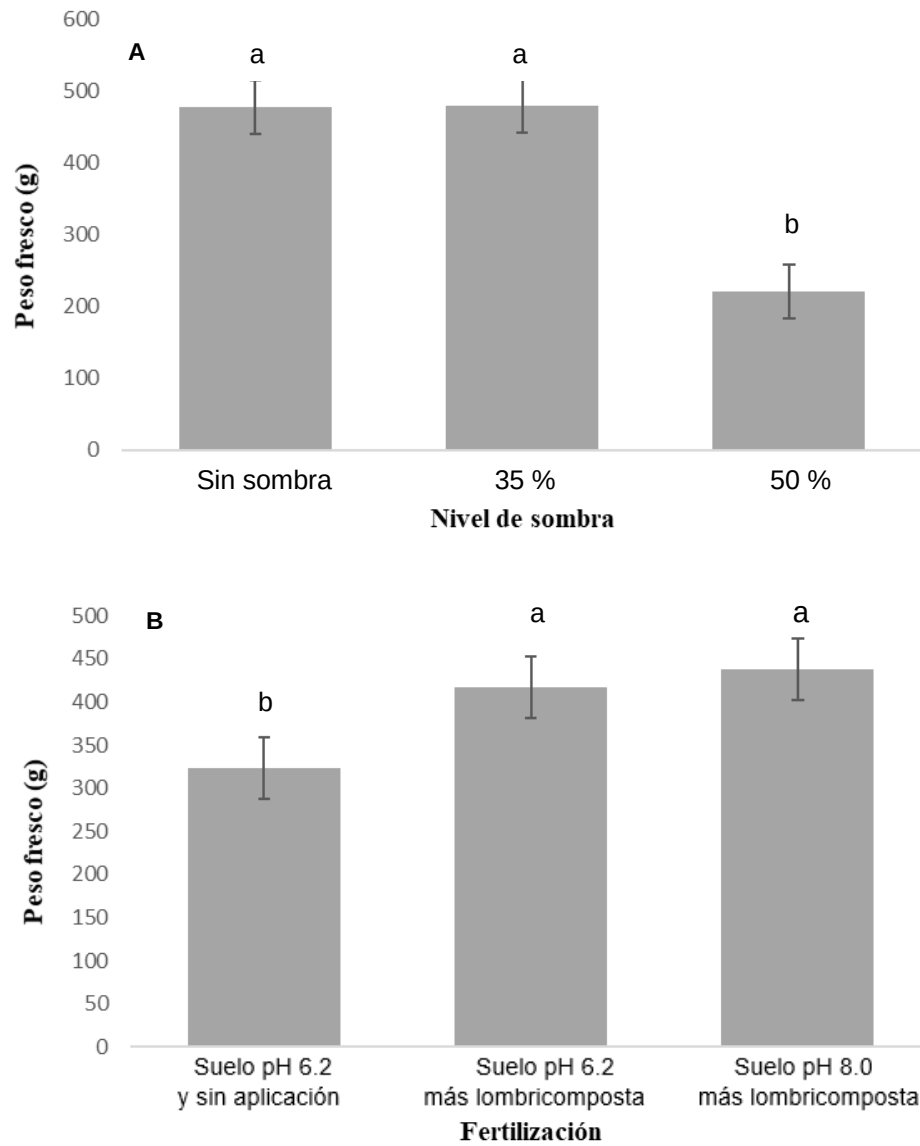


Apéndice 1. Curso diario promedio de la temperatura (A), humedad relativa (B) y radiación solar (C) en los tres niveles de sombra (sin sombra, 35 y 50 %) donde se cultivaron las pitahayas (*H. ocamponis* y *H. undatus*), durante el periodo de julio de 2018 a agosto de 2019.

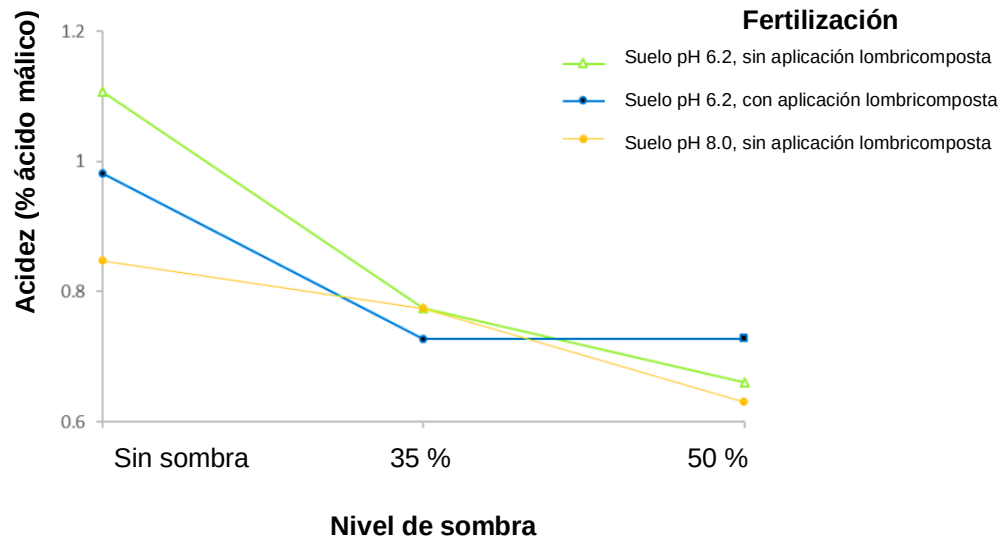
Apéndice 2. Valores percentiles de la distribución de Fisher ($F_{0.05}$) y valores de F correspondientes al análisis de varianza para la evaluación del efecto de la especie (*Hylocereus ocamponis* y *H. undatus*), niveles de sombra y aplicación de lombricomposta a diferentes pH de suelo, sobre el crecimiento, contenido de clorofila y concentración nutrimental en tallos de plantas de pitahaya.

		Factor de variación						CV (%)	
		E	S	F	E × S	E × F	S × F		E × S × F
GL		1	2	2	2	2	4	4	--
gl error		6	12	36	12	36	36	36	--
F _{0.05}		5.99	3.89	3.26	3.89	3.26	2.63	2.63	--
Valores de F	Crecimiento	0.19	13.11**	0.31	3.89*	0.30	0.12	0.56	33.35
	Peso fresco	2.26	28.37**	6.17**	1.68	0.08	1.19	0.80	35.76
	Clorofila a	17.87**	8.67**	1.18	0.19	0.49	1.37	0.10	20.89
	Clorofila b	0.06	5.22*	0.28	2.62	0.26	0.36	0.25	21.91
	CT	5.44	9.01**	0.94	0.31	0.12	1.01	0.11	19.40
	Carotenoides	9.81*	5.68*	1.58	0.81	0.79	2.17	1.20	18.79
	Flavonoides	0.00	47.22**	5.44*	16.91**	4.78*	14.18*	5.78*	30.71
	Fenoles	0.06	20.48**	0.26	1.21	0.65	2.68*	0.99	17.61
	Acidez	1.70	72.24**	9.91**	1.79	0.28	8.77**	0.62	9.77
	AST	1.71	8.21**	1.24	1.33	0.67	2.16	0.73	19.84
	Almidón	7.96*	5.33*	5.30**	8.16**	19.30**	9.37**	4.20**	19.38
	Proteína	4.64	3.07	0.83	0.58	1.77	1.16	2.23	14.73

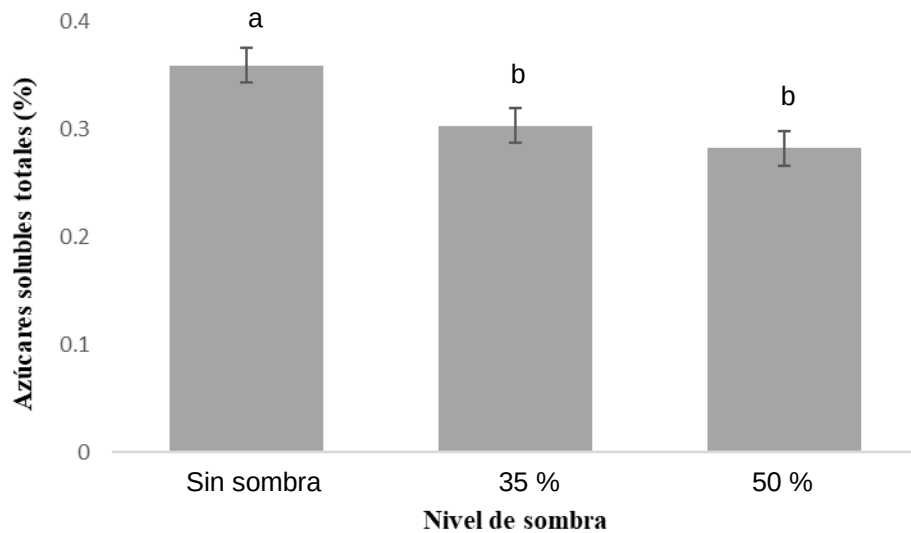
E = especie; S = sombra; F = fertilización; CV = coeficiente de variación; gl = grados de libertad; CT = Clorofilas totales; AST azúcares solubles totales; * = efecto significativo a $P \leq 0.05$, ** = efecto muy significativo a $P \leq 0.01$.



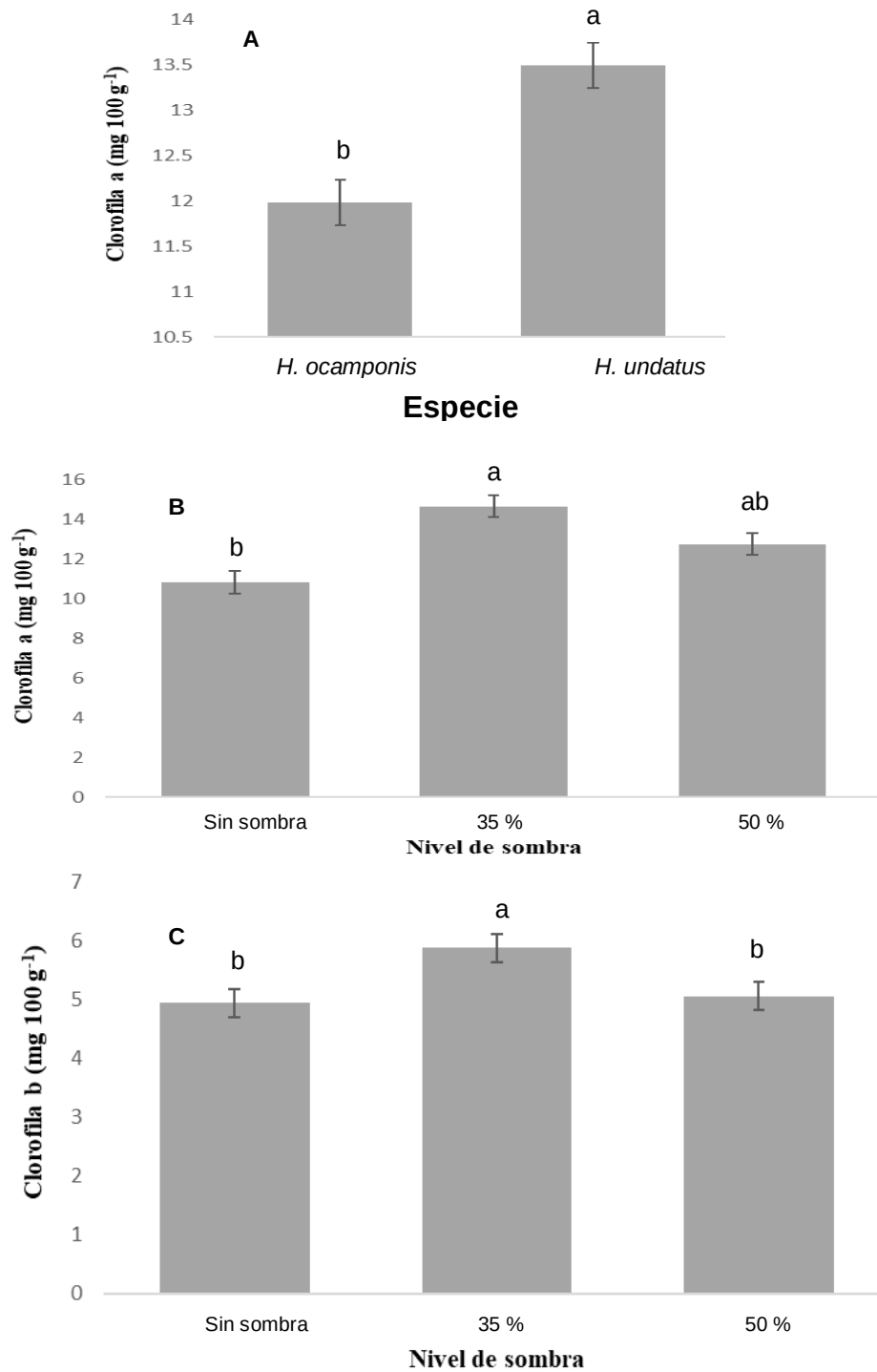
Apéndice 3. Efecto de diferentes factores (sombra (A) y fertilización (B)) sobre la acumulación de peso fresco en dos especies de pitahaya (*Hylocereus ocamponis* y *H. undatus*).



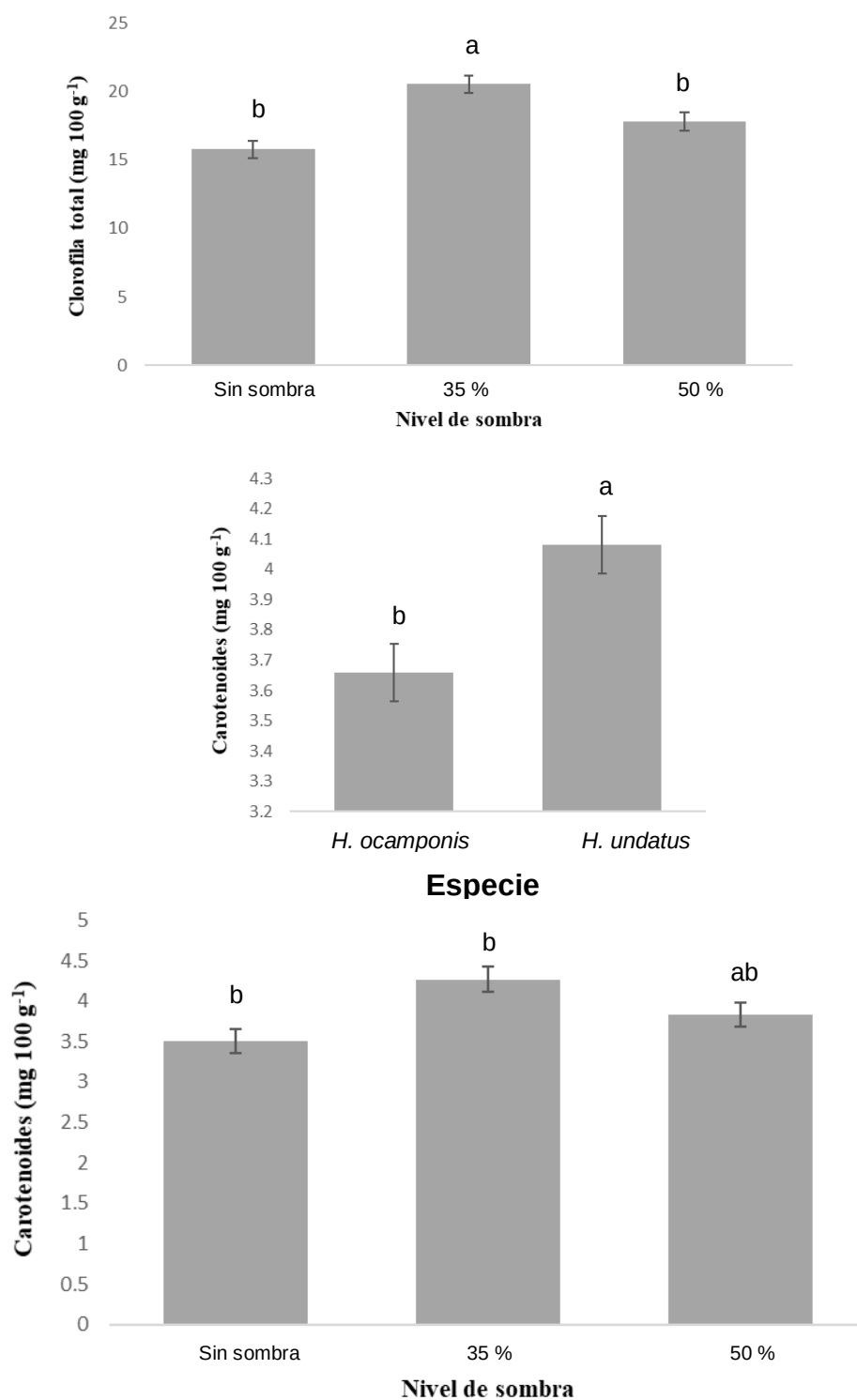
Apéndice 4. Efecto de la interacción sombra por fertilización sobre el crecimiento de tallos de pitahaya (*Hylocereus* spp.).



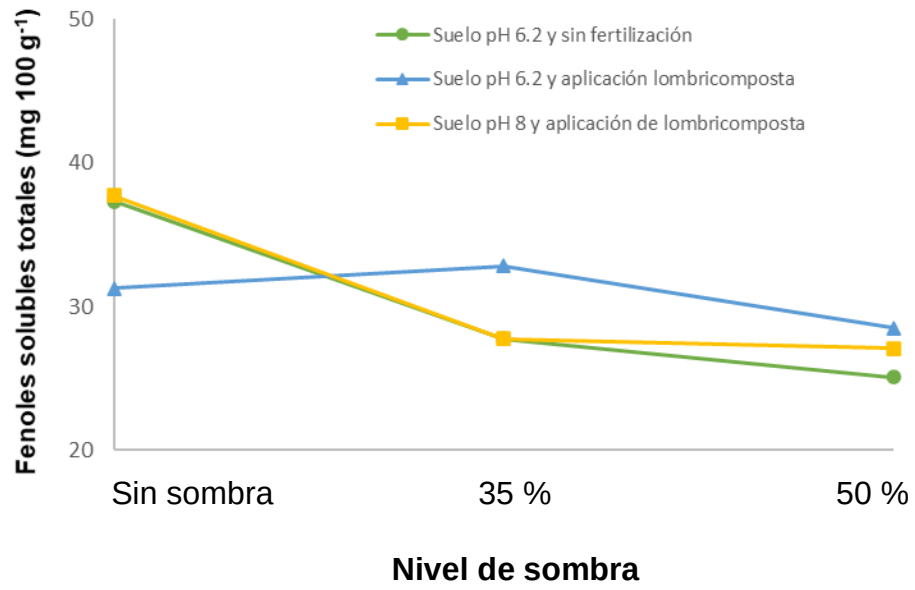
Apéndice 5. Efecto del nivel de sombra sobre el crecimiento de tallos de pitahaya (*Hylocereus* spp.).



Apéndice 6. Efecto de los factores especie y sombra sobre la concentración de clorofila “a” y “b” en dos especies de pitahaya (*Hylocereus ocamponis* y *H. undatus*).



Apéndice 7. Efecto de los factores especie y sombra sobre la concentración de clorofila total y carotenoides de pitahaya (*Hylocereus ocamponis* y *H. undatus*).



Apéndice 8. Efecto de la interacción sombra por fertilización sobre el contenido de compuestos fenólicos solubles totales de tallos de pitahaya (*Hylocereus* spp.).

VII. CONCLUSIONES GENERALES

El fruto de pitahaya de pulpa blanca (*H. undatus*) presentó mayor valor nutricional que el fruto de pulpa roja (*H. ocamponis*) debido a un mayor contenido de proteína, lípidos, N, P, K, Ca, Mg, B en el mesocarpio y ácido oléico y ácido linoleico en las semillas; en contraste, el fruto de *H. ocamponis* presentó el mayor potencial nutracéutico dado el mayor contenido de betalaínas y actividad antioxidante en pulpa.

Los frutos de *H. ocamponis* presentaron atributos de calidad (peso del fruto, sólidos solubles totales, azúcares solubles totales, acidez titulable y concentración de betalaínas en pulpa) para su comercialización similares cuando se cosecharon en madurez preconsumo y de consumo. Los frutos cosechados en ambos estados de madurez y almacenados a 22 ± 3 °C tuvieron alrededor de 12 d de vida de anaquel. Los frutos en madurez preconsumo y de consumo almacenados a 6 ± 1 °C presentaron alrededor de 24 d de vida de anaquel.

El cultivo de pitahaya con 35 % de sombra más aplicación de lombricomposta favoreció la productividad fotosintética, crecimiento y acumulación de peso seco en la planta. El cultivo de *H. ocamponis* sin sombra afectó la productividad fotosintética y el crecimiento debido a la sensibilidad de esta especie a la fotoinhibición.

La especie *H. undatus* presentó adaptabilidad a las condiciones de cultivo sin sombra y con 35 % de sombra que favorecieron el crecimiento, grosor de tallo y acumulación de biomasa seca; sin embargo, *H. undatus* creció adecuadamente en condiciones sin sombra solamente con un buen manejo nutrimental.

El cultivo de *H. ocamponis* y *H. undatus* en condiciones con 50 % de sombra ocasionó menores valores de peso seco, azúcares solubles, acidez, grosor de tallo, crecimiento y menor acumulación de Ca, Mg y N.