



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN SUELOS

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE

MANEJO NUTRIMENTAL DEL CULTIVO DE PITAHAYA DE PULPA ROJA (*Hylocereus ocamponis*) EN LA MIXTECA POBLANA

TESIS



Que como requisito parcial para obtener el grado de:
MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL
DESARROLLO SOSTENIBLE



PRESENTA:

MARTÍN MARTÍNEZ CRUZ

Bajo la supervisión de: RANFERI MALDONADO TORRES, DR.



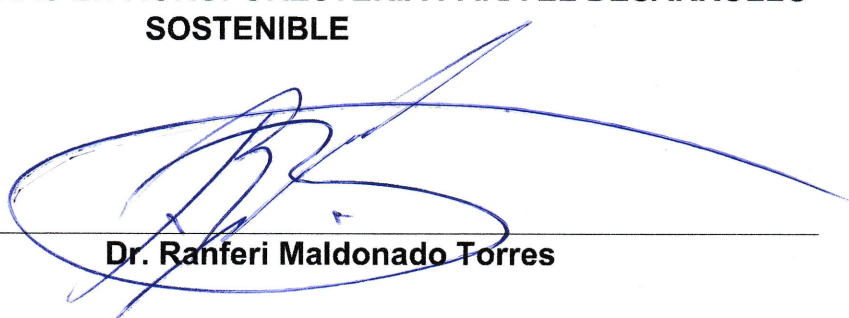
Chapingo, Estado de México, febrero de 2022

**MANEJO NUTRIMENTAL DEL CULTIVO DE PITAHAYA DE PULPA ROJA
(*Hylocereus ocamponis*) EN LA MIXTECA POBLANA**

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

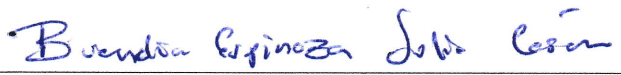
**MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL DESARROLLO
SOSTENIBLE**

Director:



Dr. Ranferi Maldonado Torres

Asesor:



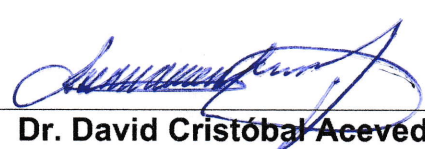
Dr. Julio César Buendía Espinoza

Asesora:



Dra. Rosa María García Núñez

Asesor:



Dr. David Cristóbal Acevedo

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
DEDICATORIAS	viii
AGRADECIMIENTOS	ix
DATOS BIOGRÁFICOS	x
RESUMEN GENERAL	xi
GENERAL ABSTRACT	xii
1 INTRODUCCIÓN GENERAL	1
2 MARCO TEÓRICO	3
2.1 Sistema de producción de pitahaya	3
2.1.1 Manejo del cultivo	4
Requerimientos (edáficos, temperatura y humedad)	4
Marco de Plantación	4
Tutorado	5
Riego	6
Poda	6
Control de malezas	7
2.1.2 Principales plagas y enfermedades	8
Plagas	8
Enfermedades	8
2.1.3 Cosecha, rendimiento y calidad	9
2.1.4 Producción nacional de pitahaya	10
2.1.5 Sistemas de producción de pitahaya en asociación o sistemas agroforestales	10
Sistema agroforestal	11
Asociación con cultivos anuales	12

2.1.6	Factores limitantes para el cultivo de pitahaya.....	12
2.2	Manejo nutrimental de pitahaya.....	14
2.2.1	Diagnóstico nutrimental de suelo y planta.....	14
	Análisis de suelo	15
	Análisis de planta	15
	Desviación Óptimo Porcentual (DOP).....	16
	Índice de Balance de Kenworthy.....	17
2.2.2	Nutrición de pitahaya.....	17
	Balance nutrimental de pitahaya	18
	Requerimientos nutrimentales para pitahaya	18
2.3	Factores que regulan el rendimiento y calidad de fruta	19
2.3.1	Concentración nutrimental del fruto de pitahaya	20
2.3.2	Compuestos fitoquímicos en frutos de pitahaya.....	23
	Betalaínas	24
	Fenoles solubles totales.....	25
2.3.3	Indicadores de calidad de fruta de pitahaya.....	26
	Características físicas:	26
	Propiedades químicas:.....	26
2.4	Literatura citada.....	27
3	ESTADO NUTRIMENTAL PREVIO, POST PRODUCCIÓN Y RENDIMIENTO DE COSECHA DE PITAHAYA DE PULPA ROJA	36
3.1	Introducción	38
3.2	Materiales y métodos.....	40
3.2.1	Ubicación de la parcela experimental.....	40
3.2.2	Caracterización agroclimática de la localidad	41
3.2.3	Parcela experimental.....	42
3.2.4	Análisis de suelo	42
3.2.5	Análisis foliar y diagnóstico nutrimental.....	43

3.2.6	Diseño experimental.....	44
3.2.7	Dosis de fertilización	44
3.2.8	Tratamientos	45
3.2.9	Rendimiento de fruta	45
3.2.10	Análisis de datos	47
3.3	Resultados y discusión	48
3.3.1	Diagnóstico de la fertilidad de suelo.....	48
3.3.2	Diagnóstico nutrimental de planta de pitahaya previo a la aplicación de tratamientos y producción de fruta.....	50
3.3.3	Diagnóstico nutrimental de planta de pitahaya posterior a la aplicación de tratamientos y producción de fruta.....	51
3.3.4	Rendimiento de fruta	54
3.4	Conclusiones	57
3.5	Literatura citada.....	58
4	CALIDAD DE FRUTA Y CONTENIDO DE COMPUESTOS FITOQUÍMICOS EN PITAHAYA DE PULPA ROJA CULTIVADA EN LA MIXTECA POBLANA ...	60
4.1	Introducción	62
4.2	Materiales y métodos.....	63
4.2.1	Obtención de muestras	63
4.2.2	Calidad de fruto	63
	Características físicas evaluadas	64
	Propiedades químicas evaluadas	65
	Contenido de compuestos fitoquímicos	65
4.3	Análisis de datos	67
4.4	Resultados y discusión	68
4.4.1	Características físicas	68
	Diámetro polar y diámetro ecuatorial	68
	Peso.....	69

Porcentaje de pulpa	69
Firmeza de cáscara.....	70
Color de fruto	70
4.4.2 Propiedades químicas.....	74
Sólidos solubles totales (SST)	74
pH	75
Acides titulable (AT)	75
Relación SST/AT.....	76
4.4.3 Contenido de compuestos fitoquímicos.....	76
Betacianinas (Bc)	76
Fenoles solubles totales (FST).....	78
4.5 Conclusiones	78
4.6 Literatura citada.....	79
5 APÉNDICES.....	82

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Principales estados productores (t) de pitahaya por estado en los últimos cinco años	10
Cuadro 2. Rango de suficiencia de nutrimental para plantas de pitahaya.	19
Cuadro 3. Características químicas del fruto de dos especies de pitahaya	21
Cuadro 4. Composición nutricional de frutos de pitahaya blanca y roja.....	22
Cuadro 5. Contenido nutricional del fruto de pitahaya de pulpa roja (<i>H. polyrhizus</i>)	23
Cuadro 6. Análisis químico de suelo	43
Cuadro 7. Análisis químico foliar.....	44
Cuadro 8. Tratamientos aplicados	45
Cuadro 9. Interpretación del análisis de suelo	48
Cuadro 10. Diagnóstico nutrimental de la pitahaya.....	50
Cuadro 11. Diagnóstico nutrimental de planta de pitahaya posterior a la fertilización y producción.....	51
Cuadro 12. Producción de pitahaya de pulpa roja	55
Cuadro 13. Propiedades físicas del fruto de pitahaya de pulpa roja	68
Cuadro 14. Color de cáscara y pulpa del fruto de pitahaya de pulpa roja.....	73
Cuadro 15. Propiedades químicas de frutos de pitahaya de pulpa roja.....	75
Cuadro 16. Contenido betacianinas y fenoles solubles totales en pulpa frutos de pitahaya	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del municipio Tepexi de Rodríguez, Pue.....	40
Figura 2. Localización de la parcela experimental dentro de la localidad	41
Figura 3. Diseño experimental	44
Figura 4. Polinización manual de flores de <i>H. ocamponis</i> . a: recolección de polen de la especie <i>H. undatus</i> ; b: floración de <i>H. ocamponis</i> ; c: aplicación de polen en el gineceo; d: cerrado del estigma para evitar que polinizadores naturales extraigan el polen aplicado.	46
Figura 5. Concentración de macronutrientes antes y después de fertilización y producción de fruto	53
Figura 6. Concentración de micronutrientes en plantas de pitahaya antes y después de fertilización y producción de fruto	53
Figura 7. Comparación de color de frutos de <i>H. ocamponis</i> cultivada mediante cuatro tratamientos.	71
Figura 8. Representación gráfica de ángulo de tono y croma de la pulpa y cáscara del fruto de pitahaya.	72
Figura 9. Resultados del barrido realizado a extractos de a una longitud de onda de 300 a 700 nm a extractos de pulpa de pitahaya.	77

DEDICATORIAS

A mi esposa e hijas, por el apoyo, paciencia y comprensión durante este camino lleno de retos y aprendizaje, por siempre estar ahí en los momentos difíciles y de alegría.

A mis padres y hermanos, en quienes siempre encontré apoyo, cariño y motivación.

¡¡GRACIAS!!

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para continuar con mis estudios de Maestría.

A la Universidad Autónoma Chapingo, mi Alma Mater, por darme la oportunidad de continuar con mi formación profesional.

Al Programa de Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, por permitirme y darme las facilidades para continuar con mi desarrollo profesional.

Al comité asesor por la orientación, seguimiento y apoyo durante mis estudios de maestría, así como el acompañamiento en la elaboración del documento de graduación.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre:

Fecha de nacimiento: 12 de octubre de 1989

Lugar de nacimiento: Tepexi de Rodríguez, Puebla

CURP: MACM891012HPLRRR03

Profesión: Ingeniero Forestal

Cédula profesional: 11902926



Desarrollo profesional

Preparatoria: Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo

Licenciatura: Ingeniería Forestal, División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo.

Estudios de posgrado: Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, Universidad Autónoma Chapingo.

RESUMEN GENERAL

MANEJO NUTRIMENTAL DEL CULTIVO DE PITAHAYA DE PULPA ROJA (*Hylocereus ocamponis*) EN LA MIXTECA POBLANA

El fruto de pitahaya tiene alta demanda nacional e internacional, por lo que en regiones del centro y sur del país ha sido considerada como una alternativa de producción y de ingresos económicos importantes para el agricultor. Sin embargo, por falta de conocimientos de los requerimientos nutrimentales de la planta y al manejo de plagas y enfermedades, así como el control efectivo de los factores ambientales, los rendimientos son bajos en comparación con países altamente productivos. En este sentido, el trabajo tuvo como objetivo evaluar el manejo nutrimental de la pitahaya de pulpa roja, con base en el diagnóstico de la fertilidad del suelo y estado nutrimental de la planta para maximizar el rendimiento y la calidad de la fruta. Se llevó a cabo un experimento en una plantación de dos años. Se aplicaron tres dosis de fertilización determinadas a partir de análisis de fertilidad del suelo y derivadas del diagnóstico nutrimental del tejido, y una más con la dosis de fertilización convencional de la región de estudio. Cada dosis representó un tratamiento (T_1 , T_2 , T_3 y T_4), los cuales tuvieron una planta como unidad experimental con 9 repeticiones. El rendimiento se evaluó considerando sólo las primeras dos floraciones de la temporada. Para la determinación de la calidad de fruta se consideró la medición de 3 frutos de cada planta por cada tratamiento. El resultado demostró que no existieron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en cuanto a rendimiento, los cuales fueron de 1895-2419 kg ha⁻¹. En cuanto a la calidad, no hubo diferencia significativa en las características físicas. Sin embargo, la mejor coloración de pulpa se obtuvo ($p \leq 0.05$) en el T_2 y T_3 . Respecto a las propiedades químicas, no hubo diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en pH ni en acidez titulable, pero sí en sólidos solubles totales, betalaínas y fenoles solubles totales, donde el T_2 y el T_3 fueron superiores a los demás tratamientos.

Palabras clave: *Hylocereus ocamponis*, manejo nutrimental, fertilidad de suelo, diagnóstico nutrimental, rendimiento, calidad de fruta.

GENERAL ABSTRACT

NUTRIMENTAL MANAGEMENT OF RED PULP PITAHAYA (*Hylocereus ocamponis*) GROWING IN THE MIXTECA POBLANA

The pitahaya fruit is in high demand nationally and internationally, so in central and southern regions of the country it has been considered as an alternative production and an important economic income for the farmer. However, due to lack of knowledge of the nutritional requirements of the plant and the management of pests and diseases, as well as the effective control of environmental factors, yields are low compared to highly productive countries. In this sense, the objective of this work was to evaluate the nutritional management of red pulp pitahaya, based on the diagnosis of soil fertility and nutritional status of the plant to maximize yield and fruit quality. An experiment was carried out in a two-year-old plantation. Three doses of fertilization were applied determined from soil fertility analysis and derived from the nutritional diagnosis of the tissue, and another with the conventional fertilization dose of the study region. Each dose represented a treatment (T₁, T₂, T₃ and T₄), which had one plant as experimental unit with 9 replications. Yield was evaluated considering only the first two blooms of the season. To determine fruit quality, the measurement of 3 fruits from each plant for each treatment was considered. The result showed that there were no significant differences ($p \leq 0.05$) in yield, which ranged from 1895-2419 kg ha⁻¹. In terms of quality, there was no significant difference in physical characteristics. However, the best color pulp was obtained ($p \leq 0.05$) in T₂ and T₃. Regarding chemical properties, there was no significant difference ($p \leq 0.05$) in pH or titratable acidity, but there were significant differences in total soluble solids, betalains and total soluble phenols, where T₂ and T₃ were superior to the other treatments.

Key words: *Hylocereus ocamponis*, nutritional management, soil fertility, nutritional diagnosis, yield, fruit quality.

1 INTRODUCCIÓN GENERAL

En los últimos años el cultivo de frutales en México ha venido en aumento, tal es el caso de la pitahaya (*Hylocereus sp.*) cuyo nombre significa fruta escamosa, la cual es una planta de tipo trepadora que pertenece a la familia de las cactáceas. Es una especie nativa de América y de manera natural se distribuye en los bosques tropicales y subtropicales de México, así como en el centro y sur del continente (Britton & Rose, 1963).

El cultivo de pitahaya se ha convertido en una alternativa para el desarrollo económico en comunidades rurales, como es el caso de la mixteca poblana y en otros estados de México, siendo una especie valorada principalmente por su fruto el cual es comestible, de alto valor nutritivo por su elevado contenido de vitaminas C, B (B1 o tiamina, B3 o niacina y B2 o riboflavina), potasio, hierro, calcio y fósforo, además de ser bajo en calorías y rico en fibra, lo que ayuda a la digestión (Esquivel & Araya, 2012). Se puede consumir como fruto fresco, en forma de helados, en mermeladas, en licores, entre otros. Productos que le confieren un alto valor nutrimental y económico, tanto en el mercado nacional e internacional. Sin embargo, es un cultivo relativamente reciente, a pesar de conocerse esta especie y de consumir sus frutos desde tiempos ancestrales, no fue sino hasta hace poco más de treinta años que se empezó a considerar como monocultivo o en asociaciones en sistemas agroforestales (Castillo Martínez, 2006).

Debido a los hábitos de crecimiento trepador esta especie debe ser apoyada con tutores que puede ser un árboles o postes de madera seca, postes de concreto o metálicos, dejando espacio entre hileras para la incorporación de otros cultivos, principalmente anuales y establecer las asociaciones adecuadas. Esta es una de las razones fundamentales de la agroforestería, donde se optimiza el espacio y al mismo tiempo se obtienen productos escalonados que proporcionan ingresos económicos en el corto plazo (García Rubio et al., 2015).

El cultivo reciente de pitahaya en comunidades de la mixteca en Puebla, se realiza con escaso conocimiento de los factores que regulan el rendimiento y calidad del fruto, razón por la que es importante establecer los principios

tecnológicos que permitan aumentar la productividad y el nivel de ingresos de los agricultores, para contribuir a mejorar su calidad de vida.

En la comunidad de Lomas de San Francisco, municipio de Tepexi de Rodríguez en Puebla, el uso de la tierra es de temporal y sólo para cultivos anuales como el maíz, frijol, calabaza, jitomate, cebolla, tomate de cáscara y sandía, obteniéndose rendimientos bajos, debido las restricciones de agua y al manejo deficiente tanto nutricional como de plagas y enfermedades. Se han buscado alternativas para la problemática anterior, y recientemente se ha introducido el cultivo de la pitahaya, ya que esta planta tolera la sequía y prospera en suelos poco profundos, debido a que su sistema radical no penetra más de 10 cm de profundidad del suelo. Sin embargo, por la falta de conocimiento acerca del cultivo y manejo de la especie, no se han logrado los rendimientos esperados, como los obtenidos en municipios vecinos, donde de acuerdo con datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2020) se obtienen rendimientos de entre 3.2 y 8.0 t ha⁻¹.

Ya sea en monocultivo, cultivos asociados o en sistemas agroforestales, la pitahaya posterior a su plantación tarda entre 3 a 4 años para entrar en producción. Algunos investigadores recomiendan asociar cultivos anuales como maíz, frijol, chile o cultivos propios de la región junto con la pitahaya, durante los primeros dos o tres años para obtener ingresos mientras se convierte en un cultivo rentable, pues la inversión inicial se empieza a recuperar hasta que las plantas han alcanzado la madurez de producción (López & Guido, 2002; Cáliz de Dios et al., 2014; Castillo Martínez et al., 2016). Por lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el manejo nutrimental de la pitahaya (*Hylocereus ocamponis*), con base en el diagnóstico de la fertilidad del suelo y estado nutrimental de la planta, para maximizar el rendimiento y la calidad de la fruta cosechada.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Sistema de producción de pitahaya

En las comunidades rurales de México, el cultivo de la pitahaya se encuentra en desarrollo, distribuido ampliamente en huertos caseros y como planta de ornato, en menor medida como un sistema de producción en pequeña y mediana escala. En México hace poco más de 30 años que se empezó a plantar como monocultivo o cultivo en sistema agroforestal en asociación con especies arbóreas que funcionan como tutor (Castillo Martínez, 2006; Manzanero Acevedo et al., 2014).

Debido al desarrollo de tipo trepador de la pitahaya, cuando crece de manera natural, lo hace sobre otras plantas o estructuras naturales que funcionan como soporte, en las que se ancla con raíces superficiales que se adhieren al tallo o superficie de que se trate, en algunos casos es necesario amarrar con hilo al tutor (Bravo Hollis, 1978; Castillo Martínez et al., 2016). Por lo anterior, para poder establecer cultivos de pitahaya, es necesario proporcionar el soporte que brindan árboles y rocas de manera natural; para lo cual se utilizan especies arbóreas principalmente de uso múltiple, o bien se pueden emplear tutores o postes inertes de concreto, metálicos o de madera muerta.

El cultivo de la pitahaya se hace de forma tradicional, al aire libre y con prácticas elementales como tutorado, podas, deshierbe, control de plagas y enfermedades, y cosecha con escasa tecnificación. Asimismo, en los estados del sureste como Quintana Roo y Yucatán, la preparación del terreno se hace de forma manual, la plantación se establece en terrenos con vegetación arbórea. La vegetación no deseada se remueve sólo dejando aquellos árboles que servirán como tutor para la pitahaya y algunos que sean de importancia por la madera, frutales, medicinal, apícola y algunos para sombra, el cual se puede considerar como un sistema agroforestal (Cáliz de Dios et al., 2014).

2.1.1 Manejo del cultivo

Como cualquier otra especie, son necesarias actividades que permitan el correcto establecimiento y desarrollo de las plantaciones de pitahaya. Asimismo, es importante considerar aspectos relacionados con los requerimientos de la especie, lo que permitirá prevenir errores tanto de manejo como de aprovechamiento.

Requerimientos (edáficos, temperatura y humedad)

La pitahaya pertenece a la familia de las cactáceas por lo que presenta tolerancia al estrés hídrico y a temperaturas elevadas, sin embargo, en sus primeros años de desarrollo es muy susceptible a heladas (Lezama Escobedo et al., 2005). Se le puede encontrar desde el nivel del mar hasta 2,496 m.s.n.m., con una precipitación de 400-4,000 mm anuales y temperaturas media anuales de 12 a 40 °C, es decir, en clima tropical húmedo, tropical seco, templado y semiárido (García Rubio et al., 2015). Sin embargo, las condiciones óptimas para un buen desarrollo y producción deben ser menos extremas, tanto de humedad como de temperatura.

Para que la pitahaya exprese su mayor potencial, debe situarse a una altitud de entre 500 a 1700 msnm, a temperaturas de entre 20 y 30°C; precipitación promedio anual en un intervalo desde 500 a 2000 mm (Gunasena et al., 2007; López & Guido 2002). En cuanto al tipo de suelo, se desarrolla exitosamente en la mayoría, lo importante es que presenten un buen drenaje y contenido de materia orgánica, así como mantener un pH ligeramente ácido, entre 5.5 y 6.5 (Lezama Escobedo et al., 2005).

Marco de Plantación

El método más fácil y económico de propagar la pitahaya de forma vegetativa es mediante esquejes. Las plantas de pitahaya establecidas a partir de esquejes comienzan a florecer después de uno o dos años de plantación. El material que se emplea para obtener esquejes deben ser cladodios maduros, de más de un

año. El tamaño del esqueje puede ser desde 15 cm hasta 1 m, sin embargo, se prefieren los de mayor longitud puesto que son los que emitirán rebrotes más rápido que los de menor tamaño (Gunaseena et al., 2007).

La plantación se puede realizar diseño a tresbolillo, hileras, o sin diseño. Los primeros diseños, se utilizan cuando el tutor es inerte, ya que eso da lugar a establecer los distanciamientos necesarios que faciliten el manejo y cosecha, así como las consideraciones de acuerdo con la topografía del terreno. Los espaciamientos más utilizados son de 3x3 metros entre plantas y entre hileras, ya que esto deja espacio entre planta y planta para un buen desarrollo, tanto aéreo como radicular (Lezama Escobedo et al., 2005). La densidad de plantación varía de acuerdo con el espaciamiento que se deje entre plantas, los más utilizados son de 833 hasta 1250 plantas por hectárea (Vargas et al, 2020)

Cuando se emplean árboles como tutores, el espaciamiento es variable, dado que son árboles que se encuentran ya en el sitio, sin embargo, se debe procurar que haya una separación de 2.5 a 3 metros entre planta, para dejar espacios para el buen desarrollo de la planta y evitar la competencia por nutrientes y agua (Castillo Martínez et al., 2016).

Tutorado

La pitahaya requiere de un tutor para desarrollarse, el cual puede ser un árbol, un tronco seco, postes de concreto, metal o madera, etc. Cuando se emplean árboles, se deben considerar aspectos como tasa de crecimiento y alta capacidad de rebrote después de la poda, que sean de fácil regeneración, entre otros. Entre las especies arbóreas que más se utilizan está el Guamúchil (*Pithecellobium dulce*), guaje rojo (*Leucaena esculenta*), mezquite (*Prosopis* spp), principalmente en los estados del centro y norte del país, mientras que para el sureste se utiliza el chakah (*Bursera simaruba*); el dzalam (*Lysiloma latisiliquum*), el jabín (*Piscidia piscipula*); el kintanche (*Caesalpinia gaumeri*); y el kopo'ch'lin (*Ficus maxima*), entre otros (Cáliz de Dios et al., 2014).

Cuando se emplean tutores inertes, estos deben ser lo suficiente resistente para soportar el peso de la planta cuando alcanza su máxima producción, el cual llega a ser de hasta 200 kg de peso total y sostener una planta de 1.5 a 2 m de altura. El material de los postes puede ser concreto, metal o madera muerta, dependiendo de los recursos económicos del productor. Los postes de concreto o metal representan un gasto inicial mayor que el de madera, sin embargo, a largo plazo esto se ve compensado por el hecho de que una vez colocados, son de mayor resistencia y duración. Mientras que los postes de madera son más baratos, pero en pocos años deben cambiarse por otros, lo cual implica trabajo e inversión (López & Guido, 2002).

Riego

Existen escasos datos acerca de la cantidad de agua óptima de riego para el cultivo de la pitahaya. Gunasena et al. (2007), mencionan qué, dado que la pitahaya pertenece a la familia de las cactáceas, no requiere de mucha humedad para sobrevivir, incluso desarrollarse en condiciones precarias. Sin embargo, se recomienda aplicar riegos de auxilio en los dos primeros años de plantación para estimular el crecimiento vegetativo, así como en la época de producción con el fin de evitar caída de flores y frutos mal llenados, teniendo presente que el agua es indispensable para lograr la mayor productividad (Lezama Escobedo et al., 2005).

Poda

La poda en pitahaya es quizás la actividad más importante que se debe hacer frecuentemente, ya que contribuye a dar forma a la planta y mantener la plantación en buenas condiciones productivas. Se conocen tres tipos de podas que se realizan a las plantas de pitahaya, poda de formación, poda de raleo y poda fitosanitaria (López & Guido, 2002; Gunasena et al., 2007; Castillo Martínez et al., 2016):

- a. **Poda de formación:** consiste en seleccionar tallos que crezcan en diferentes direcciones, para evitar aglomeraciones que promuevan pudriciones por diferentes patógenos. Esta poda facilita otras labores culturales, tales como: aplicaciones fitosanitarias, control de maleza, cosecha, etc. Se deben podar todos los brotes que la planta emite entre el nivel del suelo y un metro de altura.
- b. **Poda de raleo:** se eliminan tallos improductivos, ubicados en las partes inferiores e internas de la planta, con lo que se mejora la circulación del aire, una mayor exposición a la radiación solar, haciendo más productiva la planta al estimular la brotación de las yemas florales, también reduce peso innecesario al tutor y disminuye el contenido de humedad entre las ramas, reduciendo la incidencia de enfermedades.
- c. **Poda fitosanitaria:** esta poda se realiza para eliminar tallos afectados por plagas y enfermedades. El corte de los tallos se debe hacer en el entrenudo y el material afectado debe quemarse o enterrarse fuera de la plantación.

Control de malezas

Para eliminar especies herbáceas no deseadas dentro del cultivo de pitahaya se utilizan comúnmente tres métodos: control cultural, manual y químico. El primero, se inicia con la buena preparación del suelo, la asociación con otros cultivos como frijol, repollo, piña o cultivos de cobertura propios de la región, que reducen el complejo de malezas presentes, además de la erosión del suelo en áreas con mucha pendiente. El segundo método, se efectúa con machete, dado que las raíces de la pitahaya son superficiales, se recomienda realizar esta labor con cuidado para no provocar daños (heridas) a las raíces ya que éstas son vías de entrada para los patógenos que causan enfermedades del tipo fungoso o bacteriano (López & Guido, 2002; Lezama Escobedo et al., 2005; Castillo Martínez et al., 2016). El tercer método es el menos recomendado, sin embargo,

cuando es necesario, se debe realizar bajo el asesoramiento de un técnico especializado y siguiendo las recomendaciones del producto (Vargas et al., 2020)

2.1.2 Principales plagas y enfermedades

Plagas

Las principales plagas que se presentan en el cultivo de pitahaya son el barrenador (*Alberada bidentella* Dyar), cuya larva se alimenta de tallos, flores y frutos. Otra es el escarabajo *Cotinis mutabilis* (Gary & Percheron [Coleoptera: Scarabaeidae]) el cual puede dañar los tallos jóvenes y afectar la futura productividad de tallos y frutos; otras plagas ocasionales de la pitahaya son: *Leptoglossus zonatus* (Dallas), la chinche pata de hoja, cuyas ninfas se alimentan por succión de los tallos, originando clorosis en las zonas penetradas, estas plagas se pueden controlar con aceite de Nim o *Basillus thuringiensis*, *Metarhizium anisopliae* o con insecticidas organofosforados (Ortiz Hernández et al., 2015; Castillo Martínez et al., 2016).

Asimismo, Ramírez Delgadillo et al. (2011), reportaron que *Cactophagus spinolae* ataca al tallo y brotes florales, provocando daños severos a la planta cuando no es controlada a tiempo. Se recomienda control biológico utilizando el hongo *Beauveria bassiana* como parásito de la plaga.

Enfermedades

La enfermedad más común es la causada por el hongo *Botryosphaeria dothidea* (Moug) Ces & De Not., comúnmente denominado “ojo de pescado”. Afecta los tallos y se presenta principalmente en la época de sequía, cuando las plantas sufren por falta de agua y exceso de sol. Su control requiere de la poda de los tallos enfermos, así como su eliminación del campo de producción.

Otra enfermedad, causada por una bacteria, aparentemente *Pectobacterium carotovorum* subsp. *Carotovum* syn. *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora*, inicia con el amarillamiento del tallo, seguido por ablandamiento de este y finaliza

cuando el tejido acuoso se desprende dejando solo el haz vascular. Se presenta en la época de lluvia, cuando la humedad ambiental y la temperatura son altas. No se ha desarrollado una estrategia orgánica eficiente para controlar la enfermedad; por consiguiente, lo único que se puede hacer es podar los tallos enfermos y alejarlos de la plantación. La mejor forma de controlar ésta y otras enfermedades es mediante una nutrición equilibrada de la pitahaya (Castillo Martínez et al., 2016).

Por otro lado, Montesinos Cruz et al. (2015), mencionan que la antracnosis (*Colletotrichum gloesporoides*) con una incidencia del 16.6 %, pudrición basal (*Fusarium oxysporum*) con 29.3 %, daño por fumagina (*Cladosporium*) 34.2 %, marchitez (*F. oxysporum*) con 36.6 %, pudriciones en penca (*F. oxysporum*) con 47.5 % y roña de la fruta con 48 %, fueron reportadas como las enfermedades más importantes en algunas zonas del país.

2.1.3 Cosecha, rendimiento y calidad

La producción de pitahaya puede empezar desde el segundo año de establecida la planta, sin embargo, los volúmenes son bajos y aumenta hasta el cuarto o quinto año. De acuerdo con Castillo Martínez et al. (2016), la cosecha puede empezar desde principios de junio y terminar hasta el mes de octubre.

Los frutos de pitahaya se pueden cosechar en tres estados de madurez que fueron clasificados con base en la coloración del fruto: inicial (25-50 % de coloración), medio (50-75 % de coloración) y completo (75-100 %). En la primera situación, se tendrán frutos con firmeza, acidez, vitamina C y una relación °Brix/acidez aceptable, hasta 10 días después de cosechados, aunque la coloración de la cáscara no será la mejor. Por su parte, en los estados de madurez media y completa, se tendrá una mejor apariencia hasta los 12 días después de la cosecha, sin embargo, las características de firmeza, acidez y vitamina C y una relación °Brix/acidez se mantendrán en niveles aceptables hasta los 8 días (Osuna Enciso et al., 2011).

De acuerdo con Rodríguez Canto (2002), el rendimiento de kilogramos por hectárea de *Hylocereus undatus* depende del nivel de tecnología que haya sido utilizado. En México, en un sistema tradicional, una planta produce 40 frutos con peso promedio de 250 g, con una densidad de 1,200 plantas se podrán obtener hasta 12,000 kg por hectárea. Lo que coincide con lo reportado por Osuna Enciso et al. (2016), donde al evaluar el rendimiento de una plantación de 3x3 con una densidad de 1,111 plantas por hectárea, durante tres años consecutivos, obtuvieron rendimientos de 10.9, 13.4 y 10 t ha⁻¹.

2.1.4 Producción nacional de pitahaya

De acuerdo con datos del SIAP (2020), la producción de pitahaya ha ido en aumento en los últimos 5 años (Cuadro 1), así como el número de estados del país donde se cultiva pitahaya. Esto es debido a que las plantaciones recientes empiezan a llegar a la madurez, puesto que en los primeros años la producción es reducida, e incrementa conforme se desarrolla.

Cuadro 1. Principales estados productores (t) de pitahaya por estado en los últimos cinco años

Entidad	Producción					Total
	2015	2016	2017	2018	2019	
Aguascalientes	0.00	0.00	0.00	12.00	76.00	88.00
Guerrero	7.87	8.19	11.88	8.50	9.55	45.99
Puebla	308.12	403.85	442.67	467.68	407.50	2029.82
Quintana Roo	438.40	803.54	2,187.80	2,306.10	4,409.86	10145.70
Tabasco	10.00	105.00	112.00	121.57	124.00	472.57
Yucatán	2471.80	2,837.07	2,776.07	3,541.36	4,002.23	15628.53

Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP (2020)

2.1.5 Sistemas de producción de pitahaya en asociación o sistemas agroforestales

El cultivo de la pitahaya es rentable y ha tenido un rápido crecimiento en los últimos años, debido principalmente a la alta demanda y valor que tiene el fruto,

en el mercado nacional e internacional. Por ello, se han implementado diferentes formas de cultivar la pitahaya, desde huertos caseros, monocultivos, en sistemas agroforestales, así como en asociación con cultivos anuales (Bárcenas & Jiménez, 2010; Ebel et al., 2013; Cálix de Dios et al., 2014).

Sistema agroforestal

Los sistemas agroforestales presentan ciertas ventajas desde el punto de vista ecológico sobre los monocultivos, tales como conservación de la biodiversidad, protección del suelo contra la erosión; económicamente presenta diversidad de productos, mayor producción por mejores características físicas, químicas y biológicas del suelo, menor uso de agroquímicos. Desde el punto de vista social, al tener diversidad de especies disminuye el riesgo de pérdida por ataque de plagas a un cultivo en específico, hay más oportunidad de empleo durante todo el año, así como la producción de frutos, granos, madera, forraje, etc. Lo anterior hace que los sistemas agroforestales sean una alternativa de producción para las comunidades de México, siendo sustentable en el mediano y largo plazo (Román Miranda et al., 2016).

El cultivo de la pitahaya en sistemas agroforestales ha sido el primer sistema de cultivo, ya que fue la forma en que se cultivó al principio de su domesticación, principalmente en huertos familiares utilizando especies arbóreas como tutor para su desarrollo (Castillo Martínez, 2006). Posterior a ello y con la intención de intensificar el cultivo para obtener mayores rendimientos al mismo tiempo que aumentar la superficie, se han establecido plantaciones a campo abierto utilizando árboles de importancia para los productores de la región darle soporte a la pitahaya, tales como cedro rojo (*Cedrela odorata*), caoba (*Swietenia macrophylla*), guamúchil (*Pithecellobium dulce*), mezquite (*Prosopis sp.*), entre otros. Aunado a lo anterior, también se siembran cultivos anuales o perennes de porte bajo como la piña (*Ananas comosus*), chile habanero (*Capsicum chinense*), convirtiéndose en un sistema agroforestal (Bárcenas Abogado & Jiménez Castañeda, 2010; Ebel et al., 2013; Cálix de Dios et al., 2014). Esto permite que además de obtener producción de pitahaya, también percibir productos de las

especies arbóreas como madera, leña, forraje, etc. y de los cultivos anuales también cosechar productos que remuneren y contribuyan al bienestar de los productores, esto principalmente en los primeros 3 años de la plantación, que es cuando la planta de pitahaya aún no ocupa todo el espacio y permite el cultivo de hortalizas y legumbre, entre otros.

Asociación con cultivos anuales

Al igual que en sistemas agroforestales, la pitahaya también se cultiva en asociación con cultivos anuales, la diferencia radica en que no está presente el componente arbóreo, razón por la cual se separa de la clasificación de sistema agroforestal. En este sistema de cultivo, se sustituye el componente arbóreo como tutor y en su lugar se emplean postes de diferentes materiales, acorde a las posibilidades de los agricultores.

Se utiliza principalmente donde las condiciones de humedad son limitadas, lo que dificulta el buen desarrollo del árbol y la pitahaya en un mismo lugar, ya que, al competir por humedad, se perjudica el buen desarrollo y producción de la pitahaya. Los cultivos que pueden asociarse a la pitahaya son principalmente de temporal, tales como maíz, frijol, chile, calabaza, sandía, entre otros, ya que, por el corto tiempo de plantación no originan alta competencia con los factores que regulan el crecimiento y permiten obtener beneficios por la cosecha de dichos cultivos (Castillo Martínez, 2006; Castillo Martínez et al., 2016).

2.1.6 Factores limitantes para el cultivo de pitahaya

Cada cultivo requiere de ciertas condiciones edafoclimáticas para desarrollarse, que complementadas con un buen manejo estos llegan a producir los rendimientos máximos, sin embargo, cuando uno o más de estos factores no se encuentra en nivel adecuado, la respuesta de la planta será un bajo desarrollo y rendimientos bajos. Por tal razón, es primordial considerar cada uno de los factores y reducir el riesgo de caer en tal situación.

La nutrición es la base del buen desarrollo y producción en casi cualquier cultivo, ya sea de ciclo corto o perenne, por lo que esta actividad se debe realizar con estricto apego a los requerimientos de la planta que se trate, sin exceder los límites ya que esto también puede tener efectos negativos. Aunado a lo anterior, hay condiciones climáticas como la temperatura que puede ser una limitante en el desarrollo de la pitahaya. Como se mencionó anteriormente esta especie no tolera heladas, por lo que es necesario considerar este factor al momento de establecer la plantación (Lezama Escobedo et al., 2005; Bárcenas & Jiménez, 2010). En cuanto al riego también es importante mencionar que la especie tolera las sequías, sin embargo, para alcanzar altos rendimientos se deberá suministrar suficiente agua.

Otro elemento importante que se debe considerar para lograr un buen desarrollo de la pitahaya, es el drenaje del suelo, el cual debe evitar el encharcamiento de agua, ya que esto genera foco de infección por enfermedades ocasionadas por hongos y bacterias, principalmente en la raíz (López & Guido, 2002; Lezama Escobedo et al., 2005).

Existen otros factores que influyen en el rendimiento de fruto de pitahaya, lo cual tiene que ver con la polinización. Existen especies de pitahaya que al momento de la polinización presentan problemas de autoincompatibilidad, lo cual indica que los granos de polen no pueden fecundar los óvulos en la misma especie, disminuyendo significativamente la producción de frutos (Castillo Martínez et al., 2005; Castillo Martínez, 2006; Osuna Enciso et al., 2016). Este problema se soluciona realizando polinización manual con especies del mismo género, compatibles a las autoincompatibles. Esto representa un mayor trabajo e inversión para los productores, sin embargo, parece ser la forma más eficaz de aumentar la producción en estas especies.

Los aspectos anteriores representan problemas para la producción de pitahaya, sin embargo, estos ya han sido resueltos en países como Vietnam, Israel, China, Taiwán, entre otros, donde alcanzan producciones de entre 20-50 t ha⁻¹ (Nguyen 2020), mientras que en México de acuerdo con datos del SIAP (2020) se obtienen

rendimientos de entre 3.2 y 8.0 t ha⁻¹, lo que indica que es posible incrementar la producción controlando los factores mencionados, así como la nutrición, siendo esta la base del buen desarrollo y producción del cultivo.

2.2 Manejo nutrimental de pitahaya

La buena nutrición del cultivo y un efectivo plan de fertilización dependen del resultado de los análisis de fertilidad del suelo. Esto determinará la aplicación de las enmiendas necesarias y con mayor exactitud los nutrientes necesarios para el buen desarrollo del cultivo. Entre las investigaciones desarrolladas en pitahaya se ha determinado que tiene altas exigencias de potasio, medias de nitrógeno y bajas de fósforo, además, responde muy bien a aportes de materia orgánica. De tal manera que las aplicaciones de fertilizantes sean las adecuadas para lograr un balance nutrimental que, combinado con otras actividades como control de plagas y enfermedades, riegos, control de malezas, etc., se logren los rendimientos máximos de la pitahaya (Castillo Martínez et al., 2016).

2.2.1 Diagnóstico nutrimental de suelo y planta

El diagnóstico de fertilidad de suelos con el objetivo de generar recomendaciones de nutrientes ha evolucionado marcadamente en los últimos años. El análisis de suelos continúa siendo probablemente el enfoque más utilizado a nivel mundial, pero otras metodologías o enfoques tales como otros indicadores de suelo, muestreos georeferenciados, análisis de planta, sensores remotos, modelos de simulación y requerimientos de los cultivos aportan alternativas complementarias y/o mejores para realizar los diagnósticos de fertilidad (Janssen et al., 1990; Malavolta et al., 1997; Satorre et al., 2005; Melchiori, 2007; Shanahan et al., 2008). Los cultivos requieren determinada cantidad de nutrientes para su óptimo desarrollo, los cuales se pueden suministrar por medio de fertilización, sin embargo, es necesario conocer las condiciones de fertilidad del suelo donde desarrolla, así como el estado nutrimental de las plantas, para lo cual se deben realizar análisis por separado de cada uno de éstos.

Análisis de suelo

El suelo es la principal fuente de nutrientes para las plantas y su oferta se estima usualmente a través del análisis de suelos de las formas “disponibles” o “extractables” de los nutrientes. Los análisis de suelos con fines de diagnóstico de fertilidad son extracciones químicas y/o bioquímicas rápidas que intentan estimar la disponibilidad de nutrientes (Correndo & García, 2016).

Para el análisis de suelo, se parte de una muestra representativa del terreno que se pretende evaluar. De acuerdo con Carretero et al. (2016), la profundidad a la cual deben extraerse las muestras depende de las características del nutriente o propiedad del suelo que se pretenda determinar. Los nutrientes poco móviles como el P y los micronutrientes, así como la materia orgánica (MO), el pH, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) suelen medirse a partir de muestreos de la capa superior del suelo (0-20 cm). Por su parte, nutrientes como el nitrógeno (N) de nitrato y, en menor grado, el azufre (S) de sulfato, que presentan mayor movilidad en el suelo, pueden alcanzar capas más profundas y las raíces de los cultivos allí presentes pueden tomarlos. Por ello, en general, se recomienda conocer la disponibilidad de estos nutrientes en 0-60 cm.

El análisis químico de la muestra de suelo se realiza en laboratorios especializados, donde se determinan principalmente contenido de MO, CIC, así como el contenido de macro y micronutrientes.

Análisis de planta

El análisis foliar es una herramienta muy útil para determinar las necesidades de fertilización y para evaluar de manera continua el estado nutricional del cultivo mediante el análisis de una parte de la planta que comúnmente es la hoja (Instituto de la Potasa y el Fósforo [INPOFOS], 1994). Los resultados de este análisis más los resultados del análisis de suelo permiten determinar si existe deficiencia o exceso de algún nutriente en el cultivo.

El análisis se realiza principalmente en tejidos de la planta, obtenidas mediante un muestreo representativo, tanto de la planta como de toda el área bajo el cultivo que se desea diagnosticar. Una vez obtenidas las muestras, se envían a un laboratorio especializado en análisis de tejido vegetal para determinar el contenido de macro y micronutrientes.

Desviación Óptimo Porcentual (DOP)

Es un método de diagnóstico que evalúa simultáneamente intensidad y calidad de nutrición de la planta, asimismo, permite además del diagnóstico realista de una situación nutricional dada, conocer el orden de limitación, tanto por exceso como por déficit, de cada uno de los nutrientes analizados. El índice DOP, puede entenderse como la desviación porcentual de la concentración de un elemento (% sobre materia seca) con respecto a la concentración óptima considerada valor de referencia, puede tener signo positivo en el caso de exceso, negativo en caso de déficit o cero cuando coincida con el valor óptimo (Montañés et al., 1991).

Se calcula usando la siguiente fórmula (Montañés et al., 1991):

$$DOP = \frac{C * 100}{C_{ref}} - 100$$

Donde:

C=concentración foliar (en % sobre materia seca) del elemento en la muestra analizada; C_{ref}= óptimo del mismo elemento (% sobre materia seca) definido en las mismas condiciones en que fue tomada la muestra problema y del mismo cultivo.

El cálculo de DOP para cada elemento de interés en la planta, se obtiene un panorama nutricional, con lo que es posible emitir un diagnóstico que oriente a la toma de decisiones sobre la fertilización del mismo.

Índice de Balance de Kenworthy

Fue desarrollado por Kenworthy para árboles frutales. Se basa en usar la concentración media poblacional (S) de cada nutrimento y el coeficiente de variación (CV) de una población de árboles con alto rendimiento. Determina la distancia que tienen un nutrimento cuantificado en una muestra foliar con respecto a un valor de referencia o de norma. Las concentraciones nutrimentales en una muestra se expresan como porcentaje del valor estándar y se ajustan mediante el CV del estándar obteniendo el Índice de Balance de Kenworthy (IBK) (Kenworthy, 1967). Para obtener los IBK de una muestra X se emplea la siguiente fórmula:

Si el valor de la muestra es menor que el valor estándar:

$$P = \frac{X}{S} * 100$$
$$I = (100 - P) \left(\frac{V}{100} \right)$$
$$B = P + I$$

Donde:

Si el valor de la muestra es mayor que el valor estándar:

$$P = \frac{X}{S} * 100$$
$$I = (P - 100) \left(\frac{V}{100} \right)$$
$$B = P - I$$

X=Valor de la muestra; S=Valor estándar; P=Porcentaje del estándar; V=Coeficiente de variación; I=Influencia de la variación; B=Índice de equilibrio

2.2.2 Nutrición de pitahaya

La nutrición de plantas no sólo se basa en la cantidad de nutrientes en el suelo, sino a la disponibilidad de éstos, los cuales dependen de las características del suelo, tales como el pH, temperatura, compactación y aireación. Otros factores son las interacciones antagónicas entre nutrimentos; se sabe que el K tiene un efecto antagónico con Mg y Ca, lo que puede ocasionar un desbalance de estos nutrimentos en la planta, asimismo, las condiciones de la planta también influyen en la absorción de nutrientes, principalmente la raíz, ya que es la vía de ingreso de los nutrientes disponibles a la planta, por lo que raíces dañadas por agentes como compactación, labores de cultivo, plagas y enfermedades, reducen la

capacidad de absorción y por lo tanto, un desbalance nutrimental que se ve reflejado en bajos rendimientos .

Balance nutrimental de pitahaya

El balance nutrimental indica la relación que existe entre el contenido de nutrientes en la planta respecto a los valores óptimos de balance, los cuales representan un estado nutrimental óptimo para obtener máximos rendimientos. Por lo tanto, para obtener el balance de nutrientes, se emplean diferentes técnicas, como el IBK y el DOP, mencionados anteriormente. Dado lo anterior, es necesario contar con valores de referencia para realizar el diagnóstico, los cuales pueden ser lo óptimos nutricionales para cada especie en estudio (Kenworthy, 1967; Montañés et al., 1991).

Requerimientos nutrimentales para pitahaya

El manejo de la pitahaya en cuanto a nutrición aún no está bien definido, sin embargo, Castillo Martínez et al. (2016), propone una fertilización con base a la aplicación de 300 a 500 g de ceniza de leña un mes antes del inicio de la producción; una segunda aplicación cuando comienza la floración y una tercera en la mitad del período de producción; asimismo, sugieren la aspersión foliar de un biofertilizante a base de estiércol para proporcionar nitrógeno.

Por otro lado, Almeida et al. (2016), mencionan que la aplicación de 150 – 225 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ de P, de 4-6 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ de Zn, de 300-450 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ de N y de 150 - 225 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ de K genera crecimiento vegetativo en cortos periodo de tiempo.

En Taiwán aplican 4 kg de fertilizante orgánico acompañado de 100 g de fertilizante químico 13-13-13 de NPK por planta cada 4 meses; en Hawái aplican una mezcla de 16-16-16 de NPK a razón de 180-230 g por planta cada 4 o 6 meses. Los mismos autores reportan que en Vietnam, a las plantas de menos de 3 años de plantadas, son fertilizadas con 10-15 kg de estiércol de granjas y 100 g de fertilizante químico superfosfato por planta en el momento de la siembra, y después aplican 300 g de N y 200 g de NPK (16-16-8) a cada planta por año,

asimismo, a plantas maduras (de más de 3 años), aplican 540 g de N, 720 g de P_2O_5 , 300 g de K_2O y 20 kg de estiércol por planta por año, aplicado en cuatro dosis, la primera de 40 % de N, 30 % de P_2O_5 , y todo el estiércol justo después de la cosecha; la segunda la realizan dos meses después con el 30 % de N, 20 % de P_2O_5 y 15 % de K_2O ; la tercera (10 % de N, 40 % de P_2O_5 y 40 % de K_2O) la aplican justo antes de la floración y el porcentaje restante lo aplican cuando las frutas se están desarrollando (Gunasena et al., 2007).

En un estudio realizado por Almeida et al., (2016), donde aplicaron fertilización a base de N, P, K y Zn a estacas de *Hylocereus undatus* y realizaron análisis foliares a los 6 meses, determinaron niveles de suficiencia de concentración de dichos elementos en la planta (Cuadro 2). Debido a que utilizaron estacas en etapa de desarrollo inicial, utilizaron la producción de materia seca para evaluar rendimiento.

Cuadro 2. Rango de suficiencia de nutrimental para plantas de pitahaya.

Elemento	Unidades	Rango de suficiencia
Nitrógeno (N)	g kg ⁻¹	12.3-18.1
Potasio (K)	g kg ⁻¹	23.7-37.7
Fósforo (P)	g kg ⁻¹	3.8-6.1
Zinc (Zn)	mg kg ⁻¹	83.1-144.4

Fuente: Almeida et al. (2016)

2.3 Factores que regulan el rendimiento y calidad de fruta

La producción de fruta de pitahaya, como en todo tipo de cultivo, depende de las condiciones edafoclimáticas del lugar donde se desarrolle (precipitación, temperatura, luz, altitud), del manejo (riego, nutrición, control de arvenses, manejo de plagas y enfermedades), principalmente (López & Guido, 2002; Cenobio Pedro et al., 2004).

Otro factor determinante en algunas especies de pitahaya como *Hylocereus polyrhizus* e *H. costaricensis*, es la autoincompatibilidad sexual, es decir, para

producir necesita el polen de otras especies del mismo género, lo cual se soluciona polinizando manualmente las flores de estas especies con polen de especies compatibles (Castillo Martínez et al., 2005). El proceso de polinización cruzada de la pitahaya supone tomar el polen de una flor de un cultivar determinado y colocar el polen en el estigma de otra flor de otro o del mismo cultivar. La polinización de la pitahaya se puede hacer de dos formas: La primera consiste en tomar la flor del polinizante, cortarla y restregar el polen por el estigma de la flor que se desee polinizar. Esta forma sólo permite hacer la polinización en el caso de que las dos flores abran el mismo día, por lo que el éxito de la polinización se verá comprometido por la coincidencia en las floraciones, siendo muy baja la posibilidad de éxito, por lo que no es muy recomendable.

El segundo procedimiento consiste en tomar el polen de una especie cuando ésta se encuentre en floración, para lo cual se utiliza un recipiente de cristal. El procedimiento es simple, sin cortar la flor y cuando ésta aún no abre completamente, se introducen los estambres al recipiente y se agitan para provocar la ruptura del saco polínico y que éstos sean liberados y colectados. Inmediatamente se coloca la campana en refrigeración a temperatura menor a 12 °C, para mantener el poder polinizante hasta por 4 días (Méndez Hernández et al., 2013). A continuación, se aplica el polen en el cultivar deseado para la obtención de fruto. El polen de una flor puede polinizar correctamente hasta 15 flores, siendo 10 el número promedio. En ambos casos, la colecta del polen debe realizarse cuando la flor a la cual se le extraerá aún no ha abierto completamente, lo que ocurre en las primeras horas de la noche.

2.3.1 Concentración nutrimental del fruto de pitahaya

El fruto de la pitahaya es carnoso con alto contenido de agua y compuestos químicos responsables del sabor y color de éste, mismos que le confieren un buen valor nutricional. La parte comestible de la fruta es el mesocarpio que es cubierto por un pericarpio que a diferencia de otras cactáceas no tiene espinas, lo que facilita su manejo durante la cosecha y poscosecha, es carnoso y representa del 20 al 45 % del peso total del fruto (Esquivel & Araya, 2012;

Mercado Silva, 2018). El fruto contiene entre 86 y 88 % de agua, es ácido con niveles de sólidos solubles totales que le dan un sabor dulce moderado (Cuadro 3, Cuadro 4 y Cuadro 5) (Le Bellec et al., 2006; Hernández Ramos et al., 2020; Nguyen, 2020).

Cuadro 3. Características químicas del fruto de dos especies de pitahaya

Variable	<i>H. undatus</i>	<i>H. costaricensis</i>
Nivel de pH		4.3-4.7
Contenido de materia seca (%)		12±1
Acidez titulable total (g L ⁻¹)		2.4-3.4
Sólidos solubles totales (°Brix)	7.1-10.7	3.05-5.7
Contenido de proteína (g L ⁻¹)	1.2	1.25
Lípidos (g L ⁻¹)	1.17	1.43
Glucosa (g L ⁻¹)	46	55
Fructosa (g L ⁻¹)	18	19
Potasio (g L ⁻¹)	4	3.2
Sodio (mg L ⁻¹)	33	733
Magnesio (mg L ⁻¹)	265	312
Calcio (mg L ⁻¹)	30	23
Ácido Ascórbico (mg L ⁻¹)		11±0.5
Contenido energético (kcal·100 g ⁻¹)	37.9	41.7

Fuente: Le Bellec et al., (2006)

Este fruto proporciona beneficios a la salud, como prevenir problemas del corazón debido al contenido de flavonoides. Asimismo, por el alto contenido de fibra y vitaminas del grupo B, ayuda al sistema digestivo, así como la reducción de niveles de colesterol malo. Es una buena opción para controlar los niveles de azúcar en la sangre en personas con padecimiento de diabetes tipo 2 (Perween et al., 2018).

Asimismo, Hernández Ramos et al. (2020), encontraron altos contenidos de elementos esenciales como K, N, Mg y P (Cuadro 4) en dos especies de pitahaya que se cultivan en el centro del país, con lo que se sustenta la importancia nutricional que tienen los frutos del género *Hylocereus*.

Cuadro 4. Composición nutricional de frutos de pitahaya blanca y roja

Elemento	<i>H. undatus</i>	<i>H. ocamponis</i>
pH	4.60	5.00
Acidez titulable (% de ácido málico)	0.33	0.15
Sólidos solubles totales (°Brix)	14.41	15.63
Humedad (%)	86.12	86.67
Carbohidratos (%)	11.05	11.47
Proteína (%)	0.93	0.76
Lípidos (%)	0.67	0.39
Fibra cruda (%)	0.70	0.32
Ceniza (%)	0.71	0.43
Valor energético (Kcal 100 g ⁻¹)	53.89	52.38
Nitrógeno (mg 100 g ⁻¹)	140.18	110.62
Fósforo (mg 100 g ⁻¹)	19.43	14.66
Potasio (mg 100 g ⁻¹)	294.23	175.93
Calcio (mg 100 g ⁻¹)	8.33	6.66
Magnesio (mg 100 g ⁻¹)	33.31	23.99
Azufre (mg 100 g ⁻¹)	13.88	14.66
Sodio (mg 100 g ⁻¹)	0.00	0.00
Níquel (mg 100 g ⁻¹)	0.00	0.00
Fierro (mg 100 g ⁻¹)	0.20	0.36
Zinc (mg 100 g ⁻¹)	0.28	0.16
Manganeso (mg 100 g ⁻¹)	0.08	0.05
Cobre (mg 100 g ⁻¹)	0.02	0.02
Boro (mg 100 g ⁻¹)	0.15	0.13
Molibdeno (mg 100 g ⁻¹)	0.00	0.00

Fuente: Hernández Ramos et al. (2020)

Se ha reportado un mayor contenido de nutrientes en la especie *H. undatus* que en *H. ocamponis*, pitahaya de pulpa blanca y de pulpa roja, respectivamente, sin embargo, ambas especies representan una fuente importante de nutrientes, fibra y calorías (Cuadro 4).

Cuadro 5. Contenido nutricional del fruto de pitahaya de pulpa roja (*H. polyrhizus*)

Elemento	Contenido	Elemento	Contenido
Humedad (%)	87.3±0.02	Hierro (mg 100 g ⁻¹)	3.4±0.25
Cenizas (%)	0.7±0.03	Zinc (mg 100 g ⁻¹)	13.87±0.65
Proteína (%)	0.16±0.02	Cobre (mg 100 g ⁻¹)	0.031±0.004
Grasas (%)	0.23±0.03	Tiamina (μg 100 g ⁻¹)	48.9±1.56
Carbohidratos (%)	1.48±0.15	Riboflavina (μg 100 g ⁻¹)	40.75±3.47
Fibra cruda (%)	10.1±0.25	Niacina (μg 100 g ⁻¹)	513.78±6.53
Calcio (mg 100 g ⁻¹)	5.7±0.08	Piridoxina (μg 100 g ⁻¹)	20.57±2.23
Fósforo (mg 100 g ⁻¹)	23±0.04	Cobalamina (μg 100 g ⁻¹)	15.61±1.89
Magnesio (mg 100 g ⁻¹)	28.3±0.97	Ácido ascórbico (μg 100 g ⁻¹)	10.32±1.1
Sodio (mg 100 g ⁻¹)	50.15±0.1	Vitamina A (μg 100 g ⁻¹)	120.13±3.2
Potasio (mg 100 g ⁻¹)	56.96±0.02	Vitamina E (μg 100 g ⁻¹)	105.67±4.15

Fuente: Nguyen (2020)

Se observa su alto contenido de vitaminas (Cuadro 5), así como nutrientes benéficos para la salud humana, lo cual le confiere un alto potencial para su consumo y por lo tanto su demanda en los mercados nacionales e internacionales.

2.3.2 Compuestos fitoquímicos en frutos de pitahaya

Las betalaínas son un grupo de pigmentos solubles en agua que dan coloración rosa-rojizo a flores, frutos y en algunos casos raíces y hojas en las plantas del orden Cariofilales, excepto en las familias Cariofilaceae y Moluginaceae, en donde los pigmentos responsables de la coloración son las antocianinas (Tanaka et al., 2008; García Carmona et al., 2011).

Por otro lado, los fenoles solubles totales son compuestos bioactivos que se encuentran en gran parte de reino vegetal, que al igual que las betalaínas han mostrado tener beneficios en la salud humana tal como en retardar daños en el sistema nervioso central causados por el envejecimiento de las células, brinda protección contra distintas enfermedades, como cardiovasculares, diabetes,

cáncer, entre otras (Stintzing & Carle, 2004; Ajie, 2015; Ibrahim et al., 2018; Verona Ruiz, 2020).

Betalainas

Se ha encontrado que los pigmentos responsables de la coloración rosa-rojizo en frutos de pitahaya son únicamente betalainas. Estas se dividen en dos grupos: (1) betacianinas y (2) betaxantinas; las cuales se han identificado en frutos de pitahaya, tanto en cáscara como en pulpa, algunas de ellas son: betanina, hylocerina y filocactina en diferentes concentraciones (Wybraniec & Mizrahi, 2002; Naderi, et al., 2012; Mello, et al., 2015).

Las tonalidades de pulpa del fruto de la pitahaya son variadas. De la especie más cultivada que es *H. undatus*, se sabe que la pulpa es color blanco y la cáscara de color rosa-rojizo cuando han alcanzado la madurez. Por otro lado, hay otras especies con menor distribución que tienen pulpa con tonalidades que van del rojo al rosa claro, lo que advierte de la presencia de pigmentos responsables de estos colores, específicamente de betalainas (García Carmona, 2013).

Esquivel & Araya (2012) reportaron contenidos de betacianinas de 717 y 707 mg mL⁻¹ para dos genotipos de pitahaya en Costa Rica; Hernández Ramos, et al., (2020), reportaron para la especie *H. undatus* valores de 0.02 mg 100 g⁻¹ de contenido de betalainas totales en pulpa, de las cuales 0.01 mg 100 g⁻¹ corresponden a betacianinas y otra cantidad igual a betaxantinas; asimismo, los mismos autores reportaron valores de 15.94 mg 100 g⁻¹ de contenido de betalainas totales para la especie *H. ocamponis*, de las cuales 11.98 mg 100 g⁻¹ son betacianinas y 3.97 mg 100 g⁻¹ betaxantinas.

Por otro lado, Naderi, et al., (2012), realizaron la extracción de betalainas de la especie *H. polyrhizus* empleando tres tipos de solventes, obteniendo 3 tipos de betalainas (betanina, filocactina e hylocerina) que pertenecen al subgrupo de betacianinas, de las cuales, la filocactina se encontró en mayor porcentaje (47.8-52.3 %), la betanina en segundo lugar (29.7-33.9 %) y la hylocerina en tercer

lugar (10.6 a 11.2 %). Lo anterior coincide con lo reportado por Wybraniec y Mizrahi (2002), quienes reportaron el mismo orden en contenido de betalaínas en la especie *H. polyrhizus*, filocactina (36.1 %), betanina (18.9 %) e hylocerina (11.7 %); los mismos autores reportaron valores de 0.28, 0.30, 0.23, 0.39, 0.29 mg g⁻¹ de pigmentos en *H. polyrhizus*, *H. sp. 487*, *H. purpusii*, *H. costaricensis* e *H. undatus* respectivamente.

Fenoles solubles totales

Aún no se han estudiado de manera extensa la concentración de estos compuestos en frutos de pitahaya, sin embargo, ya existen datos que revelan que la pitahaya es una fuente importante de estos. Hernández Ramos et al. (2020), reportaron un contenido de fenoles solubles totales para *H. undatus* 126 y 139.39 mg 100 g⁻¹ en pulpa y cáscara respectivamente; los mismos autores encontraron 132.47 y 127.88 mg 100 g⁻¹ en pulpa y cáscara respectivamente para la especie *H. ocamponis*, ambas especies cultivadas en suelos calcáreos de en mixteca poblana.

En otro estudio realizado por Ochoa Velasco et al. (2012), reportaron que obtuvieron hasta 45.31 mg 100 g⁻¹ en tres variedades de pitahaya; en otro estudio realizado por Wee y Wee (2011), obtuvieron 15.92 y 24.22 mg 100 g⁻¹ en fruta completa (cáscara y pulpa mezcladas) y pulpa respectivamente, en la especie *H. polyrhizus*, mientras que en *H. undatus* obtuvieron 20.14 y 28.65 mg 100 g⁻¹ en fruta completa y pulpa, respectivamente.

Lo anterior proporciona evidencia que los frutos de pitahaya pueden ser una alternativa para llevar una vida saludable, sin embargo, es necesario realizar más estudios que sustenten las funciones de los compuestos fitoquímicos mencionados, así como determinar en qué especies se pueden encontrar mayores cantidades y los factores que promuevan la producción de estas sustancias en las plantas.

2.3.3 Indicadores de calidad de fruta de pitahaya

De acuerdo con Osuna Enciso et al. (2016) y con Ortiz & Takahashi (2020), las características que determinan la calidad de fruto de pitahaya y por lo tanto su aceptación en el mercado son las siguientes:

Características físicas:

Peso: es una de las características más importantes a considerar, en promedio 293 a 468 g, aunque se pueden encontrar frutos de mayor tamaño y también más pequeños.

Diámetro ecuatorial: esta medida junto con el diámetro longitudinal indica qué tan esférico es el fruto. El promedio es de 7.9 a 8.2 cm.

Diámetro polar: los valores más aceptados en el mercado son de 11.7 a 14.3 cm.

Color de cáscara: es la característica más sobresaliente junto con el tamaño, ya que es lo que resalta a la vista. Este se mide en ángulos de tono ($^{\circ}$ H), el cual debe ser **menor a 30 $^{\circ}$** .

Propiedades químicas:

Contenido de sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Brix): cuando la fruta ha alcanzado la madurez fisiológica, contienen entre 10.9 a 17 $^{\circ}$ Brix. Esto varía con la especie de pitahaya, la pitahaya de pulpa roja alcanza valores más altos que la de pulpa blanca.

Acidez titulable: se representa cómo % del ácido málico en el fruto, valores cercanos a 0.24 % presentan un sabor aceptable para los consumidores.

pH: esta característica debe estar entre 4.2 y 4.9 para tener un valor aceptable en el mercado. De acuerdo con el mismo autor, estas características dependen de la madurez fisiológica del fruto al momento del corte, la cual llega entre 25 y 32 días después de la antesis.

2.4 Literatura citada

- Ajie, R. B. (2015). White dragon fruit (*Hylocereus undatus*) potential as diabetes mellitus treatment. *J MAJORITY*, 4(1), 69-72.
- Almeida, E. I. B., Lima de Deus, J. A., De Medeiros Corrêa, M. C., Araujo Crisostomo, L., Lima Neves. (2016). Linha de fronteira e chance matemática na determinação do estado nutricional de pitaiá. *Revista Ciência Agronômica*, 47(4), 744-754. DOI: 10.5935/1806-6690.20160089.
- Bárcenas Abogado, P., & Jiménez Castañeda, V. (2010). Pitayas y Pitahayas (*Stenocereus* spp. e *Hylocereus* spp.), recursos agrícolas en el Valle de Tehuacán Puebla. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, 10(19), 101–119.
- Bravo Hollis H. (1978). Las Cactáceas de México, Vol. 1. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F.
- Britton, N.L., & Rose, J.N. (1963). The cactaceae: description and illustrations of plants of the cactus family, Volumes 1 and 2. Dover, New York.
- Cáliz de Dios, H., Castillo Martínez, R., & Caamal Canché, H. J. (2014). Caracterización De La Producción De Pitahaya (*Hylocereus* spp.) en la zona maya de quintana roo, México. *Agroecología*, 9(1–2), 123-32.
- Carretero, R., Marasas, P.A., Souza, E., & Rocha, A. (2016). Conceptos de utilidad para un correcto muestreo de suelos. Archivo Agronómico No. 15. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica No. 21. IPNI Cono Sur. Buenos Aires. <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1256>.
- Castillo Martínez, R., Livera Muñoz, M., & Márquez Guzmán, G. J. (2005). Caracterización morfológica y compatibilidad sexual de cinco genotipos de pitahaya (*Hylocereus undatus*). *Agrociencia*, 39(2), 183-194
- Castillo Martínez, R. (2006). Aprovechamiento de la pitahaya: bondades y problemáticas. *Caos Conciencia*, 1986, 13–18.
- Castillo Martínez, R., Ebel, R., Cáliz de Dios, H., Ferral Piña, J., & Nava Padilla, R. (2016). Guía para la producción sostenible de pitahaya en la península de Yucatán, México.
- Correndo, A., & García, F. (2016). XXIV Congreso Aapresid “Resiliar”: *Método de diagnóstico tradicional en cultivos extensivos en Argentina*. Rosarios, Santa Fe, Argentina.
- Ebel, R., Méndez Aguilar, M. de J., Brito Estrella, E. E., & Calix de Dios, H. (2013). Arreglo óptimo del policultivo chile habanero y pitahaya con manejo agroecológico. *Revista Innovación para la vinculación*, 3(2), 1-10.
- Esquivel, P., & Araya Quesada, Y. (2012). Características del fruto de la pitahaya (*Hylocereus* sp.) y su potencial de uso en la industria alimentaria. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 3(1), 113-129.

- Gandía Herrero, F., Cabanes, J., Escribano, J., García Carmona, F., & Jiménez Atiénzar, M. (2013). Encapsulation of the most potent antioxidant betalains in edible matrixes as powders of different colors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(18), 4294-4302. <https://doi.org/10.1021/jf400337g>
- García Carmona, F., Gandía Herrero, F., & Escribano, J. (2011). Flores fluorescentes. *Investigación y ciencia*, 415, 50-57.
- García Rubio, L. A., Vargas Ponce, O., Ramírez Mireles, F. D. J., Munguía Lino, G., Corona Ocegüera, C. A., & Cruz Hernández, T. (2015). Distribución geográfica de *Hylocereus* (Cactaceae) en México. *Botanical Sciences*, 93(4), 921–939.
- Gunaseena, H. P. M., Pushpakumara, D. K. N. G., & Kariyawasam, M. (2007). Dragon Fruit. *Hylocereus undatus* (Haw.) Britton and Rose. In: Pushpakumara D. K. N. G., Gunaseena, H. P. M. & Singh, V. P. (eds). Underutilized fruit trees in Sri Lanka. World Agroforestry Centre, South Asia Office, New Delhi, India. pp. 110-141.
- Hernández Ramos, L., García Mateos, M. del 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, DOI:10.5073/JABFQ.2020.093.024
- 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. doi:10.1111/jfbc.12491.
- Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS) (1994). Análisis Foliar: Fundamentos y Métodos de Evaluación. Informaciones Agronómicas No. 17. Quito, Ecuador. [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/2391068D9611ACD085258013005436BC/\\$FILE/Art%201.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/2391068D9611ACD085258013005436BC/$FILE/Art%201.pdf)
- Janssen, B. H., Guiking, F. C. T., van der Eijk, D., Smaling, E. M. A., Wolf, J., & van Reuler, H. (1990). A system for quantitative evaluation of the fertility of tropical soils (QUEFTS). *Geoderma*, 46(4), 299–318. doi:10.1016/0016-7061(90)90021-z
- Kenworthy, A. L. (1967). Plant analysis and interpretation of analysis for horticulture crops. In: G. W. Hardy (ed.). Plant analysis. Special Publication 2. Soil Science Society of America. Madison, WI, USA. pp. 59-75
- Le Bellec, F., Vaillant, F., & Imbert, I. (2006). Pitahaya (*Hylocereus* spp.): a new fruit crop, a market with a future. *Fruits*, 61, 237–250. doi: 10.1051/fruits:2006021.
- Lezama Escobedo, A.; Tapia Simón, A. E.; Muñoz Santamarina, G., & Zepeda Gómez, V. J. (2005). Sistemas de Agronogeocios de Traspasio-El Cultivo de la Pitahaya. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación – SAGARPA. pp. 1-11.

- López Díaz, H., & Guido Miranda, A. (2002). Guía Tecnológica 6, Cultivo de la Pitahaya. Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria. 40 p.
- Malavolta, E., Vitti, G., & Oliveira, S. (1997). Avaliacao do estado nutricional das plantas. POTAFOS. Associacao Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Piracicaba, Sao Paulo, Brasil. 2ª. Edición. 319 p.
- Manzanero Acevedo, L. A., Isaac Márquez, R., Zamora Crescencio, P., Rodríguez Canché, L. G., Ortega Haas, J. J., & Dzib Castillo, B. B. (2014). Conservación de la pitahaya [*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose] en el estado de Campeche, México. *Foresta Veracruzana*, 16(1), 9–16.
- Melchiori, R. J. M., Paparotti, O. P., & Barbagelata, P. A. (2002). Fertilización fosfatada en soja: validación del nivel crítico. INTA EEA Paraná.
- Mello, F. R., Bernardo, C., Odebrecht Dias, C., Gonzaga, L., Amante, E. R., Fett, R., & Bileski Candido, L. M. (2015). Antioxidant properties, quantification and stability of betalains from pitaya (*Hylocereus undatus*) peel. *Ciência Rural, Santa Maria*, 45(2), 323-328.
- Méndez Hernández, C., Coello Torres, A., & Galán Saúco, V. (2013). Polinización de la pitahaya Roja. AgroCabildo. Tenerife, España. 8 p.
- Mercado Silva, E. M. (2018). Pitaya-*Hylocereus undatus* (Haw). In: Rodrigues, S., De Oliveira Silva, E. & Sousa de Brito, E. (eds) Exotic Fruits, Academic Press. pp. 339-349. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803138-4.00045-9>.
- Montañés, L., Heras, L., & Sanz, M. (1991). Desviación del Óptimo Porcentual (DOP): Nuevo índice para la interpretación del análisis vegetal. *An. Aula Del*, 20(3-4), 93-107
- Montesinos Cruz, J.A., Rodríguez Larramendi, L., Ortiz Pérez, R., Fonseca Flores, Ma. De los Á., 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 (especial), 67-76.
- Naderi, N., Ghazali, H. M., Meor-Hussin, A. S., Amid, M. & Abd-Manap, M. Y. (2012). Characterization and Quantification of Dragon Fruit (*Hylocereus polyrhizus*) Betacyanin Pigments Extracted by Two Procedures. *Pertanika J. Trop. Agric. Sci.* 35(1), 33-40.
- Nguyen, N. T. (2020). Strategic Marketing for the Vietnamese Dragon Fruit. *Archives of Business Research*, 8(5), 211-226.
- Ochoa Velasco, C. E., García Vidal, V., Luna Guevara, J. J., Luna Guevara, M. L., Hernández Carranza, P., & Guerrero Beltrán, J. A. (2012). Características antioxidantes, fisicoquímicas y microbiológicas de jugo fermentado y sin fermentar de tres variedades de pitahaya (*Hylocereus* spp). *Scientia Agropecuaria*, 3, 279 – 289.
- Ortiz Hernández, Y. D., Livera Muñoz, M., Carrillo Salazar, J. A., Valencia Botin, A. J., & Castillo Martínez, R. (2015). Agronomical, physiological, and

- cultural contributions of pitahaya (*Hylocereus* spp.) in México. *Israel Journal of Plant Sciences*, 60, 359-370.
- Ortiz, T.A., & Takahashi, L. S. A. (2020). Quality of fruits of pitaya (*Hylocereus undatus* [Haworth] Britton & Rose) according to physiological maturity. A review. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 14(1). <https://doi.org/10.17584/rcch.2020v14i1.8422>
- Osuna Enciso, T., Ibarra Zazueta, Ma.E., Muy Rangel, Ma.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(1), 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(1), 61–78.
- Perween, T., Mandal, K. K., & Hasan, MA. (2018). Dragon fruit: An exotic super future fruit of India. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(2), 1022-1026. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803138-4.00045-9>
- Ramírez Delgadillo, J. J., Rodríguez Leyva, E., Livera Muñoz, M., Pedroza Sandoval, A., Bautista Martínez, N., & Nava Díaz, C. (2011). Primer informe de *Cactophagus spinolae* (Gyllenhal) (Coleoptera: Curculionidae) en tres especies de *Hylocereus* (Cactaceae) en Morelos, México. *Acta Zoológica Mexicana* (n. s.), 27(3), 863-866.
- Rodríguez Canto A. (2002). Producción y comercialización de pitahayas en México. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial. Universidad Autónoma Chapingo, México. 37 p.
- Román Miranda, M., Mora Santacruz, A., & González Cueva, G. A. (2016). Sistemas agroforestales con especies de importancia maderable y no maderable, en el trópico seco de México, *Avances en Investigación Agropecuaria*, 20(2), 53-72
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), (2020). SADER, México. <http://www.gob.mx/siap/>
- Satorre, E., Menéndez, F. & Tinghitella, G. (2005). El modelo Triguero: Recomendaciones de fertilización nitrogenada en trigo. Simposio "Fertilidad 2005: Nutrición, Producción y Ambiente". Rosario, 27-28 Abril. INPOFOS Cono Sur-Fertilizar A.C. pp. 3-11.
- Shanahan, J. F., Kitchen, N. R., Raun, W. R., & Schepers, J. S. (2008). Responsive in-season nitrogen management for cereals. *Computers and Electronics in Agriculture*, 61(1), 51-62. doi:10.1016/j.compag.2007.06.006

- Stintzing, F. C. & Carle, R. (2004). Functional properties of anthocyanins and betaláíns in plants, food, and human nutrition. *Trends in Food Science & Technology*. 15, 19-38.
- Tanaka, Y., Sasaki, N. & Ohmiya A. (2008). Biosynthesis of plant pigments: anthocyanins, betaláínas and carotenoids. *The Plant Journal*. 54, 733-749.
- Vargas, Y., Pico, J, Díaz, A., Sotomayor, D., Burbano, A., Caicedo, C., Paredes, N., Congo, C., Tinoco, L., Bastidas, S., Chuquimarca, J., Macas, J., & Viera, W. (2020). Manual Técnico del cultivo de pitahaya. INIAP. Manual N° 117 x. Joya de los Sachas, Ecuador, 39 p.
- Verona Ruiz, A., Urcia Cerna, J., & Paucar Menacho, L. M. (2020). Pitahaya (*Hylocereus* spp.): Cultivo, características fisicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos. *Scientia Agropecuaria* 11(3), 439-453
- Wee Sim, C., & Wee Khing, Y. (2011). Antioxidant properties of two species of *Hylocereus* fruits. *Adv. Appl. Sci. Res.*, 2 (3), 418-425.
- Wybraniec, S. & Mizrahi, Y. (2002). Fruit Flesh Betacyanin Pigments in *Hylocereus* Cacti. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 50, 6086-6089.

3 ESTADO NUTRIMENTAL PREVIO, POST PRODUCCIÓN Y RENDIMIENTO DE COSECHA DE PITAHAYA DE PULPA ROJA

RESUMEN

La nutrición convencional de cultivos a menudo presenta deficiencias, pues se aplican dosis de fertilizantes basados en conocimientos empíricos que, si bien pueden dar resultados favorables, se tendrá una mayor certeza de éxito cuando ésta sea con base en el estado nutrimental del cultivo, así como la fertilidad del suelo, ya que permite proponer dosis de fertilización con base en elementos deficientes. Por lo anterior, el presente estudio evaluó la efectividad de la nutrición en plantas de pitahaya de pulpa roja mediante el rendimiento y estado nutrimental de la planta posterior a la cosecha. Se llevó a cabo una plantación de dos años de edad ubicada en la mixteca poblana. El diagnóstico nutrimental se realizó mediante el Índice de balance nutrimental de Kenworthy (IBK) y por el método de Desviación del óptimo porcentual (DOP), y el estado de la fertilidad del suelo con análisis químico. Se aplicaron tres tratamientos (50, 100 y 150 % de la dosis óptima), y un cuarto tratamiento con la fertilización convencional. Se evaluó el rendimiento de fruta cosechada y el estado nutrimental de la planta posterior a la cosecha. El suelo presentó niveles muy bajos de K, bajos de N, P, Ca, Mg y Zn, adecuado de Fe, Mn y Cu, y alto de B. El orden de requerimiento de nutrientes del cultivo previo a la fertilización fue $K > Ca > Mg > Zn > Mn > P > N > Cu > Fe > B$ de acuerdo con el IBK, y con el DOP fue $Ca > K = Zn > Mg > Mn > P > N > Cu > B > Fe$. Posterior a la fertilización y cosecha, la dosis al 100 % de fertilización incrementó la concentración de los nutrientes más deficientes. En cuanto a rendimiento de fruta cosechada, no hubo diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre tratamientos.

Palabras clave: *Hylocereus ocamponis*, desviación del óptimo porcentual, fertilidad de suelo, Índice de balance de Kenworthy, rendimiento.

PRE AND POST PRODUCTION NUTRITIONAL STATUS AND CROP YIELD OF RED PULP PITAHAYA

ABSTRACT

Conventional crop nutrition often presents deficiencies, since fertilizer doses are applied based on empirical knowledge that, although they can give favorable results, there will be a greater certainty of success when it is based on the nutritional status of the crop, as well as soil fertility, since it allows proposing fertilization doses based on deficient elements. Therefore, the present study evaluated the effectiveness of nutrition in red pulp pitahaya plants through the yield and nutritional status of the plant after harvest. A two-year-old plantation located in the Mixtec region of Puebla was carried out. The nutritional diagnosis was carried out using Kenworthy's nutrient balance index (KBI) and the Deviation from Optimum Percentage (DOP) method, and the soil fertility status was determined by chemical analysis. Three treatments were applied (50, 100 and 150% of the optimum dose), and a fourth treatment with conventional fertilization. The yield of harvested fruit and the post-harvest nutrient status of the plant were evaluated. The soil presented very low levels of K, low levels of N, P, Ca, Mg and Zn, adequate levels of Fe, Mn and Cu, and high levels of B. The order of nutrient requirements of the crop prior to fertilization was $K > Ca > Mg > Zn > Mn > P > N > Cu > Fe > B$ according to the KBI, and with the DOP was $Ca > K = Zn > Mg > Mn > P > N > Cu > B > Fe$. After fertilization and harvest, the 100% fertilization dose increased the concentration of the most deficient nutrients. In terms of harvested fruit yield, there was no significant difference ($p \leq 0.05$) between treatments.

Key words: *Hylocereus ocamponis*, deviation from percent optimum, soil fertility, Kenworthy balance index, yield.

Thesis of Master's in Sciences in Agroforestry for Sustainable Development. Universidad Autónoma Chapingo.

Author: Martín Martínez Cruz

Director: Dr. Ranferi Maldonado Torres

3.1 Introducción

La producción agrícola ha presentado altibajos en México y en el mundo, lo cual obedece principalmente a la disponibilidad de agua en zonas áridas y semiáridas, debido a la falta de lluvias que se ha convertido en un problema difícil de superar, por la alteración del patrón de lluvias como consecuencia del cambio climático. Un segundo factor que determina o limita en cierta medida, es la nutrición de los cultivos, ya sea en sistemas de producción de riego o de temporal, este factor puede definir un alto o bajo rendimiento (Salas, 2002).

Para el caso el cultivo de pitahaya por ser un cultivo reciente no se tiene la experiencia para su adecuado manejo y es escaso el interés por proporcionar una adecuada nutrición al cultivo. En todo tipo de cultivos o sistema de producción del cual se extraen productos como frutas, semillas, hojas, madera, entre otros., incluidos en tales productos van cantidades de nutrientes que son extraídos del suelo por la planta, los cuales es casi imposible que regresen al suelo y de alguna manera se deben reponer.

La fertilización mineral que se realiza comúnmente no tiene fundamentos técnicos, es decir, no se hacen estudios o análisis de suelo y planta para determinar las dosis de aplicación, lo que en muchos casos conduce a una nutrición deficiente y desbalanceada e incluso pueden llegar a la toxicidad (Domínguez, 1989).

En el caso de la pitahaya, el cultivo es reciente y no se cuentan con datos precisos en cuanto a fertilización, además de cultivarse principalmente en zonas rurales, la nutrición se hace empleando productos locales como abono de ganado sin la certeza del aporte nutrimental que hace al suelo; en menor medida se emplean productos químicos (Cálix de Dios et al., 2014; Manzanero Acevedo et al., 2014). Por lo que, obtener un referente de manejo nutrimental para esta especie sería de gran utilidad para los productores e investigadores que trabajen con la especie.

En los últimos años se han desarrollado métodos que a la práctica son más laboriosos, tardados y caros que una simple observación a la planta, la cual consiste en un análisis de tejido vegetal (hojas principalmente) para determinar el contenido de nutrientes presentes en la planta, con lo que se sabe con mayor precisión si hay o no deficiencia de un elemento. Con tal información, se puede planear la nutrición de forma adecuada para el cultivo. Dos de los métodos para diagnosticar el estado nutrimental de cultivos son el Índice de balance de Kenworthy (IBK) y el de Desviación del Óptimo Porcentual (DOP).

Con base en lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la efectividad de la nutrición aplicada a plantas de pitahaya de pulpa roja basada en la fertilidad del suelo y estado nutrimental previo, mediante el rendimiento y estado nutrimental de la planta posterior a la cosecha para determinar la dosis óptima de fertilización que incremente el rendimiento y mantenga el balance nutrimental de la planta.

3.2 Materiales y métodos

3.2.1 Ubicación de la parcela experimental

El trabajo de investigación se realizó en la localidad Lomas de San Francisco (Figura 2), ubicada en el municipio de Tepexi de Rodríguez (Figura 1), en la mixteca Poblana. Esta localidad se ubica a una altitud de entre 1500 y 1850 msnm. Entre coordenadas 18° 29'' latitud N y 98° 0'' longitud W.

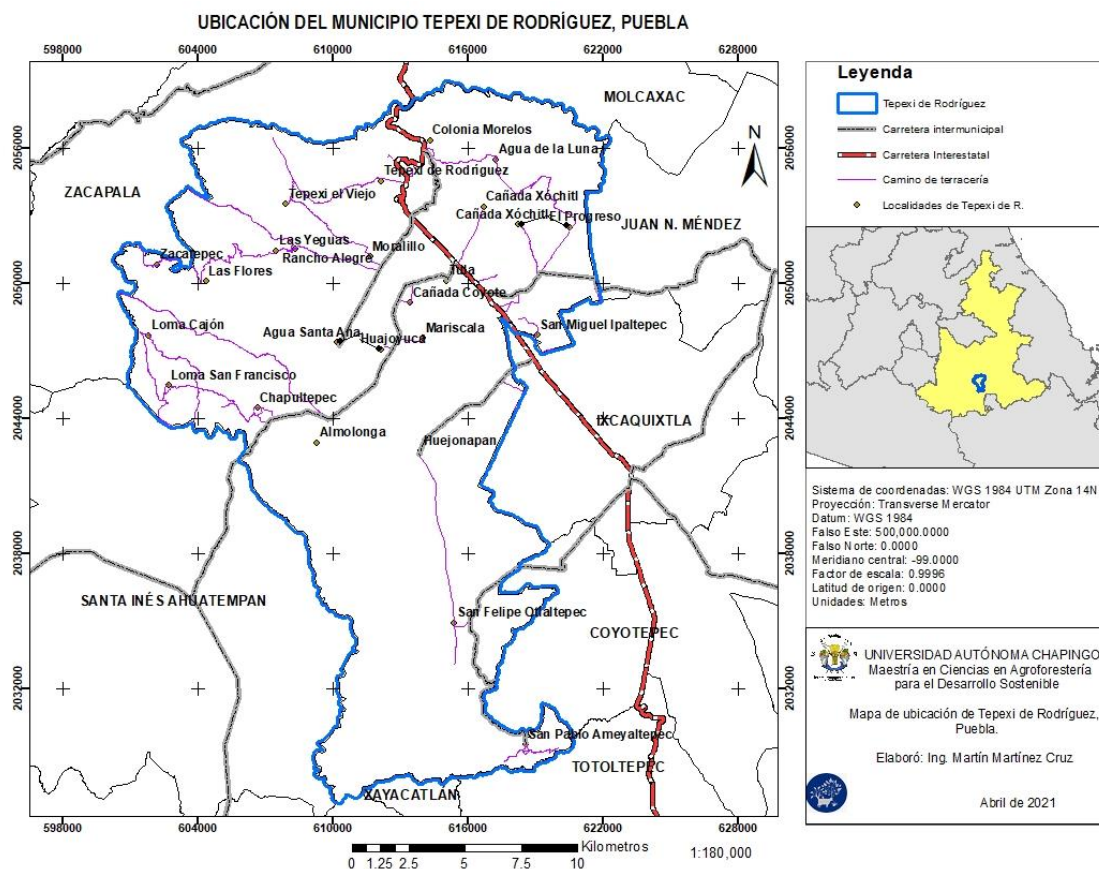


Figura 1. Localización del municipio Tepexi de Rodríguez, Pue.

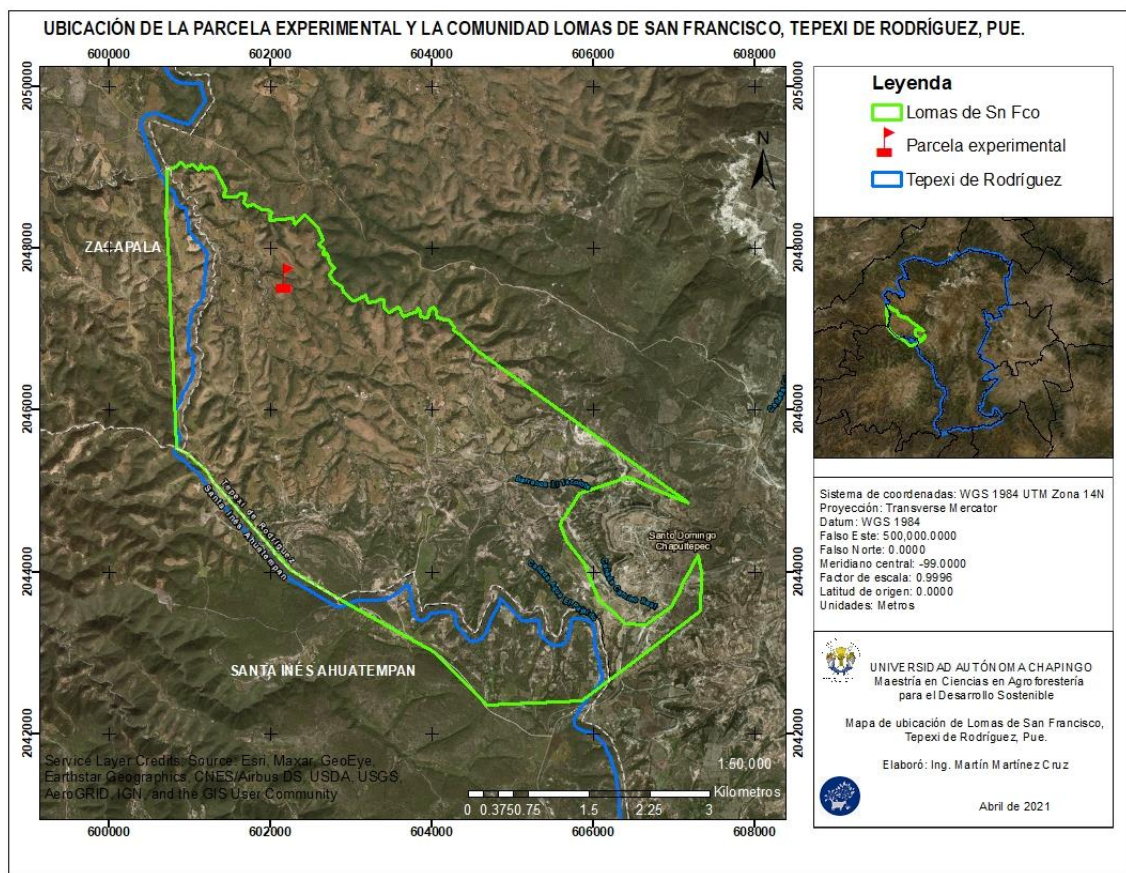


Figura 2. Localización de la parcela experimental dentro de la localidad

3.2.2 Caracterización agroclimática de la localidad

El clima en el lugar es (A)C(w₀), el cual de acuerdo con García (1990), es un clima semicálido subhúmedo del grupo C, temperatura media anual mayor de 18 °C, temperatura del mes más frío menor de 18 °C, temperatura del mes más caliente mayor de 22 °C, con precipitación del mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T menor de 43.2, y porcentaje de lluvia invernal del 5 % al 10.2 % del total anual. Precipitación media anual de 600-700 mm.

Los tipos de suelos presentes en el área son leptosol húmico asociado con regosol éutrico mayormente, y leptosol calcario en menor cuantía, ambos tipos de suelo son de textura media (INEGI, 2014). Son suelos poco profundos, de 10 a 20 cm, en algunos sitios se observa el lecho rocoso, además de su baja fertilidad. Dichas condiciones dan lugar a la principal actividad económica que es la agricultura de temporal, así como ganadería en pequeña escala.

La vegetación que existe en la parte alta de la cuenca donde se encuentra la comunidad es vegetación secundaria de bosque de encino, mientras que en la parte baja es vegetación secundaria de selva baja caducifolia de acuerdo con la clasificación realizada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2014), el experimento se estableció en la parte baja.

3.2.3 Parcela experimental

El estudio se llevó a cabo en una parcela experimental de 300 m², con pitahaya de pulpa roja (*Hylocereus ocamponis*) de dos años de edad, establecida en un suelo regosol éutrico. El arreglo de la plantación fue de 3 metros entre hileras y 2 metros entre plantas con una densidad de 1,666 plantas por hectárea. Los tutores fueron de postes de concreto. La nutrición de la planta durante el primer año se llevó a cabo de forma tradicional, es decir, empleando abono de ganado caprino (1.5 kg por planta), tierra de monte (2 kg por planta) y vermicomposta (250 g por planta). El control de arvenses se realizó de forma manual con pala y azadón. Asimismo, se aplicaron riegos por goteo en los meses secos que comprenden los meses de diciembre a abril.

Durante el experimento, se realizó la aplicación de diferentes dosis de fertilización para cubrir los requerimientos nutrimentales; el control de arvenses se realizó de forma manual, y los riegos de auxilio se aplicaron en los meses carentes de lluvias.

3.2.4 Análisis de suelo

Para el análisis de suelo se colectó una muestra compuesta con 5 submuestras de suelo tomadas al azar dentro de la parcela de plantación de pitahaya de pulpa roja, a una profundidad de 0-30 cm con una pala recta (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias [INIFAP], 2012; Carretero et al., 2016). Dicha muestra se llevó al laboratorio para determinar las propiedades químicas, y finalmente los resultados se interpretaron de acuerdo con lo

establecido por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2002) (Cuadro 6).

Cuadro 6. Análisis químico de suelo

Elemento o propiedad	Método o técnica empleada
pH	Relación 1:2, con agua, medido con potenciómetro.
CE	Con agua destilada, medido con conductímetro.
CIC	Acetato de Amonio 1N, pH 7, por volumetría.
MO	Método de Walkley y Black.
N	Método de Kjeldahl.
P	Olsen, por colorimetría.
Ca y Mg	Con acetato de amonio ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) 1N pH 7, espectrofotometría de absorción atómica en llama.
K y Na	Con acetato de amonio ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) 1N pH 7, espectrofotometría de emisión atómica o flamómetro.
Fe, Mn, Zn y Cu	DTPA, espectrofotometría de absorción atómica.
Boro	La Azomatina-H

Fuente: Álvarez y Marín, (2011).

3.2.5 Análisis foliar y diagnóstico nutrimental

Las muestras de tejido vegetal se obtuvieron de plantas de pitahaya de pulpa roja de dos años. Se seleccionaron al azar 5 plantas de un total de 36, a las cuales se les extrajo tallo maduro (de más de un año), sin daños y libres de plagas y enfermedades. Posteriormente, se llevaron al laboratorio para su análisis, de acuerdo con los métodos y técnicas descritos por Álvarez y Marín (2011), mismo que se muestra en el Cuadro 7.

El diagnóstico nutrimental se realizó empleando el Índice balance de Kenworthy (IBK) (Kenworthy, 1967) y el método de Desviación del Óptimo Porcentual (DOP) (Montañés et al., 1991), utilizando los valores de referencia reportados por Almeida et al. (2016).

Cuadro 7. Análisis químico foliar

Elemento	Método o técnica empleada
N	Semimicro-Kjeldahl modificado
P	Digestión en $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$ (Relación 2:1), por fotocolorimetría de vanadato-molibdato
K, Na, Ca, Mg, Cu, Fe, Zn y Mn	Digestión en $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$ (Relación 2:1), por espectrofotometría de absorción atómica
B	La Azometina-H

3.2.6 Diseño experimental

Se realizó un diseño experimental completamente al azar (Figura 3), donde cada planta fue una unidad experimental con 9 repeticiones.

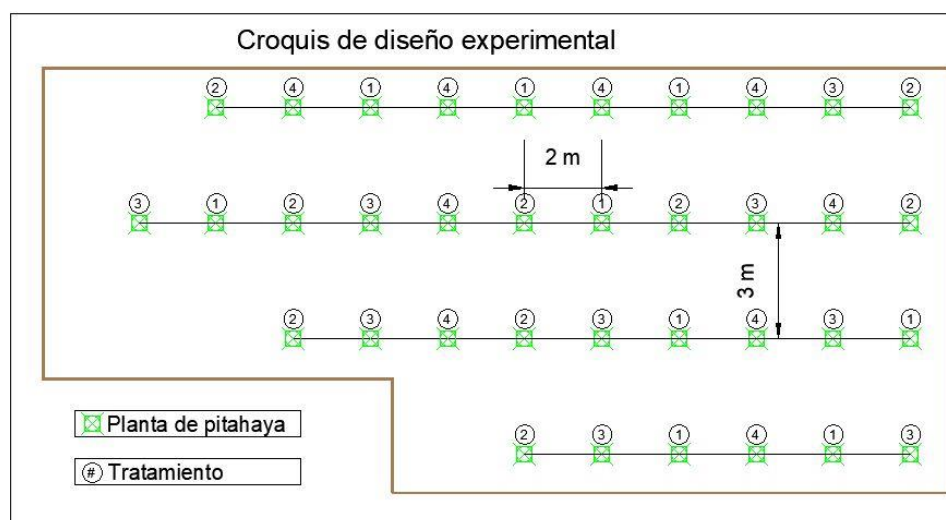


Figura 3. Diseño experimental

3.2.7 Dosis de fertilización

Con base en el diagnóstico nutrimental de la planta de pitahaya de pulpa roja, el estado de la fertilidad del suelo y a los requerimientos de ésta, de acuerdo con Almeida et al. (2016), se determinó una dosis de fertilización de 119, 84 y 105 g de N, P y K respectivamente por planta.

3.2.8 Tratamientos

De acuerdo con la dosis de fertilización determinada, se establecieron tres tratamientos, los cuales consistieron en aplicar el 50 % (dosis por debajo del óptimo), 100 % (dosis óptima) y 150 % (dosis por arriba del óptimo) de la dosis determinada, además, se tuvo un tratamiento al que se le aplicó la fertilización convencional y se denominó T₄ (Cuadro 8).

Cuadro 8. Tratamientos aplicados

Tratamiento	Dosis de aplicación (g)		
	N	P	K
T ₁	59.5	42	52.5
T ₂	119	84	105
T ₃	178.5	126	157.5
T ₄	9.6	28.8	9.6

Para cubrir las dosis determinadas se empleó fertilizante granulado, suministrado al suelo en el área de goteo de cada planta en tres aplicaciones (20, 50 y 30 %). Para el caso de los microelementos, se aplicaron a través de productos foliares proporcionados por la empresa ÁpiceAgro S. A de C. V.: NutreFlor, NutreMás y Pezkel, a razón de 1.67 g, 1.67 g y 3.34 ml respectivamente por un litro de agua.

3.2.9 Rendimiento de fruta

El cultivo de la pitahaya es perenne, logrando hasta 5 o 6 floraciones por año y el mismo número de fructificaciones, lo que significa que se pueden tener hasta 6 cosechas de este fruto, depende de la madurez de la planta y el manejo principalmente (Osuna Enciso et al., 2016). Sin embargo, en este experimento únicamente se evaluaron las dos primeras floraciones.

Además, debido a la autoincompatibilidad sexual que presenta la especie *Hylocereus ocamponis*, fue necesario llevar a cabo la polinización manual de

todas las flores en ambas floraciones (Castillo Martínez, 2006). El polen fue colectado en plantaciones de *H. undatus* en la misma región y aplicado durante el periodo de apertura de la flor en la especie *H. ocamponis* empleando un pincel de cerdas finas (Figura 4).

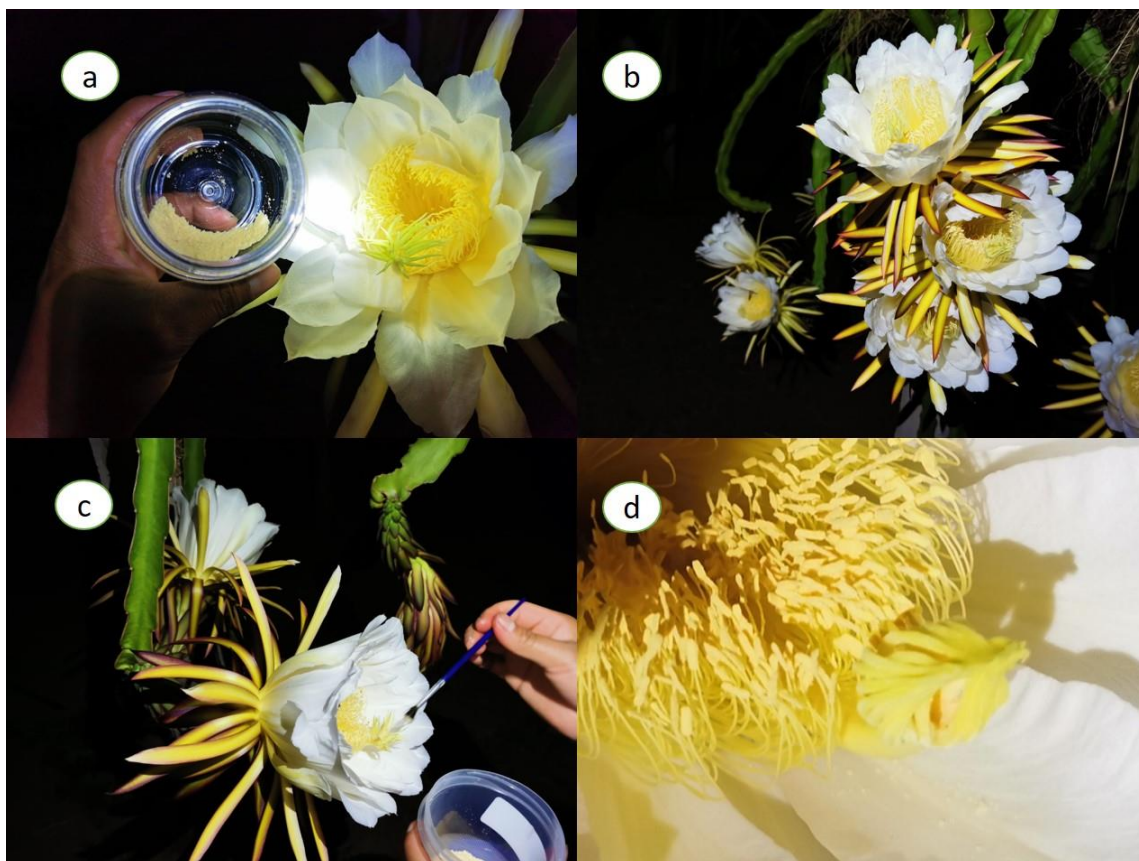


Figura 4. Polinización manual de flores de *H. ocamponis*. a: recolección de polen de la especie *H. undatus*; b: floración de *H. ocamponis*; c: aplicación de polen en el gineceo; d: cerrado del estigma para evitar que polinizadores naturales extraigan el polen aplicado.

Para calcular el rendimiento de fruta cosechada, se contabilizaron las flores emitidas por las 9 unidades experimentales de todos los tratamientos, posteriormente con el número de frutos cosechados en todos los tratamientos se obtuvo el porcentaje de amarre. Se pesaron los frutos de todas las plantas de cada tratamiento, se sumaron y se promediaron para obtener el rendimiento promedio por planta de cada tratamiento. Posteriormente, se multiplicó el rendimiento promedio de cada tratamiento por la densidad de plantación y se

obtuvo el rendimiento por hectárea para cada uno de los tratamientos (Osuna Enciso et al., 2016).

3.2.10 Análisis de datos

Los resultados fueron analizados mediante análisis de varianza y comparación de medias utilizando el programa “Statistical Analysis Software” (SAS 9.0), para evaluar si existía o no diferencia entre tratamientos de acuerdo con Tukey ($p \leq 0.05$).

3.3 Resultados y discusión

3.3.1 Diagnóstico de la fertilidad de suelo

En el Cuadro 9 se muestran los valores del análisis del suelo, donde se puede clasificar con base en el pH como moderadamente ácido, sin afectación por salinidad y un contenido de materia orgánica (MO) medio, considerando que es un suelo no volcánico (SEMARNAT, 2002). El contenido de macronutrientes generalmente fue bajo, en el caso del K fue el más bajo con 24.32, de acuerdo con la fuente empleada para la interpretación, el intervalo debe oscilar entre 117 y 234 mg kg⁻¹.

Cuadro 9. Interpretación del análisis de suelo

Elemento o propiedad	Valor	Interpretación de acuerdo con SEMARNAT (2002)
pH	6.06	Moderadamente ácido
C.E. (μS cm ⁻¹)	0.04	Salinidad despreciable
M.O. (%)	1.86	Medio
N (mg kg ⁻¹)	12.60	Bajo
P (mg kg ⁻¹)	4.92	Bajo
K (mg kg ⁻¹)	24.32	Muy bajo
Ca (mg kg ⁻¹)	1026.68	Bajo
Mg (mg kg ⁻¹)	192.28	Bajo
Fe (mg kg ⁻¹)	8.71	Adecuado
Mn (mg kg ⁻¹)	15.66	Adecuado
Zn (mg kg ⁻¹)	0.22	Deficiente
Cu (mg kg ⁻¹)	0.49	Adecuado
B (mg kg ⁻¹)	1.37	Alto
CIC (Cmol (+) kg ⁻¹)	5.85	Baja
Densidad aparente (T m ⁻³)	1.61	Arenoso

Respecto a la CIC la cual se relaciona con la capacidad del suelo para retener K, Mg y Ca, es decir, la CIC, también resultó baja, lo que puede estar correlacionado con la baja concentración de dichos elementos. También está estrechamente relacionado con la textura y la densidad aparente, puesto que los suelos arcillosos presentan una alta capacidad para retener iones debido a la alta concentración de micelas coloidales (Bidwel, 1993; Otero et al., 1998). Por el contrario, los suelos arenosos presentan baja capacidad de intercambio catiónico, tal como se observó en el suelo arenoso analizado en este estudio.

Otro factor que influye en la CIC de los suelos es el contenido de MO, donde la muestra presentó un nivel medio, siendo necesario incrementar el contenido de ésta para mejorar la CIC y por consiguiente aumentar la fertilidad del suelo.

El nivel de pH del suelo presentó una condición de acidez moderada, lo cual es óptimo para la disponibilidad y absorción de la mayoría de los nutrientes requeridos por las plantas, ya que el intervalo en el cual los nutrientes pueden ser absorbidos es de 5.5 a 6.5 (Bidwel, 1993). Con el grado de acidez que presenta el suelo en cuestión no se tendrían problemas para la nutrición de plantas de pitahaya de pulpa roja, sin embargo, los bajos niveles en los que se presentan los macronutrientes (NPK) sí limitan su absorción, por lo que es necesario incrementar dichos niveles para remediar esta condición.

Respecto a los micronutrientes Fe, Mn, y Cu, se encontraron en una concentración adecuada, de acuerdo con lo que establece la SEMARNAT (2002), de manera que la adición para su adecuada concentración debe ser mínima. Por otro lado, el Zn se encontró en concentraciones deficientes lo que indica la necesidad de incluirlo en los programas de fertilización empleando quelatos como fuente, ya que esta forma facilita su absorción y movimiento en la planta para subsanar las deficiencias (Molina, 2002). En cuanto al B, este se encontró en altas concentraciones, por lo que no representa un problema por deficiencia, sin embargo, y dada la importancia de este elemento, conviene monitorearlo regularmente para evitar problemas con el cuajado y amarre de frutos.

Con los resultados se observó que el suelo presentó niveles muy bajos de potasio, niveles bajos de nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio y zinc. Por su parte, los niveles de hierro, manganeso y cobre fueron de suficiencia, mientras que de boro fueron altos únicamente.

3.3.2 Diagnóstico nutrimental de planta de pitahaya previo a la aplicación de tratamientos y producción de fruta

Se realizó el análisis de tejido vegetal previo a la fertilización, con los resultados de éste se hizo el diagnóstico nutrimental empleando dos métodos para los cuales se utilizaron los valores de referencia reportados por Almeida et al. (2016). En el primero fue el Índice de balance nutrimental de Kenworthy (IBK), el cual arrojó que la planta presentaba deficiencia de todos los macronutrientes, además de zinc y manganeso; mientras que el cobre, hierro y boro se encontraban en concentraciones por arriba de lo requerido por la planta (Cuadro 10).

Cuadro 10. Diagnóstico nutrimental de la pitahaya

	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	IBN
	----- % -----			----- mg kg ⁻¹ -----			-----				
CN	1.49	0.45	0.49	0.08	0.16	173.83	57.40	19.00	16.30	72.85	
IBK	81	79	31	33	47	379	75	49	296	380	1453
ORN	K>Ca>Mg>Zn>Mn>P>N>Cu>Fe>B										
DOP	-24	-27	-86	-96	-83	521	-41	-86	308	386	1658
ORN	Ca>K=Zn>Mg>Mn>P>N>Cu>B>Fe										

CN: Contenido nutrimental de la muestra; IBK: Índice de balance de Kenworthy; ORN: Orden de requerimiento nutrimental; DOP: Desviación del óptimo porcentual; IBN: Índice de balance nutrimental.

El segundo fue empleando la Desviación del Óptimo Porcentual, con el cual se obtuvieron resultados similares a los obtenidos con el primer método. La diferencia fue que en este caso el elemento más deficiente fue el Ca, mientras que en el IBK el más deficiente fue el K. Asimismo, los tres elementos que se encontraron por arriba del normal fueron el Cu, B y Fe respectivamente en forma ascendente.

El diagnóstico nutrimental de la planta coincide con el estado de fertilidad del suelo (Cuadro 9), ya que se encontró que con excepción del Mn, todos los

elementos que se encuentran deficientes en el suelo también se encuentran en bajos contenidos en la planta; mientras que, de los cuatro elementos encontrados en altas cantidades en el suelo, tres de ellos (Cu, Fe y B) también se encuentran de forma abundante en la planta.

3.3.3 Diagnóstico nutrimental de planta de pitahaya posterior a la aplicación de tratamientos y producción de fruta

La producción de frutos y desarrollo vegetativo demandan nutrientes que la planta extrae del medio donde se desarrolla; lo cual puede ser comprobado con los resultados obtenidos del diagnóstico nutrimental de la planta posterior a la aplicación de fertilización y de producción de fruta (Cuadro 11).

Cuadro 11. Diagnóstico nutrimental de planta de pitahaya posterior a la fertilización y producción

Tratamiento		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	IBN
		-----		%	-----		-----		mg kg ⁻¹	-----		
T ₁	CN	0.94	0.18	2.20	1.11	0.29	15.80	151.40	5.70	6.20	111.00	
	IBK	60	46	70	74	56	77	133	44	135	564	1258
	ORN			Zn>P>Mg>N>K>Ca>Fe>Mn>Cu>B								
	DOP	-52	-71	-37	-38	-68	-44	54	-96	55	640	1155
	ORN			Zn>P>Mg>N>K>Fe>Ca>K>Mn>Cu>B								
T ₂	CN	0.89	0.28	1.61	2.33	0.44	16.50	136.20	8.90	5.60	154.13	
	IBK	58	58	56	121	66	78	123	45	126	772	1505
	ORN			Zn>K>N=P>Mg>Fe>Ca>Mn>Cu>B								
	DOP	-55	-55	-54	31	-53	-41	39	-94	40	928	1388
	ORN			Zn>N=P>K>Mg>Fe>Ca>Mn>Cu>B								
T ₃	CN	0.71	0.27	2.34	1.29	0.38	22.70	136.10	6.40	5.30	136.88	
	IBK	51	57	73	81	62	90	123	44	121	689	1391
	ORN			Zn>N>P>Mg>K>Ca>Fe>Cu>Mn>B								
	DOP	-64	-56	-33	-28	-59	-19	39	-95	33	813	1239
	ORN			Zn>N>Mg>P>K>Ca>Fe>Cu>Mn>B								
T ₄	CN	0.64	0.28	1.76	1.35	0.40	15.20	92.50	4.90	4.50	96.62	
	IBK	48	58	60	83	63	76	92	43	108	494	1451
	ORN			Zn>N>P>K>Mg>Fe>Ca>Mn>Cu>B								
	DOP	-68	-55	-50	-24	-57	-46	-6	-96	13	544	957
	ORN			Zn>N>Mg>P>K>Fe>Ca>Mn>Cu>B								

CN: Contenido nutrimental de la muestra; IBK: Índice de balance de Kenworthy; ORN: Orden de requerimiento nutrimental; DOP: Desviación del óptimo porcentual; IBN: Índice de balance nutrimental.

En el tratamiento 1 no se obtuvo el balance nutrimental en la pitahaya, 7 de los 10 elementos analizados se encontraron de forma deficiente, sin embargo, se logró bajar el contenido de Fe a niveles cercanos a los rangos de suficiencia, mientras que el Cu y B se mantienen en concentraciones por arriba de los óptimos y el Mn subió de concentración desde niveles deficientes a niveles por arriba de lo deseado.

En el caso del tratamiento 2, tuvo un comportamiento similar al tratamiento 1, sin embargo, con éste se logró llevar al Ca de niveles muy bajos (previo al tratamiento) a niveles ligeramente por arriba del óptimo y de igual manera se logró bajar al Fe y Cu de niveles muy altos a valores cercanos al óptimo, mientras que el B aumentó su nivel de concentración en la planta.

Sin embargo, con los resultados obtenidos en el tratamiento 3 se logró llevar al Fe de niveles muy altos al nivel óptimo, mientras que el Cu y el B se mantuvieron por arriba de estos intervalos, y el Mn se elevó de niveles bajos a niveles por arriba. En cuanto a los macronutrientes, no se lograron nivelar a los valores esperados.

Finalmente, con el tratamiento 4 se logró bajar los niveles Cu y Fe de los niveles en exceso que se encontraban antes de la fertilización, para ubicarse el Cu en el nivel óptimo, mientras que el hierro se ubicó en el nivel de suficiencia. Este resultado se debió a las bajas concentraciones de nutrientes aplicados en este tratamiento, ya que también fue el tratamiento en el que el nivel del boro bajó más que en el resto de los tratamientos.

La aplicación de los cuatro tratamientos no logró el balance de nutrientes en la planta, ya que mientras algunos macronutrientes como el K y el Ca subieron de concentración notoriamente, el Mg subió en menor medida. Otros como el N y P bajaron de nivel (Figura 5), lo cual puede ser el resultado de la extracción de estos nutrientes a través de los frutos cosechados.

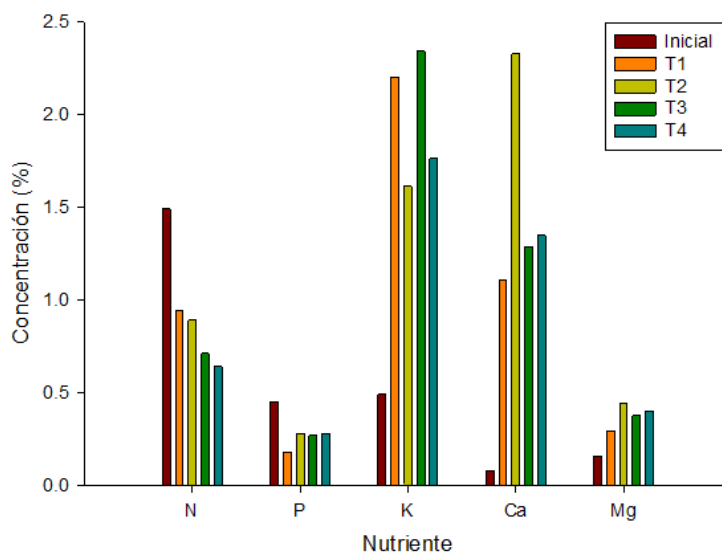


Figura 5. Concentración de macronutrientes antes y después de fertilización y producción de fruto

Lo mismo ocurrió con los micronutrientes, donde el Fe bajó de un nivel en exceso a un nivel cercano al óptimo, por el contrario, el Cu subió desde niveles bajos a valores cercanos al deseado. Para el caso del Zn, éste no se logró incrementar y se mantuvo aún más bajo respecto al estado inicial.

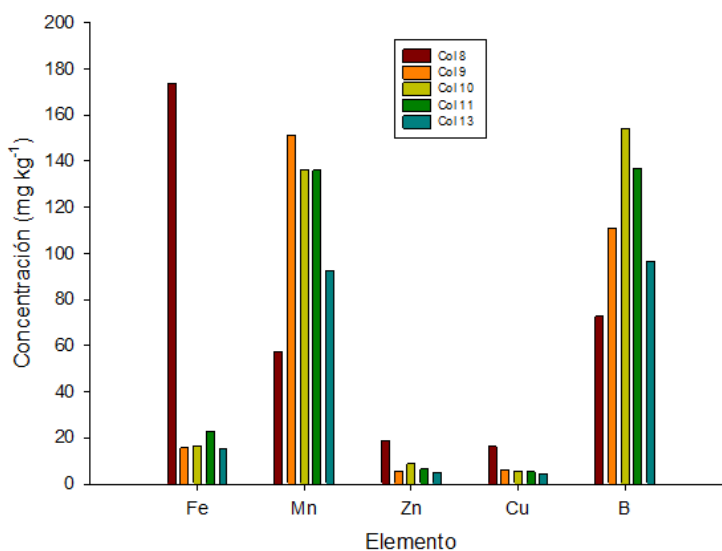


Figura 6. Concentración de micronutrientes en plantas de pitahaya antes y después de fertilización y producción de fruto

3.3.4 Rendimiento de fruta

En el Cuadro 12 se muestra el rendimiento de fruta en los diferentes tratamientos, iniciando con el número de flores y frutos producidos por planta. Al respecto no se tuvieron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$), ya que en todos los tratamientos se obtuvieron números similares de flores y fruto, lo que muestra que en estas variables no incidió una mayor o menor cantidad de fertilizante, en comparación con el óptimo ni con la fertilización convencional.

Por otro lado, en cuanto al porcentaje de amarre, es decir, la relación entre los frutos cosechados respecto al número de flores emitidas se observó que una dosis más alta de fertilizante (T_3) aumentó el porcentaje de frutos amarrados por planta y refleja una diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) en comparación con el T_4 (fertilización convencional), sin embargo, no fue así cuando se aplicaron dosis más bajas de los mismos productos (T_1 y T_2). Se descarta que la polinización haya tenido algún efecto, ya que se realizó de forma manual en todos los tratamientos y no se consideró como un factor de variación que haya influido en el porcentaje de amarre, no obstante, algunos estudios demuestran que cuando se realiza polinización manual aumentan tanto el peso de fruto como el porcentaje de amarre hasta un 200 y 24 % respectivamente (Méndez & Coello, 2016).

En cuanto al rendimiento por planta se obtuvieron valores estadísticamente similares en todos los tratamientos ($p \leq 0.05$), lo que da evidencia probablemente que a la edad de 2 años que tenía la planta no influyó la fertilización para aumentar la producción. Como consecuencia del rendimiento por planta, se tuvo un rendimiento por hectárea similar entre tratamientos, sin embargo, se observó un rendimiento ligeramente superior en el T_1 y T_2 sobre T_3 y T_4 .

Cuadro 12. Producción de pitahaya de pulpa roja

Tratamiento	Flores planta ¹	Frutos planta ¹	% de amarre	Rendimiento kg planta ¹	Rendimiento kg ha ¹
T ₁	5.00 ± 1.8 ^a	4.33 ± 1.94 ^a	85.93 ± 15.35 ^{ab}	1.43 ± 0.55 ^a	2381.82
T ₂	5.10 ± 1.45 ^a	4.44 ± 1.01 ^a	88.52 ± 11.29 ^{ab}	1.45 ± 0.42 ^a	2419.77
T ₃	3.78 ± 2.54 ^a	3.44 ± 1.88 ^a	95.94 ± 8.29 ^a	1.14 ± 0.42 ^a	1895.54
T ₄	5.00 ± 1.41 ^a	3.67 ± 1.12 ^a	75.19 ± 21.99 ^b	1.20 ± 0.32 ^a	1994.57
DMSH	2.37	1.97	19.32	0.56	

DMSH: diferencia mínima significativa honesta; Medias con letra distinta en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey, p≤0.05).

Tanto el número flores como de frutos por planta fue relativamente bajo (Cuadro 12), ya que se ha reportado que cuando la planta entra en producción puede alcanzar rendimientos hasta 10 veces más que los valores aquí reportados en un ciclo anual de producción (Osuna Enciso et al., 2016). Sin embargo, es importante mencionar que para que la planta de pitahaya alcance su máximo potencial de producción deben transcurrir de 3 a 4 años (López Díaz & Guido Miranda, 2002; Cáliz de Dios et al., 2014). Es importante señalar que esta investigación se llevó a cabo con plantas con 2 años de establecidas y únicamente se evaluaron las dos primeras floraciones, lo que no representa ni el 50 % de la producción total en el año.

El porcentaje de amarre de fruto obtenido con los tratamientos fue relativamente alto (Cuadro 12), las plantas a las cuales se les aplicó el T₃ lograron un 95.94 % de frutos esperados, similar a lo reportado para la misma especie por Corona Ocegüera (2018), ya que reporta 95 % de amarre. Comparado con valores reportados por Salais Lira (2011) y Osuna Enciso et al. (2016), donde reportan 54 % y 55 % de amarre respectivamente para otra especie de pitahaya (*Hylocereus undatus*), los valores obtenidos en el presente estudio son superiores. El porcentaje de amarre más alto fue en el T₃, es decir, en el que se aplicó una mayor cantidad de nutrientes; en contraste, el T₄ que corresponde a la nutrición tradicional presentó el valor más bajo.

De acuerdo con Osuna Enciso et al. (2016), quienes obtuvieron rendimientos de hasta 13.2 kg planta⁻¹ en un ciclo de producción completa, los resultados en el presente estudio mostraron valores significativamente más bajos, sin embargo, la evaluación se llevó a cabo únicamente en las 2 primeras floraciones en plantas de sólo 2 años de establecida, es decir, aún no habían llegado a su nivel más productivo. Resultados similares fueron encontrados por Salais Lira (2011), quien reportó rendimientos por planta de 1.474 kg, con la diferencia que en dicho estudio llevaron a cabo la nutrición de forma orgánica en plantas de más de 5 años de establecidas, lo cual evidencia que una nutrición planeada brinda resultados superiores en cuanto al rendimiento.

El rendimiento de fruta de pitahaya de pulpa roja por hectárea fue mayor cuando se aplicaron los tratamientos de fertilización propuesta en comparación con la fertilización convencional, siendo el más elevado cuando se aplicó la dosis óptima (Cuadro 12) en 425 kg más de fruta que cuando se utilizó la fertilización convencional, es decir, un 21 % más de fruta.

Se observó que el rendimiento obtenido cuando se aplicó el 50 % respecto al 100 % de la dosis de fertilización determinada fue similar, mientras que cuando se aplicó el 150 % se obtuvo un rendimiento menor en un 26 y 28 % respectivamente, lo cual indicó en este caso que dosis por arriba del óptimo afectan negativamente el rendimiento, mientras que dosis menores no reflejan diferencia en comparación con la dosis óptima.

El rendimiento obtenido en la presente investigación fue menor a lo reportado por Osuna Enciso et al. (2016), donde obtuvieron hasta 13.4 t. ha⁻¹, así como Rodríguez Canto (2002) reportó para la península de Yucatán rendimientos de fruto de *H. undatus* de hasta 10 toneladas por hectárea en plantaciones adultas. Sin embargo, Ricalde y Andrade (2009), reportaron también para Yucatán rendimientos de 1.5, 6 y 10 toneladas de fruta de la especie *H. undatus* por hectárea al segundo, tercero y cuarto año respectivamente. Los resultados del presente estudio mostraron rendimientos superiores hasta del 61 % en comparación con plantaciones de dos años reportadas para Yucatán.

Por otro lado, el rendimiento obtenido en este estudio en plantas de pitahaya de pulpa roja de dos años de edad se compara con el reportado por López Silva et al. (2004), para plantas de *H. undatus* de 3 años de edad en Nicaragua, donde reportaron rendimientos de entre 2,237.9 y 2,798.8 kg ha⁻¹, lo cual es similar a los 2,419.77 kg ha⁻¹ obtenidos cuando se aplicó la dosis óptima de fertilización.

3.4 Conclusiones

El diagnóstico nutrimental del suelo mostró que éste es pobre en concentración de nutrientes como N, P, K, Ca, Mg y Zn, sin embargo, de acuerdo con las características de pH, salinidad, materia orgánica y densidad aparente presenta condiciones favorables para el buen desarrollo del cultivo de pitahaya de pulpa roja (*Hylocereus ocamponis*), con la premisa que se deben adicionar los nutrientes que se encuentran en bajas concentraciones, ya que el pH no es una limitante para la absorción de éstos.

Ninguno de los tratamientos aplicados logró el balance nutrimental en plantas de pitahaya, sin embargo, con la fertilización se mejoró el estado nutrimental de las plantas, ya que se incrementó el contenido de nutrientes como potasio, calcio, magnesio y manganeso que se encontraban en niveles muy bajos previo a la fertilización y producción. Asimismo, el tratamiento que incrementó tres de los cinco nutrientes fue el T₂, que corresponde a la aplicación de la dosis óptima (100 %), por lo que se podría decir que el T₂ fue el que arrojó mejores resultados, aunque se recomienda realizar más estudios para comparar y validar los resultados obtenidos en el presente estudio.

De acuerdo con los resultados obtenidos de rendimiento de fruta, no se tuvo diferencia significativa entre tratamientos, por lo que se puede decir que en plantas de 2 años de la especie *H. ocamponis* los tratamientos aplicados no influyeron en el rendimiento en comparación con la fertilización convencional.

3.5 Literatura citada

- Almeida, E. I. B., Lima de Deus, J. A., De Medeiros Corrêa, M. C., Araujo Crisostomo, L., Lima Neves. (2016). Linha de fronteira e chance matemática na determinação do estado nutricional de pitaia. *Revista Ciência Agronômica*, 47(4), 744-754. DOI: 10.5935/1806-6690.20160089.
- Álvarez Sánchez M. E., & Marín Campos A. (2011). Manual de procedimientos analíticos de suelo y planta Laboratorio de Química, Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.
- Cáliz de Dios, H., Castillo Martínez, R., & Caamal Canché, H. J. (2014). Caracterización De La Producción De Pitahaya (*Hylocereus* spp.) en la zona maya de quintana roo, México. *Agroecología*, 9(1–2), 123-32.
- Carretero, R., Marasas, P. A., Souza, E., & Rocha, A. (2016). Conceptos de utilidad para un correcto muestreo de suelos. Archivo Agronómico No. 15. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica No. 21. IPNI Cono Sur. Buenos Aires. <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1256>
- Corona Ocegura, C. A. (2018). Biología reproductiva de *Hylocereus ocamponis* e *H. purpusii* (Cactaceae). [Tesis de Maestría, Universidad de Guadalajara-Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias]. Jalisco, México.
- Domínguez, V. A. (1989). Tratado de Fertilización. 3a Edición. Ed. Mundi-Prensa. México, D. F.
- García, E. (1990). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Ed. Offset Larios, S.A. 4a Edición. México, D.F. 217 p.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2014). Conjunto de datos vectoriales edafológico, escala 1:250,000 Serie II. (Continuo Nacional), escala: 1:250,000. edición: 2. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Ags., México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2014). Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación escala 1:250,000, SERIE VI (Capa Unión). escala: 1:250,000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Ags., México.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (2012). Muestreo de suelos y preparación de muestras. Desplegable para productores Núm. 23. <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/935.pdf>
- Kenworthy, A. L. (1967). Plant analysis and interpretation of analysis for horticulture crops. In: G. W. Hardy (ed.). Plant analysis. Special Publication 2. Soil Science Society of America. Madison, WI, USA. pp. 59-75
- López Silva, A., Pohlan, J., & Salazar Centeno, D. (2004). Efectos Agrobiológicos de Coberturas Verdes en el Cultivo de la Pitahaya (*Hylocereus undatus* Britton &

- Rose) en Nicaragua. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, 105(2), 175-187.
- Manzanero Acevedo, L. A., Isaac Márquez, R., Zamora Crescencio, P., Rodríguez Canché, L. G., Ortega Haas, J. J., & Dzib Castillo, B. B. (2014). Conservación de la pitahaya [*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose] en el estado de Campeche, México. *Foresta Veracruzana*, 16(1), 9–16.
- Méndez Hernández, C., & Coello Torres, Á. (2016). El cultivo de la pitaya. Servicio Técnico de Agricultura y Desarrollo Rural, Cabildo de Tenerife, España. 90 p.
- Molina, E. (2002). Fuentes de fertilizantes foliares In: Meléndez, G. & Molina, E. (eds). Fertilización foliar: principios y aplicaciones. Centro de investigaciones Agronómicas-Universidad de Costa Rica. Costa Rica. pp 26-35
- Montañés, L., Heras, L., & Sanz, M. (1991). Desviación del Óptimo Porcentual (DOP): Nuevo índice para la interpretación del análisis vegetal. *An. Aula Del*, 20(3-4): 93-107
- 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(1), 61–78
- Otero, L., Ortega Sastriquez, F., & Morales, M. (1998). Participación de la arcilla y la materia orgánica en la capacidad de intercambio catiónico de Vertisoles de la provincia Granma. *Terra Latinoamericana*, 16(3), 189-194. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57316301>
- Ricalde, M., & Andrade, J. (2009). La pitahaya, una delicia tropical. *Ciencia*, (julio-sept), 36-43
- Rodríguez Canto, A. (2002). Producción y comercialización de pitahayas en México. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial, Universidad Autónoma Chapingo, 37 p.
- Salais Lira, O. (2011). Evaluación de materiales orgánicos como fuente de fertilización para la pitahaya (*Hylocereus* spp). [Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional]. Oaxaca, México.
- Salas, R. E. (2002). Herramientas de diagnóstico para definir recomendaciones de fertilización foliar In: Meléndez, G. & Molina, E. (eds). Fertilización foliar: principios y aplicaciones. Centro de investigaciones Agronómicas-Universidad de Costa Rica. Costa Rica. pp 7-18
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021- RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial, martes 31 de diciembre 2002, primera sección 7-

4 CALIDAD DE FRUTA Y CONTENIDO DE COMPUESTOS FITOQUÍMICOS EN PITAHAYA DE PULPA ROJA CULTIVADA EN LA MIXTECA POBLANA

RESUMEN

El fruto de la pitahaya es considerado no climatérico, por lo que es importante cosecharlo en el momento adecuado que permita obtener y mantener su calidad y vida en anaquel, lo cual está relacionado con el manejo en campo. Es necesario conocer los parámetros de calidad, tanto físicas como químicas para tener éxito en la cosecha y manejo poscosecha. Dado lo anterior, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar la calidad de fruta y contenido de compuestos fitoquímicos de frutos provenientes de la primer y segunda floración de plantas de dos años sujetas a diferentes dosis de fertilizaciones de pitahaya de pulpa roja en la Mixteca Poblana. Se le aplicaron dosis de fertilización al 50, 100 y 150 % (T_1 , T_2 y T_3 respectivamente) del óptimo, determinado mediante diagnóstico nutrimental y fertilidad del suelo, así como una cuarta dosis basado en la fertilización convencional (T_4). Se analizaron características físicas como peso, porcentaje de pulpa, firmeza de cáscara, color de cáscara y pulpa; propiedades químicas como acidez titulable (AT), sólidos solubles totales (SST) y pH; y contenido de compuestos fitoquímicos como betalaínas (Bc) y fenoles solubles totales (FST). De las características físicas sólo en la coloración hubo diferencias significativas ($p \leq 0.05$), en la pulpa el T_2 y T_3 produjeron mejores resultados, y en cáscara el T_4 fue mejor. En cuanto a las propiedades químicas, el T_3 y T_2 fueron mejor estadísticamente ($p \leq 0.05$) sólo en el contenido de SST (14.01 y 13.78 respectivamente), mientras que en pH y AT no hubo diferencia entre tratamientos. El T_2 produjo mayor contenido ($p \leq 0.05$) de Bc (16.38 mg 100 g⁻¹) y el T_3 mayor contenido ($p \leq 0.05$) de FST (43.23 mg AG 100 g⁻¹). El T_2 y T_3 son los tratamientos que dan mejores resultados, sin embargo, se recomienda el T_2 debido a que requiere menor cantidad de fertilizantes.

Palabras clave: *Hylocereus ocamponis*, betalaínas, características físicas, propiedades químicas.

FRUIT QUALITY AND CONTENT OF PHYTOCHEMICAL COMPOUNDS IN RED PULP PITAHAYA GROWN IN THE PUEBLA MIXTEC

ABSTRAC

The pitahaya fruit is considered non-climacteric, so it is important to harvest it at the right time to obtain and maintain its quality and shelf life, which is related to field management. It is necessary to know the quality parameters, both physical and chemical, to be successful in harvesting and postharvest handling. Given the above, the present study aimed to evaluate fruit quality and phytochemical compounds content of fruits from the first and second flowering of two years plants subjected to different doses of fertilization of red pulp pitahaya in the Mixteca Poblana. Fertilization doses were applied at 50, 100 and 150% (T_1 , T_2 and T_3 , respectively) of the optimum, determined by nutrient diagnosis and soil fertility, as well as a fourth dose based on conventional fertilization (T_4). Physical characteristics such as weight, percentage of pulp, firmness of peel, color of peel and pulp; chemical properties such as titratable acidity (TA), total soluble solids (TSS) and pH; and content of phytochemical compounds such as betalains (Bc) and total soluble phenols (TSP) were analyzed. Of the physical characteristics only in coloration there were significant differences ($p \leq 0.05$), in pulp T_2 and T_3 produced better results, and in peel T_4 was better. Regarding chemical properties, T_3 and T_2 were statistically better ($p \leq 0.05$) only in TSS content (14.01 and 13.78 respectively), while in pH and TA there was no difference between treatments. T_2 produced higher ($p \leq 0.05$) Bc content (16.38 mg 100 g⁻¹) and T_3 higher ($p \leq 0.05$) TSP content (43.23 mg AG 100 g⁻¹). T_2 and T_3 are the treatments that give better results, however, T_2 is recommended because it requires less fertilizer.

Key words: *Hylocereus ocamponis*, betalains, chemical properties physical characteristics.

Thesis of Master's in Sciences in Agroforestry for Sustainable Development. Universidad Autónoma Chapingo.

Author: Martín Martínez Cruz

Director: Dr. Ranferi Maldonado Torres

4.1 Introducción

La pitahaya (*Hylocereus spp.*) es una planta que pertenece a la familia de las cactáceas que de manera natural se distribuye en regiones tropicales y subtropicales del centro y sur del continente americano, donde se conocen alrededor de 18 especies de este género (Britton & Rose, 1963). La principal importancia que tiene la mayoría de estas especies en el lugar donde se distribuyen es por su fruto, el cual tiene una alta demanda en el mercado nacional e internacional (Le Bellec et al., 2006).

El fruto de la pitahaya es considerado no climatérico, por lo que no cambian drásticamente sus propiedades, posterior a su cosecha, con excepción de la coloración de la cáscara, ya que ésta se torna de un color rosa rojizo dependiendo del estado de madurez fisiológica al momento del corte (Zee et al., 2004; Osuna Enciso et al., 2011).

Es de importancia que la cosecha de los frutos se lleve a cabo en el momento adecuado para que tanto las características físicas del fruto (tamaño, peso, color, firmeza y porcentaje de pulpa) como las propiedades químicas (pH, acidez y sólidos solubles totales) se encuentren en niveles que permitan una mayor vida de anaquel, aceptación por parte del consumidor y al mismo tiempo mantenga la calidad de la fruta. Si bien las propiedades antes mencionadas son consideradas como indicadores de calidad de la fruta (Osuna Enciso et al., 2016; Ortiz & Takahashi, 2020), existen otros indicadores como el contenido de betalaínas y fenoles solubles totales, compuestos fitoquímicos que han demostrado tener efectos positivos en la salud humana, ayudando en la prevención y tratamiento de enfermedades como diabetes, cáncer, trastornos cardiovasculares, entre otros (Stintzing & Carle, 2004; Ajie, 2015; Ibrahim et al., 2018).

Se sabe que una nutrición adecuada acompañada de otras labores culturales como manejo de arvenses, plagas y enfermedades, entre otros, incrementa el rendimiento de cultivos, ya sea en grano, frutos, follaje u otros, lo mismo ocurre con el cultivo de la pitahaya, ya que en un estudio realizado por Morales Ayala et

al. (2020), encontraron que cuando incrementó la dosis de vermicompost y fertirriego en plantas de pitahaya de pulpa roja, éstas presentaron mayor cantidad de brotes, la calidad de los productos cosechados también está relacionado con la nutrición que se suministra a las plantas, ya que las mejor nutridas producirán cosechas de mejor calidad. Sin embargo, existe escasa o nula información en cuanto a la relación directa entre la nutrición y la calidad de frutos de pitahaya, que permita a los agricultores tomar decisiones para llevar a cabo el manejo nutrimental de su cultivo y ofertar al mercado productos de calidad. Por lo que, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la calidad de fruta y contenido de compuestos fitoquímicos de frutos provenientes de la primer y segunda floración de plantas de pitahaya de pulpa roja (*Hylocereus ocamponis*) dos años de edad sujetas a diferentes dosis de fertilizaciones en la Mixteca Poblana.

4.2 Materiales y métodos

4.2.1 Obtención de muestras

Los frutos se obtuvieron en estado de madurez fisiológica de una plantación a la cual se le aplicaron dosis de fertilización al 50 (T₁), 100 (T₂) y 150 % (T₃) de la dosis óptima determinada mediante el diagnóstico nutrimental de la planta y la fertilidad del suelo, así como una cuarta dosis basada en la fertilización convencional (T₄). La plantación está ubicada en la localidad Lomas de San Francisco en el municipio Tepexi de Rodríguez, Pue. Se consideró a una planta de pitahaya como unidad experimental de la cual se tomaron al azar tres frutos, a los cuales se les determinó la calidad mediante los indicadores establecidos por Osuna Enciso et al. (2016) y Ortiz y Takahashi (2020,) así como el contenido de betalaínas y fenoles solubles totales.

4.2.2 Calidad de fruto

Se evaluaron las características físicas y propiedades químicas de los frutos, así como el contenido de betalaínas y fenoles solubles totales, con la finalidad de determinar entre los tratamientos aplicados cuáles producen mejores frutos.

Características físicas evaluadas

Diámetro polar (DP), diámetro ecuatorial (DE), y coeficiente de forma (DE/DP) del fruto

Se lavaron con agua y se secaron inmediatamente. Empleando un vernier digital (modelo:122200, Surtek, México) se midió el diámetro polar y ecuatorial, posteriormente se dividió el valor del DE entre el DL para obtener el coeficiente de forma.

Peso de fruto

Cada fruto se pesó con una balanza digital con precisión de 0.1 gramo (Ohaus, Scout Pro SP2001, USA), se obtuvo el peso promedio de por planta y por tratamiento.

Porcentaje de pulpa

Se extrajo la pulpa de cada fruto, se pesó por separado tanto la pulpa como la fruta, y con una regla de tres se calculó el porcentaje de pulpa a cada fruto, posteriormente se promedió por planta y por tratamientos.

Firmeza de cáscara

Se midió la firmeza de la cáscara de cada fruto empleando un penetrómetro (Mecmesin, UK), se registró la resistencia que opone la cáscara a ser perforada, en Newtons (N).

Color

Se determinó el color tanto de cáscara como de pulpa, empleando un colorímetro (Hunterlab, Reston, USA) se obtuvieron los parámetros Hunter L*, a*, b*, necesarios para calcular el ángulo de tono (Hue) y la saturación (Croma) (MacDougall, 2002). La coloración se expresó en luminosidad, ángulo de tono y croma. Las ecuaciones empleadas para calcular el Hue y el Croma son las que a continuación se presentan:

$$Hue = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*} \text{-----}(1)$$

$$Croma = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \text{ -----}(2)$$

Propiedades químicas evaluadas

Acidez titulable (AT)

Para determinar este parámetro se empleó la metodología descrita por la Asociación Oficial de Químicos Analíticos, por sus siglas en inglés AOAC (1998). De los tres frutos muestreados de cada planta, se maceraron 10 g de cada uno hasta obtener licuado o puré, se la agregaron 50 mL de agua destilada, posteriormente se mezclaron homogéneamente para conformar una sola muestra, ésta última mezcla se filtró para separar los sólidos; finalmente, se tituló adicionando hidróxido de sodio al 0.05 N hasta que se obtuvo un cambio en la coloración de la muestra y los resultados se expresaron en porcentaje de ácido málico.

Contenido de sólidos solubles totales (SST)

Se tomó una muestra de pulpa macerada y con un refractómetro se obtuvo el valor que fue expresaron en °Brix.

pH

Para obtener este valor, se tomó una muestra de pulpa macerada de la mezcla de los tres frutos de cada tratamiento y mediante un potenciómetro (HANNA Hi 8424, USA) se determinó el pH.

Contenido de compuestos fitoquímicos

Preparación del extracto

Empleando metanol como disolvente se preparó el extracto para la determinación de compuestos fitoquímicos, siguiendo el procedimiento descrito por García Cruz et al. (2016). Se empleó 1 g de muestra de pulpa de pitahaya de pulpa roja y 10 mL de metanol al 80 %. Se sonicaron dichas muestras durante 20 minutos en un sonicador (Branson 1800, USA). Posteriormente, las muestras se mantuvieron durante 10 minutos a -20 °C en un congelador. Se centrifugaron a 6500 rpm en

una centrífuga (Hettich Zentrifugen, Germany) durante 10 minutos para separar el tejido vegetal del extracto final.

Concentración de betalaínas (BT)

Es importante aclarar que en para la cuantificación de betalaínas, primero se realizó un barrido en el espectrofotómetro con el fin de identificar picos máximos de absorbancia en un intervalo de 300 a 600 nm.

La cuantificación de betalaínas se realizó por un método espectrofotométrico, donde se empleó un espectrofotómetro (Perkin Elmer Lambda 25 UV/Vis, USA), y se leyó la absorbancia de cada muestra a una longitud de onda de 536 nm, ya que a esa longitud de onda se tuvo el pico de absorción máximo en el barrido previo. Para obtener la concentración de betalaínas se empleó la fórmula descrita por Castellanos y Yahia (2008):

$$BC [mg/g] = [(A(DF)(MW)Vd/\epsilon LWd)]-----(3)$$

Donde BC es la concentración de betacianina o betaxantina ($mg\ g^{-1}$), A es la absorbancia (535 nm para betacianina y 483 nm para betaxantinas), DF es el factor de dilución, MW es el peso molecular ($550\ g\ mol^{-1}$ para betanina y $308\ g\ mol^{-1}$ para indicaxantina), Vd es el volumen de aforo (mL), ϵ es el coeficiente de extinción molar ($60,000\ L\ mol^{-1}cm^{-1}$ para betanina y $48,000\ L\ mol^{-1}cm^{-1}$ para indicaxantina), Wd es el peso de la muestra (g) y L es la longitud de la celda (1 cm.). El resultado se expresó en contenido de betalaínas (mg de betacianinas) por cada 100 g de muestra fresca.

Concentración de fenoles solubles totales (FST)

Se determinó por el método Folín-Ciocalteu (FC), descrito por Singleton y Rossi (1965) con algunas modificaciones. Se empleó 100 μ L de extracto de pitahaya de pulpa roja previamente preparado y 125 μ L de FC, se mezcló y dejó reaccionar durante 3 minutos; posteriormente se neutralizó la mezcla empleando 1.25 mL de carbonato de sodio (Na_2CO_3) y finalmente se aforó a 3 mL con agua destilada y se dejó reaccionar durante 90 min en un cuarto oscuro. Posteriormente, se

centrifugó a 10000 rpm durante 10 min (Hettich Zentrifugen, Germany) para sedimentar el tejido vegetal y eliminar turbidez de las muestras. Se determinó la absorbancia en un espectrofotómetro (Perkin Elmer Lambda 25 UV/Vis, USA) a una longitud de onda de 760 nm.

Se realizó una curva estándar con ácido gálico, con lo cual mediante regresión lineal se obtuvo la ecuación de la recta que se utilizó para determinar la concentración de FST empleando el valor de la absorbancia. Se expresó en mg equivalentes de ácido gálico por 100 gramos de muestra ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$). Se realizaron 7 puntos de la curva, con lo que se obtuvo la ecuación 4 con un $R^2=0.9988$.

$$y = 0.0037x - 0.1013 \text{-----}(4)$$

Despejando x se tiene la siguiente ecuación final:

$$x = (y + 0.1013)/0.0037 \text{-----}(5)$$

Donde x=concentración de FST, y=absorbancia.

4.3 Análisis de datos

Los resultados fueron analizados mediante análisis de varianza y comparación de medias de acuerdo con Tukey ($p \leq 0.05$), para determinar si existe o no diferencia entre tratamientos de fertilización, utilizando el programa “Statistical Analysis Software” (SAS).

4.4 Resultados y discusión

4.4.1 Características físicas

Los resultados de las dimensiones de los frutos cosechados fueron similares en los cuatro tratamientos (Cuadro 13), por lo tanto, el coeficiente de forma también fue similar, cercano al 0.6, lo que indicó que la fruta de la especie *H. ocamponis* tiende a ser alargada, puesto que coeficientes con tendencia a uno indican frutas esféricas, mientras que cuanto menor a uno sea el coeficiente de forma indica que el fruto es alargado.

El peso de los frutos fue estadísticamente similar cuando se aplicó la fertilización convencional comparada con los tratamientos aplicados, ya que, aunque numéricamente en el T₄ el peso promedio de frutos sea menor al resto, debido a la alta variación en los datos no se puede afirmar que los frutos de los tratamientos T₁, T₂ y T₃ sean superiores. Algo similar ocurre con el porcentaje de pulpa, se observa que numéricamente los primeros tres tratamientos son superiores en cuanto al contenido de pulpa por fruto, debido a la variación de los datos no se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Cuadro 13. Propiedades físicas del fruto de pitahaya de pulpa roja

Tratamiento	DP (cm)	DE (cm)	DE/DP	Peso fruto (g)	Pulpa (%)	Firmeza (N)
T ₁	12.81 ± 1.20 ^a	7.56 ± 0.71 ^a	0.59 ± 0.05 ^a	362.59 ± 100.27 ^a	66.93 ± 4.50 ^a	29.99 ± 5.06 ^a
T ₂	12.94 ± 0.98 ^a	7.20 ± 1.05 ^a	0.56 ± 0.05 ^a	355.63 ± 129.07 ^a	64.62 ± 4.95 ^a	26.95 ± 4.77 ^a
T ₃	12.76 ± 1.21 ^a	7.28 ± 0.64 ^a	0.57 ± 0.05 ^a	345.65 ± 90.11 ^a	66.76 ± 4.35 ^a	29.60 ± 5.65 ^a
T ₄	12.63 ± 0.99 ^a	7.42 ± 0.56 ^a	0.59 ± 0.04 ^a	328.80 ± 87.68 ^a	63.37 ± 3.59 ^a	31.39 ± 4.30 ^a
DMSH	1.41	0.98	0.06	131.68	5.58	6.35

DP: diámetro polar; DE: diámetro ecuatorial; DE/DP: coeficiente de forma; N: Newtons; DMSH: diferencia mínima significativa honesta. Medias con letra distinta en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

Diámetro polar y diámetro ecuatorial

El diámetro polar y diámetro ecuatorial estuvieron entre 12.63-12.94 y 7.20-7.56 cm, respectivamente. No hubo diferencia entre los tratamientos, sin embargo, este valor indica que los frutos obtenidos fueron similares con los reportados por

López Silva et al. (2004) y Osuna Enciso et al. (2016), quienes reportan valores de 10-13.3 y 12.9-13.6 cm respectivamente de DP, y 6.8-7.4 y 7.7-8.8 cm para DE. Por otro lado, los valores de DP en el presente estudio fueron superiores a los obtenidos por Salais Lira (2011), quien reportó 8.3 y 7.9 cm de DP para *H. undatus* e *H. polyrhizus*, respectivamente; asimismo a los encontrados por Cabrera Verdesoto et al. (2018), quienes hallaron valores de DP de 9.11-12.21 cm de DP.

Peso

Respecto al peso de los frutos, los valores estuvieron entre 328.80 y 362.59 g, siendo el mayor en el T₁ y el menor en el T₄. Estos valores son menores a los reportados por Osuna Enciso et al. (2016) para *H. undatus*, ya que obtuvieron pesos de 434 y 481 g en dos diferentes años, lo que sugiere que la fruta obtenida en el presente estudio para la especie *H. ocamponis* fue hasta 100 g menos pesada. Por otro lado, López Silva et al. (2004) obtuvieron frutos de 322 a 376.6 g, lo que es similar a lo encontrado en este estudio. Asimismo, los valores de peso de fruto fueron superiores a los reportados por Trivellini et al. (2020), quienes obtuvieron 273 y 315 g de peso de fruto de dos especies de pitahaya.

El peso de los frutos cosechados (Cuadro 13) se encuentra dentro de lo mencionado por López y Guido (2002), quienes refieren que el peso del fruto de diferentes especies de pitahaya oscila entre 150 y 450 g.

Porcentaje de pulpa

El porcentaje de pulpa fue similar con lo reportado por Hernández Ramos et al. (2020), quienes obtuvieron 64.09 % de pulpa para la misma especie; asimismo, fueron semejantes al valor reportado por Ochoa Velasco et al. (2012), quienes obtuvieron 65.59 % de pulpa de frutos de tres especies pitahaya. Por otro lado, Osuna Enciso et al. (2016) reportaron valores de 62.3 y 63.2 % de pulpa para *H. undatus*, inferiores a los obtenidos en este estudio para *H. ocamponis*. Sin embargo, los valores están fuera del intervalo referido por Gunasena et al. (2007),

quienes reportan valores de entre 70 y 80 % de pulpa en frutos de pitahaya. Esto depende en gran medida del estado de madurez de los frutos al momento de la cosecha, ya que frutos más maduros presentan cáscara más delgada, por lo tanto, de menor peso (Ortiz & Takahashi, 2015).

Firmeza de cáscara

Los valores de firmeza de la cáscara que presenta la cáscara de los frutos de pitahaya de pulpa roja presentados en el Cuadro 13 sugieren que no se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos, teniendo un intervalo de 26.95 a 31.39 Newtons(N), en el T₂ y T₄, respectivamente. Estos valores fueron menores a los reportados por Hernández Ramos et al. (2020), que determinó 65.7 N en la cáscara. La firmeza de los frutos cosechados fue superior a los reportados para otros frutos de cactáceas; Ocho Velasco et al. (2013) reportaron 9 N para *Opuntia albicarpa*; García Cruz et al. (2016) reportaron de 1.59 a 2.45 N para diferentes cultivares de *Stenocereus proinosus* y *S. stellatus*, lo que muestra que los frutos de *H. ocamponis* presenta mayor resistencia a daños físicos o mecánicos que los frutos antes mencionados. Esta característica le confiere una mayor vida en anaquel, ya que la resistencia que presenta esta parte del fruto a ser penetrada por un agente externo proporciona evidencia de qué tan manipulable puede ser sin dañarse o qué tanto resiste contra plagas y enfermedades en el periodo de postcosecha (Hernández Ramos et al., 2020).

Color de fruto

En los frutos de pitahaya se pueden identificar diferentes colores en cuanto a pulpa, blanco, rojo y rosa, principalmente. Dicho tono de color se logra cuando el fruto madura fisiológicamente y sólo se puede observar hasta que se retira la cáscara. Ésta última también adquiere diferentes tonalidades cuando el fruto madura, rosa, rosado-rojizo y amarillo, lo cual puede ser un indicador del estado de madurez del fruto, por lo que es importante evaluar tanto el color de cáscara como el de pulpa, lo que permite conocer la madurez del fruto.

Color de cáscara

La apariencia de los frutos fue un buen indicador de las posibles condiciones en las que se encuentra, principalmente de madurez. Tal es el caso para los frutos de pitahaya, ya que éstos cambian de un color verde a rosa o rojo cuando han alcanzado la madurez y pueden ser cosechados (Osuna Enciso et al., 2011; Ortiz & Takahashi, 2015; Ortiz & Takahashi, 2020). En este estudio, se consideró la coloración en término de madurez para realizar la cosecha.

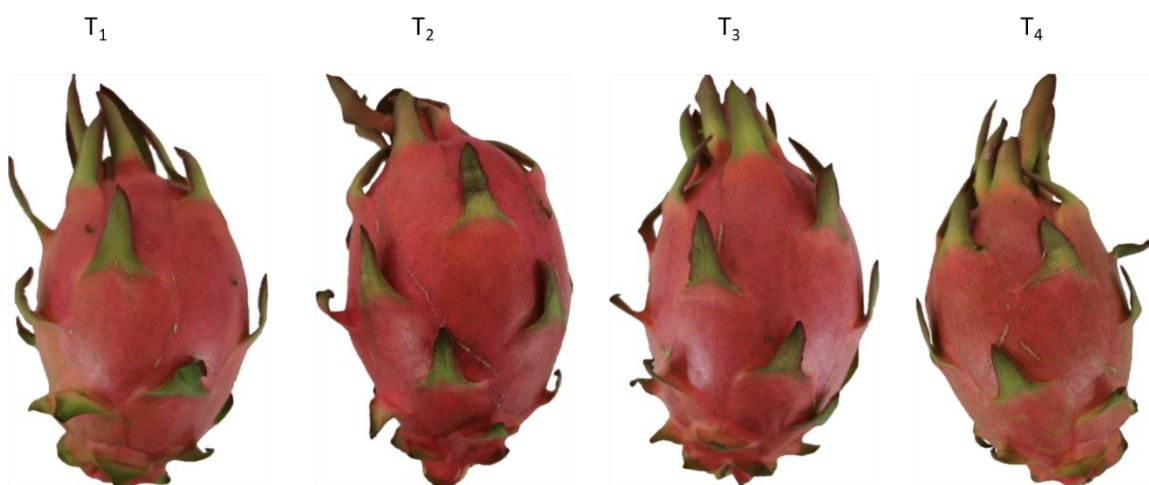


Figura 7. Comparación de color de frutos de *H. ocamponis* cultivada mediante cuatro tratamientos.

Los valores de luminosidad (L) mostraron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre tratamientos (Cuadro 14), siendo el T₄ el que presentó una luminosidad más alta (45.88), y el T₁, T₂ y T₃ fueron iguales estadísticamente alrededor de 42.90. Asimismo, los valores fueron superiores a los reportados por Hernández Ramos et al. (2020), donde obtuvieron una luminosidad de 35.69 para frutos de la misma especie, lo que indica que los frutos cosechados fueron más brillantes. Se sabe que, en estos frutos, el brillo es un factor determinante a la hora de elegirlos por el consumidor, ya que ellos prefieren frutos más brillantes (Ortiz & Takahashi, 2015).

En cuanto al ángulo de matiz de la cáscara, se obtuvieron valores significativamente diferentes ($p \leq 0.05$) (Cuadro 14), siendo el T₄ el más alto

(32.51) y el T₁ el más bajo (23.99). Estos valores son cercanos al rojo (Figura 7), lo que nos indica que los frutos se cosecharon en un estado de maduración óptimo. De acuerdo con Ortiz y Takahashi (2015), valores de inferiores a 30° son aceptables para el consumo. De los cuatro tratamientos aplicados en este estudio, todos cumplen esta condición excepto el T₄, que es el que representa la fertilización convencional. Por lo anterior, el T₁ es el tratamiento que propició una mejor coloración a los frutos de pitahaya de pulpa roja, mientras que el T₄ es el que mostró una coloración menos aceptable.

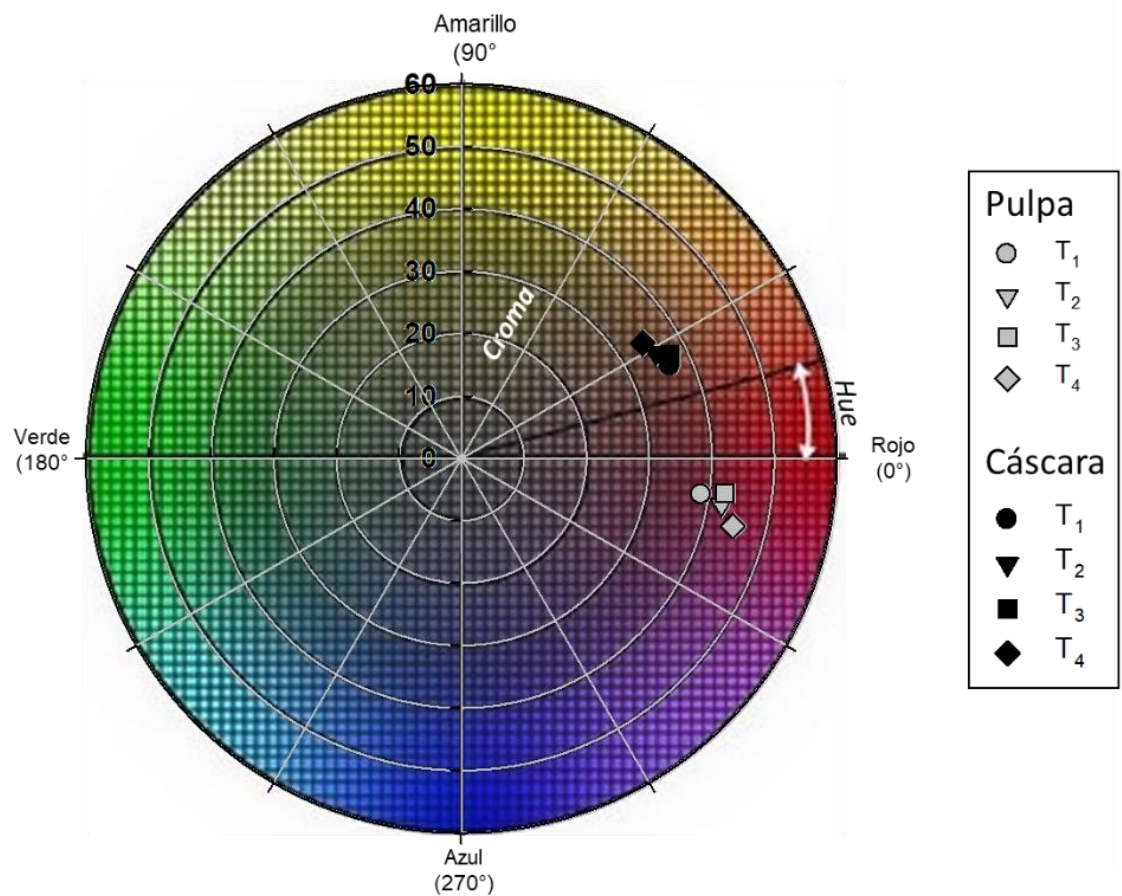


Figura 8. Representación gráfica de ángulo de tono y croma de la pulpa y cáscara del fruto de pitahaya.

Otro parámetro de coloración importante a considerar es la saturación del color (*croma*), el cual nos indica qué tan puro es el tono de color que muestra el ángulo de matiz. Los frutos de pitahaya de pulpa roja no mostraron valores

significativamente diferentes ($p \leq 0.05$), estuvieron en el intervalo de 34.35 a 37.17 (Figura 8). Estos valores son más bajos que el reportado por Hernández Ramos et al. (2020) para la misma especie, sin embargo, se encuentran dentro el intervalo reportado por Ortiz y Takahashi (2015).

Cuadro 14. Color de cáscara y pulpa del fruto de pitahaya de pulpa roja

Tratamiento	Color de cáscara			Color pulpa		
	L	H°	C	L	H°	C
T ₁	42.91 ± 1.45 ^b	23.99 ± 4.08 ^b	36.49 ± 3.66 ^a	19.06 ± 2.68 ^a	351.38 ± 4.34 ^a	38.76 ± 3.78 ^b
T ₂	42.92 ± 1.43 ^b	28.45 ± 4.98 ^{ab}	35.34 ± 3.53 ^a	16.43 ± 2.41 ^{ab}	349.87 ± 3.48 ^{ab}	42.16 ± 3.42 ^{ab}
T ₃	42.93 ± 1.10 ^b	26.51 ± 4.31 ^{ab}	37.17 ± 3.05 ^a	18.08 ± 2.47 ^{ab}	352.38 ± 2.69 ^a	42.43 ± 5.14 ^{ab}
T ₄	45.88 ± 1.11 ^a	32.51 ± 6.14 ^a	34.35 ± 1.71 ^a	15.39 ± 3.04 ^b	345.98 ± 3.78 ^b	44.68 ± 2.79 ^a
DMSH	1.64	6.31	3.94	3.4	4.62	4.95

L: luminosidad; H°: Hue (ángulo de matiz); C: croma o saturación; DMSH: diferencia mínima significativa honesta. Medias con letra distinta en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

Color de pulpa

Así como el color externo de las frutas es importante a la hora de seleccionar, también el color interno lo es a la hora de consumir, ya que esto puede ser un indicador de calidad y estado de madurez. La luminosidad obtenida para la pulpa del fruto de pitahaya en este estudio fue significativamente diferente entre los tratamientos ($p \leq 0.05$) (Cuadro 14). El tratamiento que proporcionó una mayor luminosidad en la pulpa fue el T₁, seguido del T₃, T₂ y el T₄ fue el que presentó un valor más bajo. Los valores fueron similares al reportado por Hernández Ramos et al. (2020), quienes obtuvieron 21.66 de luminosidad para pulpa de pitahaya de la misma especie. Estos resultados nos indican que el T₁ produjo frutos con pulpa más brillante en comparación con el resto, lo que a la vista de los consumidores resulta ser más atractivo.

En cuanto al ángulo de tono de la pulpa de pitahaya de pulpa roja, sí se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), teniendo valores más altos y por lo tanto más cercanos al color rojo en el T₃, T₁ y T₂, mientras que el T₄ fue el más bajo (Figura 8). Los valores fueron diferentes a los reportados por Hernández

Ramos et al. (2020), quienes obtuvieron valores de 16.73°, es decir, 16.73° alejado del color rojo, mientras que los valores obtenidos en este estudio se encuentran como máximo 10.13° alejado del rojo (T₄), y como mínimo 7.62° alejado del rojo (T₃), considerando que el color rojo se encuentra a los 360° en la escala Hunter L*, a*, b*; lo anterior indica que la fruta cosechada alcanzó una coloración más roja, propia de la especie *H. ocamponis*.

Respecto a la saturación del color, se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), el T₄ mostró la saturación más alta, el T₃ y T₂ presentaron una saturación media, y el T₁ fue el tratamiento con la coloración menos pura.

Finalmente, la coloración de la cáscara de la fruta de pitahaya de pulpa roja cosechada en el presente estudio presentó una tonalidad rojo-anaranjado, mientras que la pulpa presentó un tono rojo-rasado. El brillo o luminosidad fue superior en la cáscara respecto a la pulpa. El croma fue un tanto superior en la pulpa respecto a la cáscara, lo que indica que la saturación del color de la pulpa fue más intensa.

4.4.2 Propiedades químicas

Sólidos solubles totales (SST)

El SST en frutos de pitahaya de pulpa roja mostraron diferencia significativa ($p \leq 0.05$). El tratamiento T₃ fue el que produjo una mayor cantidad de SST en los frutos (14.01 °Brix), mientras que el T₄ produjo frutos con la menor concentración de SST (Cuadro 15). Los resultados fueron inferiores a los reportados por Hernández Ramos et al. (2020) para la misma especie, ya que ellos obtuvieron 15.63 °Brix, superior en 1.62 °Brix que nuestro valor más alto que fue el T₃. Sin embargo, coincide por lo reportado por Rodríguez Canto (2002), quien menciona que la pitahaya de pulpa roja presenta 14.6 °Brix en promedio.

Los valores de SST son semejantes a los reportados para *H. undatus* por Osuna Enciso et al. (2011); Ortiz y Takahashi (2015); Osuna Enciso et al. (2016) y

Mercado Silva (2018), quienes reportan de 13.6, 12.2, 13.1 a 14.1 y 12 a 14 °Brix respectivamente.

El mejor tratamiento en este caso por dar una mayor concentración de SST en el sentido que este parámetro indicó el dulzor de la fruta, en orden decreciente fueron T₃, T₂, T₁ y T₄.

pH

Los cuatro tratamientos produjeron un pH similar en los frutos, no se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Los valores estuvieron entre 4.95 y 5.05, es decir, sólo hubo 0.1 de diferencia entre el que presentó el mayor y el menor pH (T₂ y T₁ respectivamente). Estos fueron similares a los reportados por Hernández Ramos et al. (2020) para la misma especie.

Cuadro 15. Propiedades químicas de frutos de pitahaya de pulpa roja

Tratamiento	SST (°Brix)	pH	AT (% de AM)	Relación SST/AT
T ₁	12.96 ± 1.29 ^{ab}	4.95 ± 0.16 ^a	0.54 ± 0.10 ^a	24.97 ± 4.33 ^a
T ₂	13.78 ± 0.74 ^{ab}	5.05 ± 0.06 ^a	0.46 ± 0.06 ^a	30.91 ± 5.36 ^a
T ₃	14.01 ± 1.21 ^a	5.01 ± 0.16 ^a	0.51 ± 0.13 ^a	29.10 ± 7.79 ^a
T ₄	12.46 ± 0.98 ^b	5.02 ± 0.12 ^a	0.51 ± 0.08 ^a	25.80 ± 3.69 ^a
DMSH	1.37	0.17	0.13	7.05

SST: Sólidos solubles totales; AT: Acidez titulable; DMSH: Diferencia mínima significativa honesta. Medias con letra distinta en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

Acides titulable (AT)

Los resultados muestran que ningún tratamiento mostró una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en la acidez titulable de la fruta (Cuadro 15). Los valores estuvieron entre 0.46 y 0.54 % entre el de menor y el de mayor AT. Estos valores fueron superiores a los encontrados por Hernández Ramos et al. (2020) para la misma especie, quienes reportaron 0.15 % de AT. De acuerdo con Osuna Enciso et al. (2016), para que la fruta de la pitahaya tenga un sabor agradable debe tener

al menos 0.24 % de AT, por lo que, en este estudio los cuatro tratamientos superan dicho valor, lo cual resultó deseable

Relación SST/AT

Esta relación indicó qué tan agradable fue el sabor del fruto, ya que representa el dulzor respecto a la acidez. Valores superiores a 40 reflejan un sabor insípido, ya que se pierden los ácidos orgánicos, por lo que valores inferiores a éste indican un sabor agradable el fruto (Osuna Enciso et al., 2016). En este estudio, no se tuvieron diferencias significativas para este parámetro de calidad ($p \leq 0.05$), sin embargo, los cuatro tratamientos produjeron valores de SST/AT menores a 40, lo que indicó que los frutos cosechados presentaron un sabor agradable para el consumo.

En estos parámetros de calidad se presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) únicamente en el contenido de sólidos solubles totales, en el cual el T₃ presentó valores más altos, seguido del T₂ y el T₁, mientras que el T₄ fue el que tuvo el valor más bajo. Lo anterior indica que los frutos producidos con el T₃ tuvieron un mayor dulzor respecto al resto.

4.4.3 Contenido de compuestos fitoquímicos

Betacianinas (Bc)

En el barrido realizado en el espectrofotómetro se determinó que en los extractos de pulpa de los frutos sólo existen betacianinas, ya que el pico máximo de absorbancia se tuvo a los 536 nm (Figura 9), longitud de onda en la cual se leen las betacianinas.

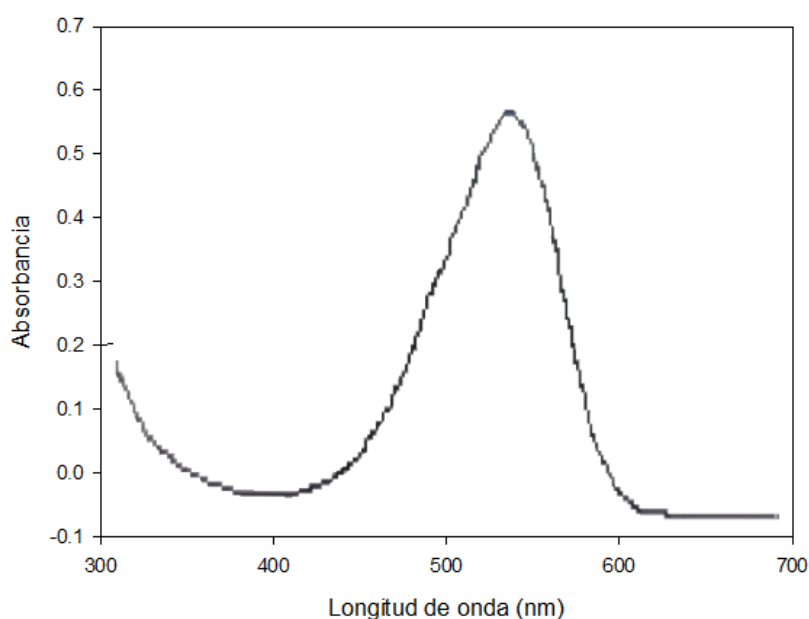


Figura 9. Resultados del barrido realizado a extractos de a una longitud de onda de 300 a 700 nm a extractos de pulpa de pitahaya.

Los frutos de pitahaya de pulpa roja cosechados mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en el contenido de betacianinas. El tratamiento que consistió en aplicar el 100 % de la dosis óptima (T_2) produjo mayor cantidad de betacianinas, mientras que con la fertilización convencional (T_4) se obtuvieron frutos con el menor contenido de este pigmento natural (Cuadro 16).

Cuadro 16. Contenido betacianinas y fenoles solubles totales en pulpa frutos de pitahaya

Tratamiento	Bc (mg 100g ⁻¹)	FST (mg AG 100g ⁻¹)
T ₁	14.10 ± 1.42 ^{bc}	39.02 ± 2.53 ^b
T ₂	16.38 ± 1.63 ^a	41.57 ± 1.53 ^{ab}
T ₃	15.49 ± 2.19 ^{ab}	43.23 ± 2.30 ^a
T ₄	13.02 ± 1.63 ^c	40.56 ± 2.00 ^{ab}
DMSH	2.22	2.71

Bc: betacianinas; FST: fenoles solubles totales. AG: ácido gálico. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta. Medias con letra distinta en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

Se observó que donde se aplicó la fertilización por arriba del óptimo ($T_3=150\%$) se obtuvieron frutos con cantidades similares de Bc que cuando se aplicó el T_2 . Sin embargo, una fertilización por debajo del óptimo ($T_1=50\%$) produce menor cantidad del pigmento, lo que coincide con lo reportado por Prisa (2021) para *Myrtillocactus geometrizans*, ya que cuando aplicó la fertilización (NPK) al 100 % obtuvo mayor contenido de betalaínas que cuando aplicó el 50 %.

El contenido de betacianinas en los frutos cosechados fueron superiores hasta en 36 % respecto a los reportados por Hernández Ramos et al. (2020), quienes obtuvieron 11.98 mg 100 g⁻¹ en frutos de pitahaya de la misma especie.

Fenoles solubles totales (FST)

El contenido de FST en frutos de pitahaya fue diferente entre los tratamientos aplicados ($p \leq 0.05$). Los frutos de las plantas a las cuales se les aplicó el 150 % de fertilización produjeron una mayor cantidad de este fitoquímico, similar al T_4 y T_2 , mientras que con el T_1 se obtuvo el menor contenido. Los valores para la especie *H. ocamponis* de este estudio fueron superiores a los reportados por Wee y Wee (2011) para *H. polyrhizus* (otra especie de pitahaya de pulpa roja), quienes obtuvieron 24.22 mg AG 100 g⁻¹.

4.5 Conclusiones

La calidad en cuanto a características físicas como peso, tamaño, porcentaje de pulpa, y firmeza de cáscara de frutos de pitahaya no hubo diferencias aplicando dosis al 50, 100 y 150 % de fertilización, ni con la nutrición convencional, en plantas *H. ocamponis* de 2 años.

La coloración de la pulpa de la fruta fue mejor cuando se aplicó la dosis de fertilización por arriba del óptimo (150 %) y con la dosis al 100 %, sin embargo, el color de la cáscara fue mejor con la fertilización convencional.

Las propiedades químicas de los frutos fueron similares en los cuatro tratamientos, excepto los sólidos solubles totales (SST), los cuales determinan

en gran medida el dulzor de éstos; en este caso, el tratamiento que produjo una mayor cantidad de SST fue cuando se aplicó la dosis del 150 % de fertilización, sin embargo, no tuvo diferencia cuando se aplicó el 100 %, por lo que éste último resultó ser mejor debido a que requiere una menor cantidad de fertilización.

En cuanto al contenido de betacianinas y fenoles solubles totales en los frutos cosechados, el T₃ y el T₂ fueron los tratamientos que produjeron mayor cantidad de estos compuestos fitoquímicos respecto al T₁ y el T₄. Sin embargo, debido a que el T₃ implica una mayor cantidad de fertilizante, se concluyó que el T₂ resultó la mejor opción comparado con el resto de los tratamientos.

El tratamiento que produjo la fruta de mejor calidad en pitahaya de pulpa roja de 2 años de edad fue el T₂, que consistió en la aplicación del 100 % de la dosis óptima de fertilización determinada; seguido por el T₃, ya que produjo resultados similares en cuanto a calidad. En el T₃ es necesario aplicar una mayor cantidad de fertilizantes, lo que repercute en un mayor gasto y por lo tanto, es preferible el T₂.

4.6 Literatura citada

- Ajie, R. B. (2015). White dragon fruit (*Hylocereus undatus*) potential as diabetes mellitus treatment. *J MAJORITY*, 4(1), 69-72.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. (1998). Official Methods of Analysis. 16th ed. S William (ed). Published by the Association of Official Analytical Chemists. Washington, D. C. USA.
- Britton, N.L., & Rose, J.N. (1963). The cactaceae: description and illustrations of plants of the cactus family, Volumes 1 and 2. Dover, New York.
- Cabrera Verdesoto, C. A., Cabrera Verdezoto, R. P., Morán Morán, J. J., Terán Macías, J. S., Molina Triviño, H. M. Meza Bone, G. A., & Tamayo Lema, C. L. (2018). Evaluación de dos abonos orgánicos en la producción del cultivo de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en el litoral ecuatoriano. *La Técnica: Revista de las Agrociencias*, 20, 29-40.
- Castellanos Santiago, E., & Yahia, E. M. (2008). Identification and Quantification of Betalains from the Fruits of 10 Mexican Prickly Pear Cultivars by High-Performance Liquid Chromatography and Electrospray Ionization Mass Spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(14), 5758–5764. doi:10.1021/jf800362t

- García Cruz, L., Valle Guadarrama, S., Salinas Moreno, Y., & Luna Morales, C. del C. (2016). Postharvest quality, soluble phenols, betalains content, and antioxidant activity of *Stenocereus pruinosus* and *Stenocereus stellatus* fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 111, 69–76. doi:10.1016/j.postharvbio.2015.07.004
- Gunaseena, H. P. M., Pushpakumara, D. K. N. G., & Kariyawasam, M. (2007). Dragon Fruit. *Hylocereus undatus* (Haw.) Britton and Rose. In: Pushpakumara D. K. N. G., Gunaseena, H. P. M. & Singh, V. P. (eds). Underutilized fruit trees in Sri Lanka. World Agroforestry Centre, South Asia Office, New Delhi, India. pp. 110-141.
- 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. doi:10.1111/jfbc.12491.
- Le Bellec, F., Vaillant, F., & Imbert, I. (2006). Pitahaya (*Hylocereus* spp.): a new fruit crop, a market with a future. *Fruits*, 61, 237–250. doi: 10.1051/fruits:2006021.
- López Díaz, H., & Guido Miranda, A. (2002). Guía Tecnológica 6, Cultivo de la Pitahaya. Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria. 40 p.
- López Silva, A., Pohlan, J., & Salazar Centeno, D. (2004). Efectos Agrobiológicos de Coberturas Verdes en el Cultivo de la Pitahaya (*Hylocereus undatus* Britton & Rose) en Nicaragua. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, 105(2), 175-187.
- Macdougall, D. (2002). Colour in food improving quality, Ed. CRC Press LLC, USA. 314 pp.
- Mercado Silva, E. M. (2018). Pitaya-*Hylocereus undatus* (Haw). In: Rodrigues, S., De Oliveira Silva, E. & Sousa de Brito, E. (eds) Exotic Fruits, Academic Press. pp. 339-349. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803138-4.00045-9>.
- Morales Ayala, Y., Ceja Torres, L. F., Méndez Inocencio, C., Silva García, T., Venegas González, J., & Pineda Pineda, J. (2020). Respuesta vegetative de (*Hylocereus* spp.) a la aplicación de vermicompost y fertirriego. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23(20), 1-9.
- Ochoa Velasco, C. E., García Vidal, V., Luna Guevara, J. J., Luna Guevara, M. L., Hernández Carranza, P., & Guerrero Beltrán, J. A. (2012). Características antioxidantes, fisicoquímicas y microbiológicas de jugo fermentado y sin fermentar de tres variedades de pitahaya (*Hylocereus* spp). *Scientia Agropecuaria*, 3, 279 – 289.
- Ortiz, T. A. & Takahashi, L. S. A. (2015). Physical and chemical characteristics of pitaya fruits at physiological maturity. *Genetics and Molecular Research*, 14(4), 14422-14439
- Ortiz, T. A., & Takahashi, L. S. A. (2020). Quality of fruits of pitaya (*Hylocereus undatus* [Haworth] Britton & Rose) according to physiological maturity. A

review. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 14(1). Doi: <https://doi.org/10.17584/rcch.2020v14i1.8422>

- Osuna Enciso, T., Ibarra Zazueta, Ma.E., Muy Rangel, Ma.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(1), 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(1), 61–78.
- Prisa, D. (2021). *Myrtillocactus geometrizans* fruit plant stimulated with Effective microorganisms. *Biology ad Pharmacy*, 01(01), 025-032.
- Rodríguez Canto A. (2002). Producción y comercialización de pitahayas en México. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial. Universidad Autónoma Chapingo, México. 37 p.
- Stintzing, F. C. & Carle, R. (2004). Functional properties of anthocyanins and betalaíns in plants, food, and human nutrition. *Trends in Food Science & Technology*. 15, 19-38.
- Singleton, V. L., & Rossi, J. J. A., (1965). Colorimetry of total phenolics withphosphomolybdc–phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Vitic.* 16,144–158.
- Wee Sim, C., & Wee Khing, Y. (2011). Antioxidant properties of two species of *Hylocereus* fruits. *Adv. Appl. Sci. Res.*, 2 (3): 418-425.
- Zee, F., Yen, C. R., & Nishina, M. (2004). Pitaya (Dragon fruit, Strawberry Pear). College of Tropical Agriculture and Human Resources, 1-3.

5 APÉNDICES

Apéndice 1. Evidencia fotográfica de la fase experimental en campo



Figura 1. Plantas de *Hylocereus ocamponis*, previo a la aplicación de los tratamientos (2 años de plantadas).



Figura 2. Aplicación de fertilización foliar.



Figura 3. Aplicación de fertilizante granulado



Figura 4. Emisión de yemas florales de *H. ocamponis*



Figura 5. Floración de *H. ocamponis* recién abiertas, por la noche



Figura 6. Floración de *H. ocamponis* previo al cierre, por la mañana



Figura 7. Diferencia entre flor de *H. undatus* (izquierda) e *H. ocamponis* (derecha)



Figura 8. Aplicación de polen previamente colectado



Figura 9. Polen de *H. undatus* aplicado manualmente a *H. ocamponis*



Figura 10. Maduración del fruto de pitahaya de pulpa roja



Figura 11. Frutos maduros de pitahaya de pulpa roja

Apéndice 2: Evidencia fotográfica de la fase de trabajo en laboratorio



Figura 1. Medición de diámetro ecuatorial (izquierda) y diámetro polar (derecha).



Figura 2. Pesado de fruto completo y de cáscara para obtener % de pulpa.



Figura 3. Medición de color de pulpa



Figura 4. Lectura de Sólidos solubles totales con un refractómetro (izquierda) y pH con un potenciómetro (derecha).

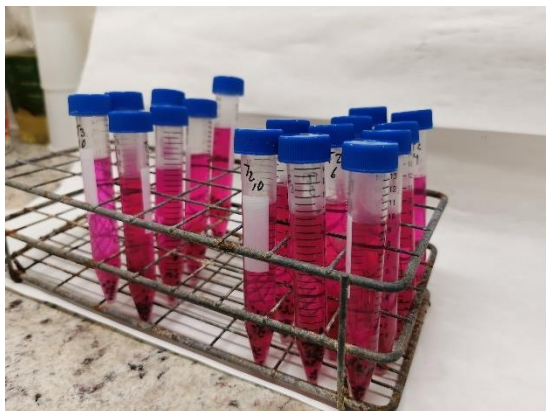


Figura 5. Preparación de extractos para cuantificar betalaínas



Figura 6. Muestras preparadas (izquierda) y lectura de absorbancia en el espectrofotómetro para calcular la concentración de fenoles solubles totales.