



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE HIDROCIENCIAS

EVALUACIÓN DE LA PROPAGACIÓN DE PITAHAYA (*Hylocereus undatus*) BAJO DIFERENTES ESQUEMAS DE NUTRICIÓN

ARANZA HORTENCIA NAVARRETE TORRES

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO

2023



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

La presente tesis titulada: **Evaluación de la propagación de pitahaya (*Hylocereus undatus*) bajo diferentes esquemas de nutrición**, realizada por la estudiante: **Aranza Hortencia Navarrete Torres**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS

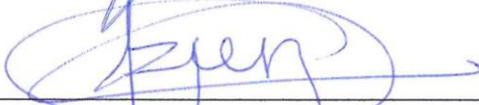
HIDROCIENCIAS

CONSEJO PARTICULAR

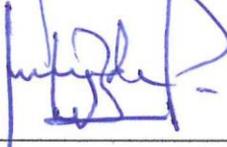
CONSEJERO (A)


DR. JORGE FLORES VELÁZQUEZ

ASESOR (A)


DR. HÉCTOR FLORES MAGDALENO

ASESOR (A)


DR. JOÉL PINEDA PINEDA

Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, enero de 2023

EVALUACIÓN DE LA PROPAGACIÓN DE PITAHAYA (*Hylocereus undatus*) BAJO DIFERENTES ESQUEMAS DE NUTRICIÓN

**Aranza Hortencia Navarrete Torres, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2023.**

RESUMEN

La pitahaya es una cactácea epífita que atiende necesidades nutricionales como antioxidantes y hepatoprotectoras, que la vuelven un producto fácil de comercializar. Sin embargo, una limitante para su producción en México es el poco conocimiento de su manejo agronómico. En ese sentido, se plantea una investigación centrada en el efecto de las soluciones nutritivas (SN), en el desarrollo vegetativo de pitahaya, para lo cual se estableció un cultivo de la variedad *Hylocereus undatus* bajo invernadero y en sustrato, los macronutrientes fueron suministrados con cinco SN (Steiner normal, Steiner 75%, Steiner con Si, Hoagland y Hewit) diferentes. El arreglo experimental consistió en bloques completamente al azar con cinco tratamientos y cinco repeticiones en cada uno. El desarrollo vegetativo se evaluó a través de características físicas no destructivas (Altura de la planta, número de brotes, diámetros de crestas basales medias y altas, diámetro de caras basales medias y altas) durante nueve meses y al finalizar este periodo se evaluaron variables destructivas (peso fresco y seco de raíz y parte aérea, volumen, longitud y diámetro de raíz), igualmente se realizó un análisis nutricional del tejido de los cladodios a los 279 días después del trasplante. Se observaron diferencias significativas en número de brotes, diámetro de media y alta del brote, diámetro de caras basales, medias y altas del brote, diámetro de raíz, volumen radicular, peso de biomasa aérea fresca, y peso de biomasa radicular seca.

Palabras Clave: Fertirriego, Hidroponía, Fruta del dragón.

EVALUATION OF THE PROPAGATION OF PITAHAYA (*Hylocereus undatus*) UNDER DIFFERENT NUTRITION SCHEMES.

Aranza Hortencia Navarrete Torres, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2023.

ABSTRACT

Pitahaya is an epiphytic cactus that meets nutritional needs such as antioxidants and hepatoprotectants, which make it an easy product to market. However, a limitation for its production in Mexico is the lack of knowledge of its agronomic management. In this sense, an investigation focused on the effect of nutrient solutions (NS) on the vegetative development of pitahaya, for which a crop of the variety *Hylocereus undatus* was established under greenhouse and in substrate, the macroelements were supplied with five different NS (normal Steiner, Steiner 75%, Steiner with Si, Hoagland and Hewit). The experimental arrangement consisted of completely randomized blocks with five treatments and five replicates in each. Vegetative development was evaluated through non-destructive physical characteristics (plant height, number of shoots, diameters of medium and high basal crests, diameter of medium and high basal faces) during nine months and at the end of this period destructive variables were evaluated (fresh and dry weight of root and aerial part, volume, length and diameter of root), also a nutritional analysis of cladode tissue was carried out 279 days after transplanting. Significant differences were observed in the number of shoots, diameter of the middle and high shoot, diameter of basal, middle and high shoot faces, root diameter, root volume, fresh aerial biomass weight, and dry root biomass weight.

Key words: Fertigation, Hydroponics, Dragon fruit.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por financiar mi formación académica.

Al Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, por facilitarme instalaciones y demás recursos materiales y académicos, para el establecimiento experimental de esta investigación.

Al Posgrado de Hidrociencias y al personal administrativo sin el cual no hubiera podido realizar en tiempo todos los trámites correspondientes para la culminación adecuada de este proyecto de investigación.

A todos los catedráticos que contribuyeron con su conocimiento a mi formación durante este posgrado, en especial:

Al Dr. Jorge Flores Velázquez, por todo el tiempo y los consejos para el establecimiento y ejecución experimental, así como la posterior redacción del presente documento.

Al Dr. Joel Pineda Pineda por toda su excelente asesoría en cuestiones de nutrición vegetal, así como sus consejos para el mantenimiento de las plantas.

Al Dr. Héctor Flores Magdaleno por todo su apoyo y asesoría técnica en cuestiones climáticas y de evapotranspiración.

Al Dr. Roberto Ascencio Hernández por tomarse el tiempo para aconsejarme en la redacción y la mejora de este documento de tesis.

Al MC Rene Martínez y PD. Magdalena Sánchez Astello, porque sin su apoyo no podría haber comenzado con este emocionante proyecto de realizar una maestría.

DEDICATORIA

Y cuando despertó se dio cuenta

De que comenzaba a soñar

Alejandro Jodorowsky

A MI MADRE Verónica, por acompañarme en cada una de las etapas de mi vida, eres una mujer única, es una fortuna ser tu hija. Tu amor y consejos son los pilares que guían mi camino.

A MI ESPOSO Alejandro por ser mi confidente, cómplice y mejor amigo, tú me impulsas a conseguir mis metas, gracias por cuidarme tanto. Esta vida que construimos juntos es maravillosa. Te amo demasiado.

A MIS HERMANAS Y CUÑADOS, Alaciel, Saily Clemente y Alejandro por apoyarme económica y moralmente, han sido un respaldo enorme en mi vida. Gracias por cuidarme siempre.

A MIS SOBRINOS Alexa, José Alejandro, Juan Emanuel, Abigail, Dania y Areli son regalos que Dios me ha mandado para hacer más alegre mi vida. Estoy muy orgullosa de cada uno, soy afortunada por ser parte de sus vidas.

CONTENIDO

RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
DEDICATORIA.....	vi
LISTA DE CUADROS	ix
LISTA DE FIGURAS	xi
I.-INTRODUCCIÒN	1
II. OBJETIVOS.....	3
2.1. General.....	3
2.2. Específicos.....	3
III. REVISIÒN BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. El cultivo de pitahaya.....	4
3.1.1. Origen y distribución de la pitahaya.....	5
3.1.2. Principales usos	6
3.1.3. Requerimientos.....	6
3.2. Sistema de producción	11
3.2.1 Propagación	11
3.2.2. Poda.....	12
3.2.3. Frutos.....	12
3.3. Solución nutritiva	14
3.3.1. pH de la solución nutritiva	15
3.3.2. CE de la solución nutritiva	16
3.3.3. Temperatura de la solución nutritiva.....	16
3.3.4. Oxigenación de la solución nutritiva.....	17
3.4. Hidroponía.....	17
3.5. Efecto del silicio en el desarrollo de plantas	19
3.6. Efecto del amonio en el desarrollo de las plantas.....	21
IV.- MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
4.1. Descripción del sitio	23
4.2. Material vegetativo.....	23

4.3. Diseño experimental.....	24
4.3.1. Solución nutritiva	26
4.3.2. Variables medidas en invernadero.....	28
4.3.3. Variables medidas en laboratorio	30
4.3.4. Análisis estadístico	35
V.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
5.1. Variables de estudio en invernadero	36
5.1.1. Variables no destructivas.....	36
5.1.2. Variables destructivas.....	44
5.2. Variables de estudio en laboratorio.....	47
VI.- CONCLUSIONES.....	53
VII.- LITERATURA CITADA.....	54
ANEXOS.....	61

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Rendimiento de pitahaya en el sur de Florida en ton/ha (Evans & Huntley, 2011).	5
Cuadro 2: Elementos esenciales y formas en que son absorbidos (Marschner, 2012).	14
Cuadro 3: La tolerancia a la sal de los cultivos y el rendimiento disminuyen con la CE (Smith and Doran, 1996).....	16
Cuadro 4: Solubilidad del oxígeno en agua pura a varias temperaturas a 760 mm Hg de presión atmosférica (Trejo-Téllez & Gómez-Merino, 2012).....	17
Cuadro 5. Composiciones de soluciones nutritivas utilizadas en cada tratamiento (meq/l).	24
Cuadro 6: Formulación de la solución nutritiva Steiner.	27
Cuadro 7: Clasificación de raíces de acuerdo a su diámetro (Schoeneberger., 2002).	30
Cuadro 8. Altura total de la planta como respuesta a las diferentes soluciones nutritivas.	36
Cuadro 9: Diámetro de las crestas basales del esqueje.	38
Cuadro 10: Diámetro de las crestas medias del esqueje.	38
Cuadro 11. Diámetro de las crestas altas del esqueje.	38
Cuadro 12. Efecto de las SN en el diámetro de caras basales del esqueje.....	39
Cuadro 13. Efecto de la SN en el diámetro de las caras medias del esqueje.	40
Cuadro 14. Efecto de la SN en el diámetro de caras altas del esqueje.	40
Cuadro 15. Efecto de las SN en el número de brotes nuevos.	41
Cuadro 16. Efecto de las SN en el diámetro de las crestas basales de los brotes.	42
Cuadro 17. Efecto de las SN en el diámetro de las crestas medias de los brotes.	42
Cuadro 18. Efecto de las SN en las crestas altas de los brotes.	42
Cuadro 19. Efecto de las SN en la cara base de los brotes.	43
Cuadro 20. Efecto de las SN en la cara media de los brotes.....	43
Cuadro 21. Efecto de las SN en la cara alta de los brotes.....	44
Cuadro 22. Desviación estándar, Media y Diferencias significativas de longitud de raíz entre los tratamientos.	44
Cuadro 23. Efecto las SN sobre el diámetro de la raíz (mm) de pitahaya.	46
Cuadro 24. Efecto de las SN en materia fresca y seca de los cladodios.	47
Cuadro 25. Efecto de las SN en la masa fresca y seca de raíz.	48
Cuadro 26. Efecto de las SN en el volumen radicular de pitahaya.	50

Cuadro 27. Composición mineral de tallos de pitahaya (<i>H. undatus</i>).	51
Cuadro 28: Formulación de la Solución nutritiva de Steiner al 75%	71
Cuadro 29:Formulaciòn de Solución nutritiva Steiner con Si.	72
Cuadro 30: Formulación de solución nutritiva de Hoagland	73
Cuadro 31: Formulación de solución nutritiva de Hewitt.....	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Progresión secuencial de las principales etapas de crecimiento de la fruta el dragón (<i>Hylocereus undatus</i>). Tiempo transcurrido en cada etapa (barras horizontales), temperatura media mensual (°C) y la duración del día (Kishore, 2016).....	4
Figura 2. Producción de Pitahaya en México (SIAP, 2020).	6
Figura 3: Cultivo de pitahaya con modificación de fotoperiodo (www.google.com).	9
Figura 4. Síntomas de la enfermedad de pobredumbre del tallo en fruta del dragón (Karim et al., 2019).	10
Figura 5: Numero de brotes a las 24 semanas de propagación in vitro (Ojeda-Zacarias et al., 2012)	11
Figura 6: Frutos de pitahaya cosechados en madurez inicial (A), media (B), y completa (C) (Osuna Enciso et al., 2011).	13
Figura 7: Diagrama de Troug de disponibilidad de nutrientes. Cada nutriente está representado con una banda; el espesor es proporcional a la disponibilidad (Trejo-Téllez & Gómez-Merino, 2012)	15
Figura 8: Tipos de sistemas de cultivo sin suelo (Winsor y Schwarz., 1990)	18
Figura 9: Elementos presentes en la corteza terrestre (Yavaş & Ünay, 2017)	20
Figura 10: Efecto del silicio en el stress biótico y abiótico (Etasami & Ryong., 2018)	20
Figura 11: Posibles mecanismos para el balance hídrico mediado por silicio (Si) de plantas que experimentan deficiencia de agua (Chen et al., 2018).	21
Figura 12. Ubicación de Colegio de Postgraduados (Google earth., 2022).	23
Figura 13. Características del equipo de bombeo utilizado, el color de la clave corresponde al modelo utilizado.	25
Figura 14. a) Vista de goteros utilizados. b) Calibración del sistema. c) Vista del cabezal del sistema. d) Vista de los esquejes trasplantados.	25
Figura 15: Mezcla comercial de microelementos.	26
Figura 16: Vista de medición de diámetros de caras y crestas de pitahaya (Garbanzo-León et al., 2019)	28
Figura 17: Vista de toma de diámetro de la cresta media del brote.	29
Figura 18: Vista de parte aérea y parte radicular fuera de la bolsa.	29
Figura 19: a) Vista de muestras después del proceso de digestión. b) Vista de destilador.	31

Figura 20: a) vista de agitador magnético b) vista de espectrofotómetro	31
Figura 21. Vista de curva de calibración de calcio, y flamómetro.	32
Figura 22. Vista de los extractos con molibdo vanadato.....	32
Figura 23. Vista del espectrofotómetro de absorción atómica.....	33
Figura 24: Muestras de tejido en baño maría para digestión.	34
Figura 25: Soluciones para medir la absorbancia de Si.	34
Figura 26. Crecimiento de pitahaya días después del trasplante.	37
Figura 27. Efecto de las SN en la longitud de raíz (cm).	45
Figura 28. Efecto de las SN en el diámetro de raíz para el rango 3 a 9 cm.	46
Figura 29: Medias de peso fresco y seco de parte aérea para las diferentes SN.....	48
Figura 30. Medias de peso fresco y seco de raíz para las diferentes SN.	49
Figura 31. Medias de volumen radicular para las diferentes SN.	50
Figura 32: Contenido de Si en cladodios de pitahaya.	52
Figura 33: Ilustraciones del desarrollo vegetativo de la fruta del dragón (<i>Hylocereus undatus</i>) según la escala extendida de BBCH (Kishore, 2016).	61
Figura 34: Ilustraciones del desarrollo reproductivo y floración de la fruta del dragón (<i>Hylocereus undatus</i>) según la escala extendida de BBCH (Kishore, 2016).....	62
Figura 35: Ilustraciones del desarrollo de la fruta y maduración de la fruta del dragón (<i>Hylocereus undatus</i>) según la escala extendida de BBCH (Kishore, 2016) (Kishore, 2016).	63
Figura 36. Vista de programador de 8 tiempos Voltec	64
Figura 37: Raíz de pitahaya con tratamiento Steiner Normal.....	65
Figura 38: Raíz de pitahaya con tratamiento Steiner 75%.....	65
Figura 39: Raíz de pitahaya con tratamiento Steiner con Si.	66
Figura 40: Raíz de pitahaya con tratamiento Hoagland.....	66
Figura 41: Raíz de pitahaya con tratamiento Hewitt	67
Figura 42: Parte aérea de pitahaya con btratamiento Steiner Normal	68
Figura 43: Parte aérea de pitahaya con tratamiento Steiner 75%	68
Figura 44: Parte aérea de pitahaya con tratamiento Steiner con Si.....	69
Figura 45: Parte aérea de pitahaya con tratamiento Hewitt	69
Figura 46: Parte aérea de pitahaya con tratamiento Hoagland.	70

I.-INTRODUCCIÓN

La demanda alimentaria mundial actual, ha provocado que uno de los objetivos agrícolas sea el aumento de la producción con un mínimo impacto ambiental (Nascimento *et al.*, 2019). Volviendo esencial establecer agroecosistemas que armonicen con el medio ambiente y posibiliten producciones con temporalidades variadas (Calix de Dios H., 2014). En ese sentido, el cultivo de pitahaya atiende la necesidad de encontrar frutas con las características nutricionales y económicas que el mercado solicita (Attar *et al.*, 2022). Ibrahim *et al.*, (2018) mencionan que la pitahaya tiene propiedades anticancerígenas, hepatoprotectoras, antidiabéticas y cicatrizantes, tiene un alto contenido de antioxidantes, y presenta betaninas y betacianinas, que son una fuente de colorante natural (Verona-Ruiz *et al.*, 2020). Desde el punto de vista climático, es fácilmente adaptable al bajo consumo de agua y altas temperaturas ya sea en campo o en invernadero (Trivellini A., 2020),(Li *et al.*, 2018). Todo esto la convierte en un producto atractivo para el mercado actual, cuya tendencia se dirige a la producción de super frutas (le Bellec & Vaillant, 2011).

La pitahaya solía ser una planta de traspatio y en su mayoría cultivada solo para autoconsumo, poco a poco esto ha cambiado, siendo vietnam e Israel los mercados con mayor importación y exportación (Balendres & Bengoa, 2019). En el continente europeo todavía era desconocida a mediados de la década de 1990, hoy día se ha vuelto un producto conocido entre las frutas exóticas (le Bellec & Vaillant, 2011). En el continente americano, Ecuador está intentando promover la comercialización de la fruta del dragón viendo su alto potencial (Huachi *et al.*, 2015), mientras que en Estados Unidos las producciones principales ocurren en el sur de California, Florida y Hawái, que crecen a medida en que los productores conocen más sobre el cultivo (Goenaga *et al.*, 2020a). En México, su producción aún no está extendida, en 2016 se contaba con 850 hectáreas, mientras que para el 2019 esta superficie aumentó en un 200% (SIAP., 2020). Sin embargo, un factor limitante para su comercialización se centra en la necesidad de contar con frutos consistentes en términos de calidad y cantidad que satisfagan la demanda del mercado (Paull & Chen, 2017).

La producción de pitahaya en nutrición e hidroponía tiene muy poco estudio, por lo que aportar un tratamiento nutritivo enfocado a favorecer el desarrollo vegetativo resulta una aportación importante para su explotación comercial (Farid H. Md *et al.*, 2021; Gasic *et al.*, 2014). En el manejo de huertos de pitahaya, es indispensable conocer la cantidad de nutrientes con la cual se obtienen resultados satisfactorios en cuanto a crecimiento vegetativo, pero también rendimiento,

lo cual permita realizar planes de gastos si lo que se busca es lograr alto valor comercial (de Almeida Alves *et al.*, 2021). El uso de soluciones nutritivas y el conocimiento de los elementos acumulados en raíz y cladodios, permitirán definir estos planes de fertilización específicos (Castro Lima *et al.*, 2019).

En este trabajo se busca encontrar el efecto que tiene el fertirriego enriquecido con silicio y diferentes fuentes de nitrógeno (nitrato y amoniacal) en pitahaya durante su etapa de desarrollo vegetativo, con el propósito de comparar el efecto de las SN en la acumulación de elementos en parte aérea, lo cual podrá decantar en un mayor conocimiento sobre el manejo agronómico y se logre disminuir el tiempo entre el crecimiento y la producción, pero además provocar efectos positivos de una nutrición vegetal adecuada como pueden ser la reducción en la incidencia de plagas, mejora en la etapa de formación, mayor producción de capullos florales y a la postre frutos.

II. OBJETIVOS

2.1. General

- Analizar el efecto de cinco soluciones nutritivas en la etapa inicial de propagación de Pitahaya (*Hylocereus undatus*) cultivada en sustrato e invernadero.

2.2. Específicos

- Evaluar el impacto del contenido de silicio, nitrógeno y amonio en la SN sobre la propagación y desarrollo de la pitahaya (*Hylocereus undatus*) en etapa inicial

III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1. El cultivo de pitahaya

El género *Hylocereus*, es una planta epífita con tallos triangulares de color verde oscuro, de crestas bien definidas, delgadas y cortas; producen numerosos brotes (Gasic *et al.*, 2014) Existen 15 especies de este género destacando *Hylocereus: undatus, megalanthus, setaceus, polyrhizus* y *costaricensis* (Silva-Matos. Barros-Furtado. Furtado de Farias., 2020). Sus flores son hermafroditas y de floración nocturna, la cual se presenta desde mediados de abril, hasta finales de noviembre (Muchajib & Muchajib, 2000). El capullo floral después del trasplante tarda en aparecer entre 15 y 18 meses (Farid H. Md *et al.*, 2021) y 28 a 30 días en abrir (Alam Patwary *et al.*, 2013), mientras que el tiempo de maduración del fruto es de 35 días desde la apertura de la flor hasta la antítesis (Merten S., 2003).

Kishore, (2016) categorizó las etapas fenológicas de *Hylocereus undatus* de acuerdo con la escala BBCH (Biologische Bundesantalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie) en la cual se encontraron siete etapas de crecimiento (Ver Figura 1):

- 3 para el desarrollo vegetativo (brote, desarrollo de brotes y desarrollo de órganos propagados vegetativamente).
- 4 para el crecimiento reproductivo (desarrollo de brotes reproductivos, floración, desarrollo de flores, frutos y maduración)

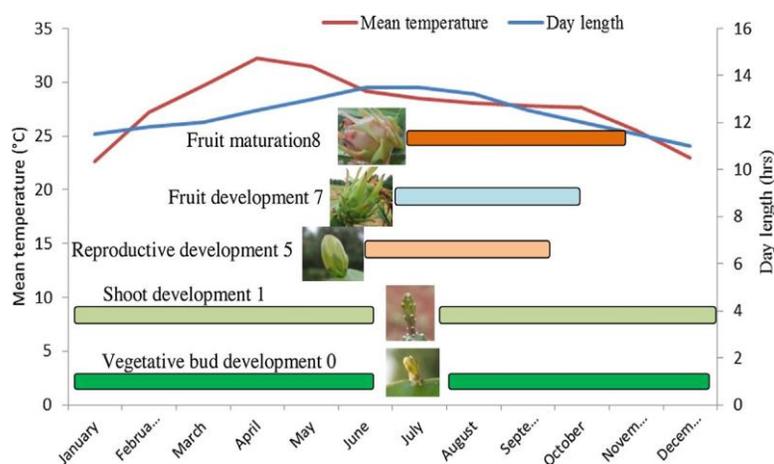


Figura 1. Progresión secuencial de las principales etapas de crecimiento de la fruta del dragón (*Hylocereus undatus*). Tiempo transcurrido en cada etapa (barras horizontales), temperatura media mensual (°C) y la duración del día (Kishore, 2016).

3.1.1. Origen y distribución de la pitahaya

El origen de la pitahaya es atribuido a las regiones del Centro y Sur de América (Lichtenzveig *et al.*, 2000). Se ha distribuido en los distintos continentes del mundo, encontrando su mayor producción en China y países como Vietnam y Tailandia (Huachi *et al.*, 2015). En el continente europeo todavía era desconocida a mediados de la década de 1990, hoy día se le conoce y clasifica entre las frutas exóticas (le Bellec & Vaillant, 2011). En malasia su introducción ocurrió en el 2000 (Then, 2013). En el continente americano, Ecuador está intentando promover la comercialización de la fruta del dragón viendo su alto potencial comercial (Huachi *et al.*, 2015), mientras que en Estados Unidos las producciones principales ocurren en el sur de California, Florida y Hawái, que crecen a medida en que los productores conocen más sobre el cultivo (Goenaga *et al.*, 2020b). Tan solo en florida entre 2006 y 2010 su producción creció en aproximadamente seis veces, siendo la promesa de altos rendimientos y fuerte demanda de las poblaciones estadounidenses y chinas (Evans & Huntley., 2011).

Evans & Huntley (2011), menciona que, en el sur de Florida, Estado Unidos, el costo beneficio de una huerta de 2 ha es de 1.93 USD, lo que implica que por cada dólar invertido se obtienen 0.93 USD de ganancia, y el rendimiento promedio para una huerta madura de 4 años en adelante es de 20 ton/ha, en el Cuadro 1 se pueden observar los rendimientos promedio para los primeros 12 años (ver Cuadro 1).

Cuadro 1. Rendimiento de pitahaya en el sur de Florida en ton/ha (Evans & Huntley, 2011).

Edad de la Huerta	Rendimiento (ton/ha)
Año 2	10.51
Año 3	16.67
Año 4 a 9	20.68
Año 10 a 12	21.83

En México la mayor producción se ha reportado en Puebla, sin embargo, también se puede encontrar en Quintana Roo, Oaxaca y Sinaloa (Calix de Dios H., 2014). De acuerdo a datos del SIAP (2020), la producción de esta fruta ha crecido de 850 ton en 2016 a 1750 ton para el 2019 (ver Figura 2). Osuna-Enciso et al. (2016) reportan que en Sinaloa las plantaciones de pitahaya

presentan de cinco a siete floraciones durante el año, iniciando su floración en junio y terminando entre septiembre y octubre.

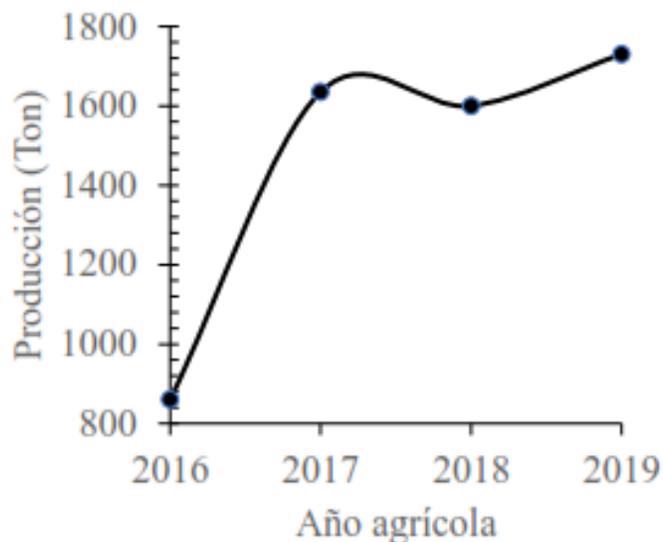


Figura 2. Producción de Pitahaya en México (SIAP, 2020).

3.1.2. Principales usos

La mejora genética de los alimentos abrió la puerta para el análisis nutricional de frutas, y su efecto benéfico para la salud (Tel-Zur, 2022). Se ha encontrado que la pitahaya tiene valores nutricionales altos por su rico contenido de fibras y minerales. Se considera que es laxante y hepatoprotectora, es rica en vitamina C y antioxidantes (Muchjajib & Muchjajib, 2000). Reduce los niveles de presión arterial y alivia los problemas estomacales e intestinales, además su consumo es recomendado para contrarrestar enfermedades como la diabetes y cáncer al colon (Verona-Ruiz *et al.*, 2020). Su cascara tiene aplicaciones en la industria como un colorante natural (Farid H. Md *et al.*, 2021). El color rojo de los frutos de pitaya es atribuido a su alto nivel de biosíntesis y acumulación de betalina, pigmentos que promueven la salud previniendo enfermedades, o bien como pigmentos en procesos agroindustriales (Tel-Zur, 2022).

3.1.3. Requerimientos

a) Requerimientos Climáticos

La temperatura máxima reportada por Lichtenzveig *et al.*, (2000), Lewis., (2014), fue de 45° y mínima de 28°. Con precipitaciones medias de 1100 mm y 70% de humedad relativa (Muchjajib

& Muchjajib, 2000). Oliveira et al. (2024), en su investigación en Brasil indica que el clima de la región con características cálidas y secas y temperaturas anuales de 27 C, humedad relativa de 68.9% y precipitación media de 673.9 mm resultaron adecuadas para la producción de este cultivo. De Almeida Alves *et al.*, (2021) al estudiar el potencial productivo de pitahaya en fertilización con nitrógeno establecido en clima Aw en la región de Minas Gerais en Brasil, donde el mes más caluroso es de 24 C y el mes más frío 18.4 C.

El clima más adecuado sería uno libre de heladas, para evitar daños por licuefacción en temperaturas por debajo de los -4°C (Merten S., 2003). Trivellini A., (2020) menciona que se han registrado abortos más frecuentes entre agosto y septiembre y cuando las temperaturas en invernadero son superiores a los 42°C. Se ha encontrado que este cultivo se cosecha todo el año en países tropicales y subtropicales (Farid H. Md *et al.*, 2021). Osuna-Enciso *et al* (2016), asoció el inicio de floración con incrementos en temperatura y humedad relativa, siendo que en verano las flores alcanzan antesis en 2 semanas mientras que, en otoño en tres, presentando un efecto similar en la maduración de frutos pues en verano ocurre en un periodo de 4 semanas mientras que en otoño este proceso tardará 6 semanas.

b) Requerimientos Hídricos

Hablar de los requerimientos hídricos de pitahaya obliga a hablar de su potencial aprovechamiento de agua gracias a su metabolismo ácido crasuláceo (CAM) que es una de las características que lo vuelven más relevante como cultivo (Silva-Matos. Barros-Furtado. Furtado de Farias., 2020). El metabolismo CAM, evolucionó en respuesta a la disminución de niveles de CO₂ atmosférico hace aproximadamente 20 millones de años, lo cual causó en muchas plantas estrés foto espirativo, este estrés aumentó en aquellas plantas que vivían en altas temperaturas o con escasez de agua (Heyduk, 2022). Las plantas CAM han sido objetivos atractivos durante mucho tiempo para aquellos que estudian sequias en climas semiáridos y con limitaciones de agua (Winter & Smith, 2022). Un ejemplo de este tipo de trabajos en pitahaya es el presentado por Nobel-Park, (2006) que al investigar la capacidad de sobrevivencia de pitahaya ante la sequía encontró que luego de 6 semanas de sequía los tallos de esta planta pitahaya pierden un tercio de su contenido de agua volviéndose flácidos, sin embargo al aplicar riego luego de 7 días esta condición es revertida en su totalidad. Siendo cinco veces más rápida la rehidratación que la deshidratación.

En cuanto a los volúmenes de agua a aplicar, los tratamientos son diversos. En Fortaleza, Brasil hubo respuesta favorable, para su desarrollo en temporada de lluvias (febrero, marzo y abril) con precipitaciones promedio de 400 mm (de Castro Lima *et al.*, 2019). De Almeida Alves *et al.*, (2021) en su investigación en Minas Gerais Brasil cultivo exitosamente tres variedades de pitahaya por tres años con precipitaciones anuales de 1246 mm y riegos semanales de 20 L por planta en temporada seca. De tal forma que es posible su adaptación a diferentes condiciones hídricas que van desde regiones muy secas hasta húmedas con más de 3500 mm de lluvia por año (Goenaga *et al.*, 2020b). De tal forma que en muchos de los casos con cultivos a campo abierto y en suelo es suficiente con la precipitación del lugar y riegos auxiliares en temporada de estiaje. Lichtenzveig *et al.*, (2000) maneja requerimientos en volumen de 2 litros por semana durante la estación fría y de 5 litros por semana durante la estación cálida. mientras De Castro Lima *et al.*, (2019) utilizó riegos de 1 litro, tres veces por semana para macetas de 25 litros, las cuales contenía un sustrato arenoso y fibra de coco en proporción 1:1, los riegos fueron suspendidos en temporada de lluvias. Moreira *et al.*, (2016) menciona que lo importante es mantener el suelo siempre a capacidad de campo.

c) Requerimientos Lumínicos

Puesto que son plantas cuyo origen fue crecer con tutores vivos debajo de árboles (Càlix de Dios H., 2014), es necesario que cuenten con algún porcentaje de sombra (Mupambi *et al.*, 2018), se sabe que cuando las plantas de pitahaya reciben demasiada luz se blanquean y su crecimiento se retrasa. Mientras que si se cultivan con demasiada sombra se etiolan y sus tallos se vuelven más estrechos y su crecimiento es alargado (Merten S., 2003). Se ha demostrado que la reducción en la cantidad de luz con mallas protectoras ha dado como resultado un aumento en las hojas en este caso cladodios, en longitudes de los brotes y el peso total de los mismos, mejora el cuajado de la fruta y la floración de retorno. El uso de estas mallas es funcional también para la protección de quemaduras, granizo, ataque de aves e insectos (Mupambi *et al.*, 2018).

La pitahaya es una planta de día largo, por lo que en cuanto al efecto de la luz en su producción se pudiera extender la temporada controlando el inicio de la floración con luz artificial (ver Figura 3) (Merten S., 2003). Sin embargo, el fotoperiodo no afectará los brotes como tal sino el tipo de brote que emerge, pues en primavera saldrán cuatro tipos de brotes que aumentarán conforme aumenta la duración del día (Jiang y Yang, 2015b). Se ha encontrado que cultivos de pitahaya en países con

un fotoperiodo de 12 h durante todo el año, producen fruta durante todo el año (Muas y Jumjunidang, 2015; Zainudin y Ahmad Hafiz, 2015).



Figura 3: Cultivo de pitahaya con modificación de fotoperiodo (www.google.com).

d) Requerimientos Nutricionales

Debido a que se trata de un cultivo reciente, la información sobre la fertilización es esencial para mejorar su producción (Fernández *et al.*, 2018). Lichtenzveig *et al.*, (2000) demuestra la respuesta a riego en pitahaya con aguas de contenido de 70 ppm N, 9 ppm P y 70 ppm K. Muchjajib & Muchjajib, (2000) indicó que en Tailandia en suelos arcillosos con 53% de arcilla y baja materia orgánica (1.43%), con contenido de P medio (10 ppm) y K alto (190 ppm) al suministrar fertilización NPK se obtuvieron los mayores rendimientos (22, 21 y 20 tha^{-1}) en los tratamientos con mayores contenidos de nitrógenos (46, 24 y 16 $\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1}$) respectivamente. Lewis, (2014) menciona que, aunque estas plantas tienen respuesta positiva a la fertilización se debe tener cuidado de no provocar quemaduras en la zona radicular.

La fertilización potásica ha aumentado la producción y calidad de frutos de pitahaya. Se propone en siembras a campo abierto una fertilización de 106 a 133 gramos $\cdot \text{planta}^{-1}$ el primer año y de 200 g de K_2O en el segundo y tercer año después de la siembra.(Fernández *et al.*, 2018). La producción de frutos durante el primer año de manejo de pitahaya es una respuesta positiva contundente en los tratamientos de nutrición, sin embargo, este efecto no será el más alto que se presentará en toda la vida productiva, ya que aun estará en pleno proceso de formación (de Castro

Lima *et al.*, 2019). De Almeida Alves *et al.*, (2021) en su estudio con tres variedades de pitahaya y suelos del tipo Latossolo Amarelo obtuvo que la tasa promedio de fertilización nitrogenada para *Selenicereus Megalantus* es de 300 g/planta mientras que para *H. polyrhizus* y *undatus* la tasa es de 170 y 190 g/planta respectivamente. Aunque esta fertilización debe ser complementada con P y K, para un efecto más eficiente.

e) Enfermedades y requerimientos fitosanitarios

Las pérdidas por enfermedades en la fruta del dragón, tienen un papel importante en la rentabilidad del cultivo (Balendres & Bengoa, 2019). En plantaciones, aproximadamente el 82% de las plantas pueden verse afectadas por el hongo identificado como *Diaporthe phaseolorum*, el cual provoca una enfermedad grave de pudrición del tallo (Ver Figura 4) (Karim *et al.*, 2019). La antracnosis, pudrición del tallo, el cancro del tallo y los virus son algunas de las más frecuentes enfermedades que se presentan en la fruta del dragón (Balendres & Bengoa, 2019).

Con el inicio de las explotaciones comerciales de pitahaya, se observaron problemas de podredumbre y manchas en tallos y frutos, causando el abandono de los cultivos. En 1990 en México se inició el estudio de la pudrición del tallo, encontrando y caracterizando por lo menos dos enterobacterias *Botryosphaeria dothidea* Ces. & De Not, anamorfo *Fusicoccum* sp. En México se realizó la caracterización morfológica y fisiológica, con el fin de desarrollar estrategias de manejo integrado (Valencia-Botín *et al.*, 2013).



Figura 4. Síntomas de la enfermedad de podredumbre del tallo en fruta del dragón (Karim *et al.*, 2019).

3.2. Sistema de producción

3.2.1 Propagación

Existen diferentes formas de propagación de la pitahaya, unas mejores que otras de acuerdo a la finalidad que se busque, entre estas las más conocidas y estudiadas son propagación por semillas, esquejes o in-vitro (Montesinos Cruz *et al.*, 2015). El uso de semillas para propagar pitahaya, causa que el tiempo desde la siembra hasta la producción se extienda hasta 6 años (Trivellini A., 2020). Ojeda., (2014) indica que la propagación por semillas es muy susceptible a pudriciones causadas por hongos, depredadores o factores ambientales. Por lo que se ha mostrado como alternativa la propagación in vitro, utilizando la activación de areolas que son estructuras que contienen yemas axilares con lo cual se ha podido lograr resultados rápidos en cualquiera de las especies (ver Figura 5).



Figura 5: Numero de brotes a las 24 semanas de propagación in vitro (Ojeda-Zacarias *et al.*, 2012)

En cuanto a los esquejes Fernández *et al.*, (2018) considera como alternativa en dejar crecer el cladodio un metro para posteriormente trasplantarlo, con la diferencia que en este caso los postes o tutores ya deben estar instalados para el soporte del tallo. Otra opción es colocar un esqueje de 30 cm y guiar los cladodios nuevos de acuerdo a la forma del tutor, el cual puede ser vertical o inclinado, siendo la forma y vida útil del tutor de las características más importantes. Trivellini A., (2020) indica hay una relación directa en el enraizamiento que presentarán los esquejes y el largo de los mismos, es decir, esquejes más largos enraizarán mejor que los más cortos, lo que tendrá

efecto en la sobrevivencia en el trasplante. Independientemente de la longitud del brote cuando se utilizan esquejes para su propagación se recomienda realizar un corte inclinado en la base del tallo, dejándolo curar en un lugar seco y con sombra preferentemente por 7 días. Lo cual evitará que en el trasplante ocurra entrada de patógenos por esta zona (Trivellini A., 2020).

3.2.2. Poda

La poda en pitahaya es de vital importancia, pues en este tipo de especies puede inducir la diferenciación de botones de acuerdo a la época del año en que se realiza (Colorado-López *et al.*, 2022). En cuanto a la poda para la adaptación al tipo de tutor no importa si es soporte vivo o muerto el que se, la poda es necesaria para obligar a la planta a trepar correctamente tomando en cuenta que todo el crecimiento lateral debe ser eliminado, (Trivellini A., 2020). Goenaga *et al.*, (2020) indica que es necesario realizar una poda a un metro por encima del suelo para evitar que los cladodios crezcan indefinidamente. La poda de los brotes nuevos en los cladodios permitirá la formación de brotes productivos (Fernandes *et al.*, 2018). Se sugiere el crecimiento de un solo cladodio hasta una altura de 1.5 m y posteriormente hacer un corte en la punta para inducir la aparición de cladodios, cuando estos lleguen a 40 cm, se corta nuevamente la punta para producir más cladodios, en promedio 3 por tallo (de Castro Lima *et al.*, 2019).

3.2.3. Frutos

Un elemento importante en el desarrollo vegetativo de pitahaya sin duda es el amarre de frutos o cuajado de los mismos. Para que esto ocurra, debe existir una polinización exitosa durante la apertura de las flores (le Bellec & Vaillant, 2011). En el caso de *Hylocereus spp* las abejas no son buenos polinizadores por el tamaño de sus flores siendo más efectivos los murciélagos o polillas (Merten., 2003). Temperaturas por arriba de los 40 a 42 C, provocan que se presente con mayor frecuencia abortos de flores (Trivellini A., 2020)

El tamaño de la fruta determina su valor económico, en el mercado se prefieren frutas de 300 gr, aunque con nutrición se pudieran obtener frutos de hasta 600 gr (ver Figura 6) (Cho *et al.*, 2013). El peso depende de la polinización, así como de la selección de la variedad polinizadora (Merten., 2003). La viabilidad del polen de *Hylocereus undatus* es alta en comparación con otros miembros de su mismo grupo (Lichtenzveig *et al.*, 2000). Lichtenzveig *et al.*, (2000) encontró que se puede lograr polinización efectiva con 100% de amarre de fruto si se poliniza entre las mismas variedades

de *Hylocereus undatus*, no así con otras variedades como la *H. polyhizus*, en que el cuajado de frutos se presenta entre el 20 y 30%.

Sin embargo, características nutricionales particulares de esta fruta, así como sus rendimientos estarán en función de la especie, de los tratamientos nutricionales, del riego y de las temperaturas en las que se desarrollen (Farid H. Md *et al.*, 2021).

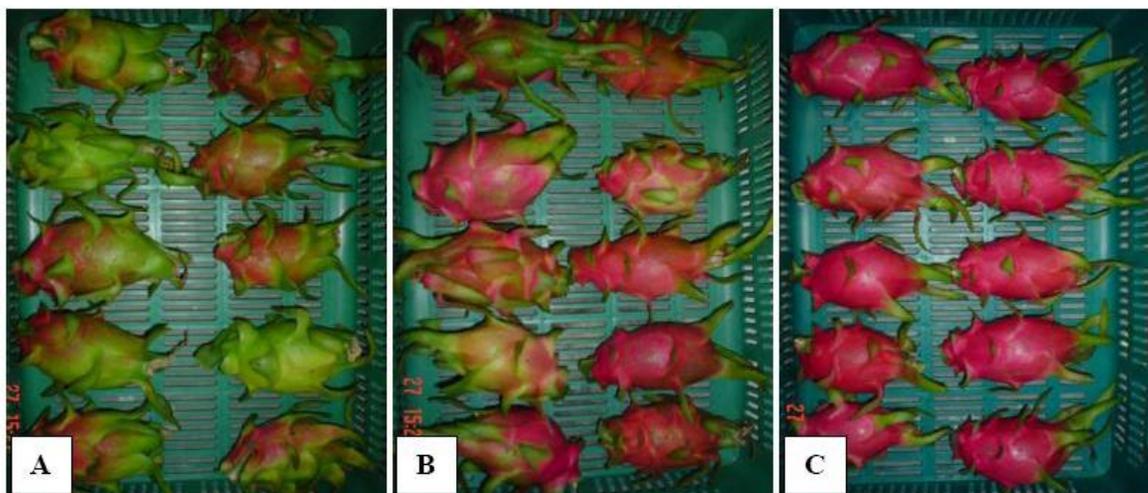


Figura 6: Frutos de pitahaya cosechados en madurez inicial (A), media (B), y completa (C) (Osuna Enciso *et al.*, 2011).

Investigaciones han demostrado que el peso, el diámetro y la longitud de la fruta se vieron significativamente afectados por la cantidad de carga de polen aplicada durante la polinización. Los frutos de 0,001 g de carga de polen tenían una concentración de sólidos solubles significativamente mayor (Cho *et al.*, 2013). Esto es importante porque según el tamaño de los frutos su impacto en el contenido de sólidos solubles será variable pues el sabor dulce de la fruta aumenta cuando se tiene una fertilización inorgánica y un tamaño de fruto entre los 200 y 300 gr (Muchjajib & Muchjajib, 2000). Dependiendo de la variedad será el contenido de grados brix que presenten, el cual puede ser entre 12 grados como la *H. undatus white* y 21 grados como la *H. Megalantus* (Gasic *et al.*, 2014). Los azúcares presentes en dos variedades de *Hylocereus ssp.*, de pulpa blanca y roja se encontraron entre 11.25 y 10.24 mg/100 gr (Attar *et al.*, 2022). La firmeza de los frutos es una característica muy importante para la comercialización del fruto, y es un factor que se puede cuidar durante la pre y postcosecha. La pulpa además de contener jugo contiene funículos, los cuales son las pequeñas semillas comestibles (Martínez-González, 1995).

3.3. Solución nutritiva

La solución nutritiva (SN), es el medio acuoso donde están disueltos los nutrientes esenciales para una planta en forma iónica y generalmente inorgánica (Favela *et al.*, 2006). Pudiendo ser añadidos en algún punto compuestos orgánicos como quelato de hierro o nitrógeno en forma de amonio (Trejo-Téllez & Gómez-Merino, 2012). El manejo de la SN es esencial para el desarrollo exitoso de un sistema hidropónico, por lo cual deben cuidarse parámetros como temperatura, conductividad eléctrica, nivel de O₂, equilibrio entre nutrientes y pH (Meselmani, 2022). Se han determinado 17 elementos esenciales que compondrán una SN aunque hay algunos más que sin ser esenciales son considerados benéficos por que ayudan en algún punto del desarrollo del cultivo (Ver cuadro 2) (Marschner, 2012)

Cuadro 2: Elementos esenciales y formas en que son absorbidos (Marschner, 2012).

Nutriente	Forma absorbida
Carbono (C)	CO ₂
Hidrogeno (H)	H ₂ O
Oxigeno (O)	H ₂ O, O ₂
Nitrógeno (N)	NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻
Fosforo (P)	H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ²⁻
Potasio (K)	K ⁺
Calcio (Ca)	Ca ⁺⁺
Magnesio (Mg)	Mg ⁺⁺
Azufre (S)	SO ₄ ⁻²
Hierro (Fe)	Fe ²⁺ , Fe ³⁺
Manganeso (Mn)	Mn ²⁺
Boro (B)	H ₃ BO ₃
Zinc (Zn)	Zn ²⁺
Cobre (Cu)	Cu ²⁺
Molibdeno (Mo)	MoO ₄ ²⁻
Cloro (Cl)	Cl ⁻
Níquel (Ni)	Ni ²⁺

3.3.1. pH de la solución nutritiva

La comprensión general de los efectos del pH sobre la disponibilidad de nutrientes sugiere probable toxicidad y deficiencia de micronutrientes específicos, pues cada nutriente tendrá una respuesta distinta según los cambios que se ocasionen en el pH de la solución nutritiva (ver Figura 7). Una solución nutritiva debe encontrarse entre rangos de 5.5 y 6.5 que es donde todos los elementos se encontrarán en su forma absorbible (Gillespie *et al.*, 2020). Tal es el caso del nitrógeno que en rangos de pH superiores a 7 se encontrarán mayormente en forma de NH_4^+ , y no en la forma absorbible NO_3^- . O bien el fósforo que en zona radicular se puede encontrar en formas PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , y H_2PO_4^- , siendo las dos últimas formas las de principal absorción por las plantas (Trejo-Téllez & Gómez-Merino, 2012)



Figura 7: Diagrama de Troug de disponibilidad de nutrientes. Cada nutriente está representado con una banda; el espesor es proporcional a la disponibilidad (Trejo-Téllez & Gómez-Merino, 2012)

3.3.2. CE de la solución nutritiva

La concentración de nutrientes en una solución nutritiva resulta ser un factor crítico que afecta el suministro de estos al cultivo. Con el tiempo se han desarrollado algunas concentraciones adaptadas al ciclo de crecimiento de los cultivos; sin embargo, el análisis de acuerdo a la etapa fenológica de estos es limitada (Dewir & Alsadon, 2022). En albaca el aumento en la CE de la solución nutritiva afectó el rendimiento aéreo y radical de las plantas (Carrasco *et al.*, 2007). La conductividad eléctrica resulta una medida indirecta del potencial osmótico (PO), cuyos valores son negativos pues al añadir solutos, este se ve disminuido. Al disminuir el valor del PO, debido a que se añaden sales disueltas (fertilizantes), disminuirá la energía libre del agua, con lo cual se verá afectada la absorción principalmente de elementos como N, P, K, Ca y Mg (García-Loyola *et al.*, 2020). En el Cuadro 3, se puede observar la tolerancia de algunos cultivos al aumento de la CE.

Cuadro 3: La tolerancia a la sal de los cultivos y el rendimiento disminuyen con la CE (Smith and Doran, 1996)

Especies de cultivos	Umbral de CE 1:1 (dS/m)	Porcentaje de disminución del rendimiento por unidad CE más allá del umbral CE
Alfalfa	1.1-1.4	7.3
Cebada	4.5- 5.7	5.0
Algodón	4.3- 5.5	5.2
Maní	1.4- 1.8	29
Papa	1.0-1.2	12
Arroz	1.7- 2.1	12
Soya	2.8- 3.6	20
Tomate	1.4- 1.8	9.9
Trigo	3.9- 5.0	7.1

3.3.3. Temperatura de la solución nutritiva

La influencia de la temperatura en la SN se centra en la cantidad de agua y nutrientes que absorberá el cultivo, y será diferente para cada cultivo (Trejo-Télez & Gómez-Merino, 2012). La temperatura óptima para la mayoría de las variedades de tomate es de aproximadamente 22°C, en la medida que la temperatura disminuye también disminuye la absorción y asimilación de los

nutrimentos(Lara-Herrera, 2000). Se ha encontrado que a corto plazo la temperatura afectará la absorción de agua y nutrientes pues se disminuye la viscosidad del agua afectando el transporte de membranas. Mientras que a largo plazo la alta temperatura de la solución causará disminución en el crecimiento de raíces y oscurecimiento de las mismas (Falah *et al.*, 2010)

3.3.4. Oxigenación de la solución nutritiva

La deficiente oxigenación de la SN reduce la permeabilidad radicular y limita la absorción de agua y nutrientes, afectando negativamente el rendimiento de los cultivos (Martínez-Gutiérrez *et al.*, 2012). Un aspecto interesante es el efecto entre temperatura y oxigenación, pues el consumo de O₂, aumenta cuando la temperatura de la SN también aumenta. Lo cual aumenta la concentración relativa de CO₂ en la zona radicular si no es adecuada la aeración en esta zona (ver Cuadro 4)(Trejo-Téllez & Gómez-Merino, 2012). Bonachela *et al.*, (2010) evaluó la dinámica del contenido de oxígeno en diferentes sustratos (lana de roca y perlita) y diferentes cultivos (melón, pimiento dulce, y pimiento), encontrando que el uso de sistemas que favorecen el enriquecimiento con oxígeno debe restringirse a sustratos de lana de roca o bien solo a ciertos periodos de tiempo como por ejemplo durante la fase de floración.

Cuadro 4: Solubilidad del oxígeno en agua pura a varias temperaturas a 760 mm Hg de presión atmosférica (Trejo-Téllez & Gómez-Merino, 2012).

Temperaturas, °C	Solubilidad en oxígeno, mgL ⁻¹ de agua pura
10	11.29
15	10.08
20	9.09
25	8.26
30	7.56
35	6.95
40	6.41
45	5.93

3.4. Hidroponía

Los cultivos sin suelo se han convertido en una opción de producción cuando solo se cuenta con suelos marginales y con escasez hídrica. La hidroponía presenta a nivel mundial una alta

productividad por unidad de superficie, ahorro de agua y cosechas durante todo el año (Lazo & Gonzabay, 2020) (ver Figura 8)

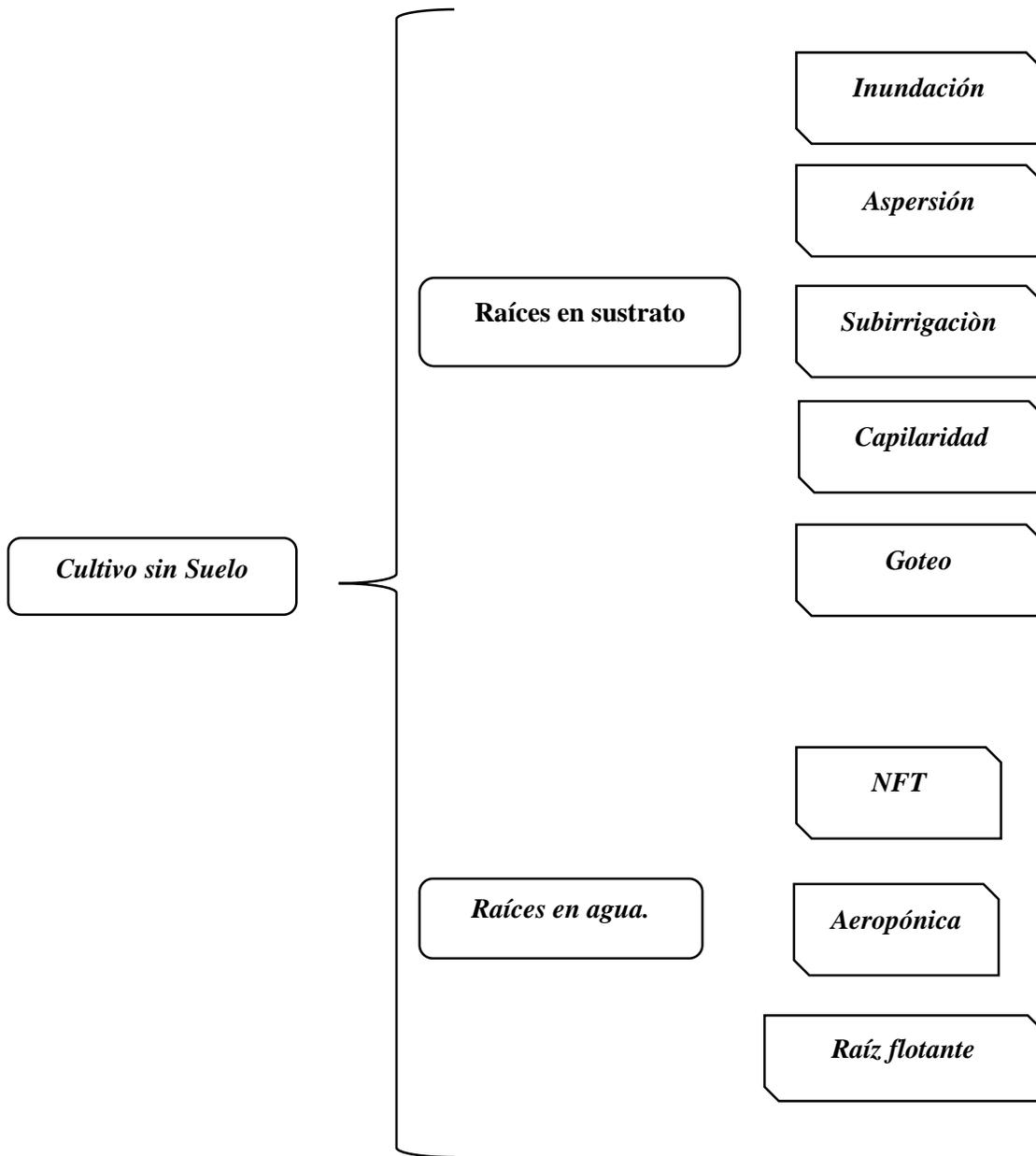


Figura 8: Tipos de sistemas de cultivo sin suelo (Winsor y Schwarz., 1990)

Como apoyo para los tiempos de riego en sustratos se debe tener en cuenta la caracterización física de los mismos, lo cual incluye la medición de variables como las que se indican a continuación (Pastor-Sáenz, 1999).

- Densidad real y aparente
- Distribución granulométrica
- Porosidad y aireación
- Retención de agua
- Permeabilidad
- Distribución de tamaños de poros
- Estabilidad estructural

En cuanto al cultivo de pitahaya, se menciona que el sustrato utilizado para el establecimiento de este cultivo debe ser rico en materia orgánica y con un buen drenaje (Trivellini A., 2020), con textura ligeramente pesada (Farid H. Md *et al.*, 2021).

3.5. Efecto del silicio en el desarrollo de plantas

El silicio es el segundo elemento más abundante de la corteza terrestre (ver Figura 9) y posee un papel importante en el crecimiento y desarrollo de las plantas, sin embargo, aún no se ha agregado como elemento esencial (Souri *et al.*, 2020). Las plantas toman Si en forma de ácido silícico, que se transporta al brote y, al ocurrir pérdida de agua, se polimeriza como gel de sílice en superficie de hojas y tallos (Feng, Miyake & Takahashi, 2001). Se han encontrado efectos benéficos sobre el crecimiento en una amplia variedad de cultivos, incluidos el arroz, el trigo, la cebada y el pepino (Feng, Miyake & Takahashi, 2001). Se espera que en un futuro no muy lejano el uso del Si se convierta en una estrategia sostenible y con tendencia emergente en la agricultura, que ayude a mejorar el crecimiento de los cultivos (Hassan, *et al.*, 2017).

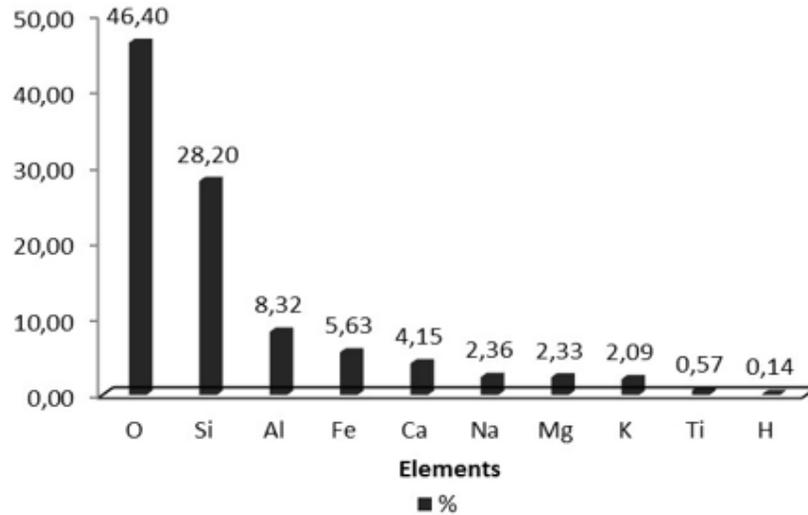


Figura 9: Elementos presentes en la corteza terrestre (Yavaş & Ünay, 2017)

En el cultivo de arroz la fertilización con ácido silícico como fuente de silicio decantó en mayor altura y mayor acumulación de biomasa fresca y seca, así como un índice de clorofila mayor con respecto al control (Nascimento *et al.*, 2019). Se encontró también que el silicio mejora la tolerancia de las plantas contra estrés biótico y abiótico (ver Figura 10). Aliviando los efectos por la radiación UV, la sequía, sal, y metales pesados; por lo que conocer el papel del silicio en los procesos bioquímicos y fisiológicas en las plantas es muy importante (Yavaş & Ünay, 2017). Estudios omicos, han mostrado que el silicio regula la respuesta de las plantas al estrés salino, modulando la expresión de varios genes; incluidos los factores de transcripción y los relacionados con las hormonas (Zhu *et al.*, 2019)

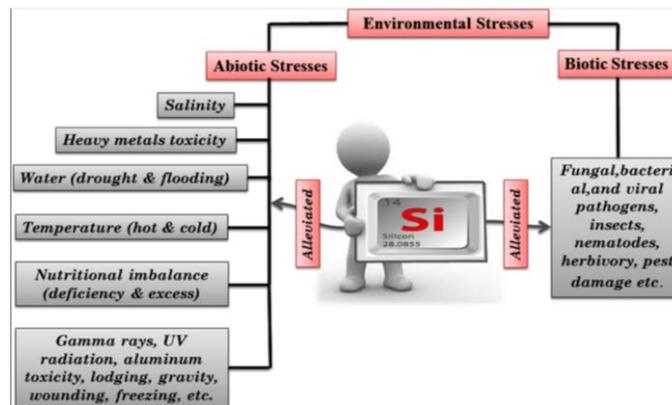


Figura 10: Efecto del silicio en el stress biótico y abiótico (Etasami & Ryong., 2018)

El Si aumenta la actividad de acuaporinas mejorando la expresión de los genes, de la proteína intrínseca de la membrana, además de inhibir la activación de la acuaporina inducida por especies reactivas de oxígeno. Si mejora de igual manera la acumulación de azúcares y aminoácidos de la savia del xilema por medio de la osmorregulación, activando el movimiento de K^+ en la savia del xilema. El Si también aumenta la relación raíz/vástago, con lo que se mejora la actividad de acuaporinas, causando que a mayor conductancia hidráulica de la raíz mayor absorción y transporte de agua, lo cual mantiene una tasa de fotosíntesis alta mejorando la resistencia de las plantas a la deficiencia del agua (Chen *et al.*, 2018) (ver Figura 11).

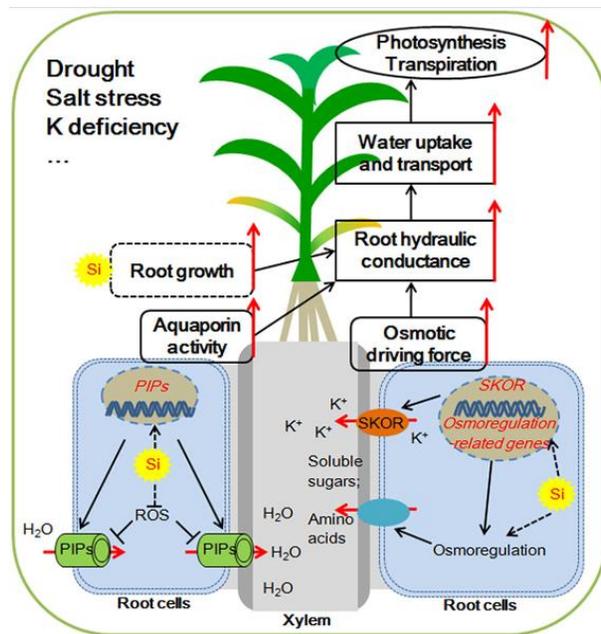


Figura 11: Posibles mecanismos para el balance hídrico mediado por silicio (Si) de plantas que experimentan deficiencia de agua (Chen *et al.*, 2018).

3.6. Efecto del amonio en el desarrollo de las plantas

El N es considerado como un elemento esencial, pues es parte estructural de las proteínas de muchos metabolitos que forman parte de la síntesis y transferencia de energía, también forma parte de los ácidos nucleicos. Este elemento puede ser absorbido en forma de nitrato (NO_3^-) o amonio (NH_4^+). La absorción de estas formas varía según la especie, temperatura, pH, incluso por la intensidad luminosa (Coraspe-Leon *et al.*, 2009). Se ha observado que en nopales con tratamiento hidropónico se obtiene una tasa de absorción de nitrógeno mayor en los tratamientos donde en el medio nutritivo se combinan sales nítricas y amoniacaes, lo cual repercute en una mayor

producción de materia seca (Gallegos-Vázquez *et al.*, 1999). De igual manera se ha encontrado que en tomate pequeñas dosis de amonio generan una mejora en el crecimiento y rendimiento (Rivera-Espejel *et al.*, 2014). Conocer los patrones de absorción de pitahaya ayudará a ofrecer recomendaciones certeras contribuyendo a la máxima expresión del potencial de esta. La acumulación de macro y microelementos en raíces de pitahaya presentó el siguiente orden: N>K>Ca>S>P>Mg>Fe>Mn>Zn>B>Cu. Mientras que en cladodios el patrón de acumulación fue el siguiente: K>N>Ca>S>Mg>P>Mn>Fe>Zn>B (Moreira, Cruz, *et al.*, 2016).

IV.- MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Descripción del sitio

El experimento se llevó a cabo en un invernadero cenital de 8 metros de largo, 5 metros de ancho, altura cenital de 5 metros, con ventilación lateral y posterior. Cubierta de plástico blanco lechoso al 40%. Ubicado en las instalaciones del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Texcoco Estado de México. N 19°27'44.37" y W 98°54'0.06.58". Altura sobre el nivel del mar de 2248 metros (ver Figura 12). El clima en el sitio es templado semiseco, con heladas poco frecuentes y precipitación anual de 686 mm. Con vientos dominantes provenientes del sur (García., 1981).



Figura 12. Ubicación de Colegio de Postgraduados (Google earth., 2022).

4.2. Material vegetativo

El material vegetativo utilizado fue esquejes sin enraizar de 30 cm, de una planta madre de 2 años, a los cuales se les realizó un corte apical para inhibición de dormancia, para sellar el corte y evitar la proliferación de hongos se les colocó azufre y se dejó cicatrizar en la sombra durante dos semanas. Posterior al cicatrizado cada esqueje fue colocado en una bolsa con tezontle de 50 cm de ancho y 40 cm de alto y a una profundidad de entre 5 y 10 cm. Los esquejes fueron trasplantados

el día 12 de septiembre de 2021, fecha en que se procedió a la toma de datos iniciales. Dando por terminado el 18 de junio de 2022.

4.3. Diseño experimental

El experimento constó de cinco soluciones nutritivas (ver Cuadro 5) con cinco repeticiones en cada una. La ubicación espacial propuesta consistió en formar hileras con espaciamiento entre plantas de 60 cm y entre hileras de 120 cm.

Cuadro 5. Composiciones de soluciones nutritivas utilizadas en cada tratamiento (meq/l).

Tratamiento	Simbología	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻²	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	NH ₄ ⁺
Steiner Normal	SS _{normal}	12.0	1.0	7.0	7.0	9.0	4.0	0.0
* Steiner al 75%	SS _{75%}	9.0	2.0	9.0	6.0	7.7	3.3	3.0
**Steiner c/Silicio	SS _{si}	12.0	1.0	7.0	7.0	9.0	4.0	0.0
Hoagland	SH _{oagland}	14.0	1.0	4.0	6.0	8.0	4.0	1.0
Hewitt	SH _{ewitt}	12.0	1.0	3.3	4.0	8.0	4.3	0.0

*Se añadió el 25% del nitrógeno total en forma de amonio, **Solución Steiner c/Silicio, se añadió 1 meq de silicio.

El suministro de la solución nutritiva se realizó mediante un sistema de riego por goteo, con dos goteros de 8 lph marca Netafim autocompensados y antidrenantes, colocados a los costados de cada esqueje y sobre una línea de manguera ciega de 16 mm marca netafim calibre 45 mil. El equipo de bombeo fue de 0.5 hp marca Truper de la cual se anexa la curva de funcionamiento (Ver Características del equipo de bombeo utilizado, el color de la clave corresponde al modelo utilizado. Figura 13). Los tiempos de riego fueron controlados con un temporizador de 8 tiempos marca Voltec.

Como protección para el sistema se utilizaron válvulas de aire de efecto simple marca Gestirriego, filtros de discos marca Irritec y para la calibración del sistema (1.0 kg cm⁻²) se utilizaron tomas de presión y manómetro de la misma marca. Se suministraron dos riegos en la etapa de trasplante y tres riegos después del primer mes y hasta el fin del experimento para dar un volumen de 1 litro de agua diario. El ajuste de los tiempos de riego vario a lo largo del experimento en función de la época de frío y calor con un ajuste en el drenaje del sustrato entre el 20 al 30% (ver Figura 14).

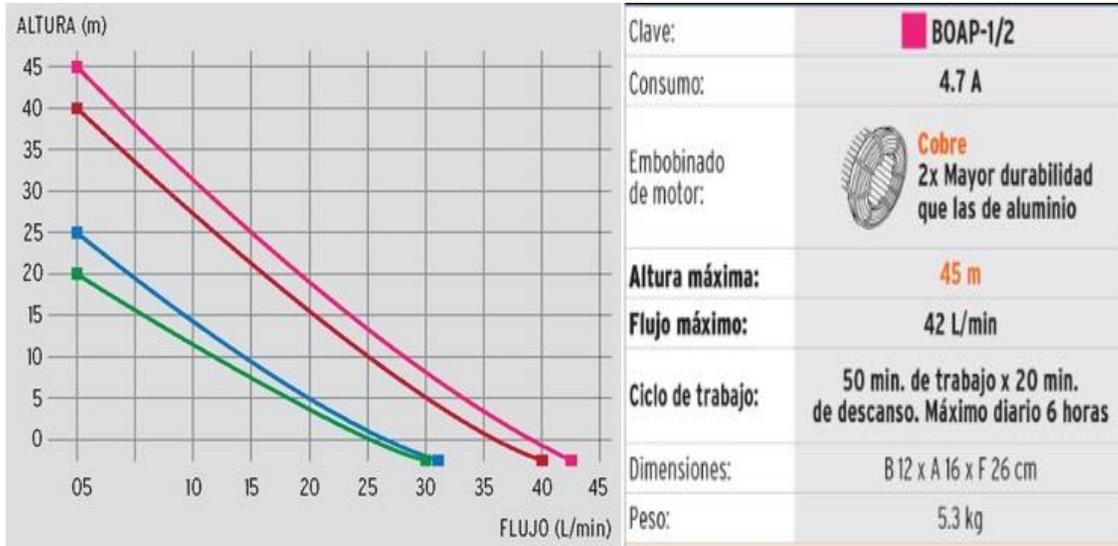


Figura 13. Características del equipo de bombeo utilizado, el color de la clave corresponde al modelo utilizado.

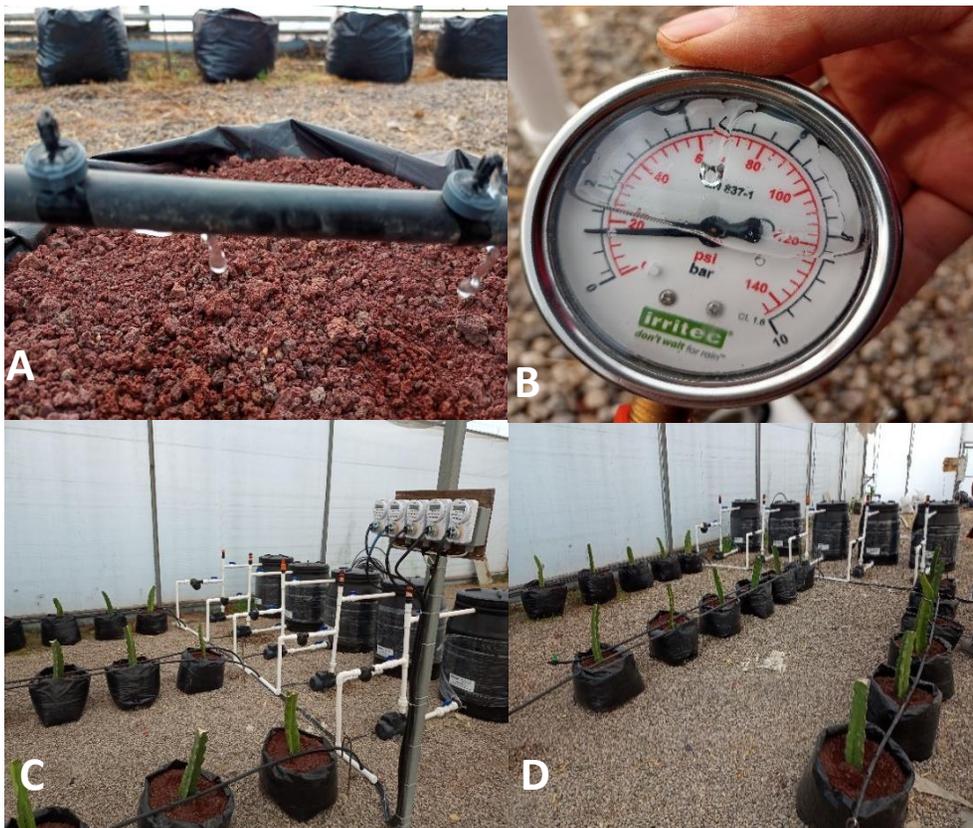


Figura 14. a) Vista de goteros utilizados. b) Calibración del sistema. c) Vista del cabezal del sistema. d) Vista de los esquejes trasplantados.

4.3.1. Solución nutritiva

La solución nutritiva para cada tratamiento se preparó en tanques de 200 litros, se añadió ácido sulfúrico grado reactivo, para bajar el pH natural del agua a un rango de 5.5 a 6 y ajustándolo con ayuda de un potenciómetro marca Hanna modelo HI9813-6. Una vez que se tiene el pH ajustado se agregaron los fertilizantes minerales solubles correspondientes a cada tratamiento como se observa en el Cuadro 6 que muestra la formulación de macroelementos para la solución Steiner normal.

La solución nutritiva se ajustó durante los primeros meses para facilitar la adaptación del esqueje y mejorar la absorción de nutrientes disponibles (Fernández *et al.*, 2018). Durante el mes uno se utilizaron las concentraciones al 25%, en el mes dos a 50% y mes tres al 75%, las mezclas consecutivas estuvieron formuladas al 100% (ver Cuadro 6).

Los microelementos fueron añadidos en igual cantidad para todos los tratamientos, el producto utilizado se puede observar en la Figura 15, que es una mezcla comercial de microelementos, del que se tomaron 8 gr para cada tanque de 200 litros cuando la solución se preparó al 100%. En cuanto al tratamiento de Steiner c/Silicio, la fuente de silicio utilizada fue silicato de potasio KSIL en proporción de 1 meq/l de Si.



Rexene® BSP Mix

Ultrasol® micro Rexene® BSP Mix, es un complejo de micronutrientes quelatados, ideal para la prevención y corrección de deficiencias de microelementos. Es ideal para uso de fertirriego y aspersiones foliares. Ultrasol® micro Rexene® BSP Mix, el agente quelatante de los iones metálicos es EDTA.

Especificaciones técnicas

Fierro (Fe) EDTA: 7.5%	Molibdeno (Mo): 0.2%
Manganeso (Mn) EDTA: 3.7%	CE (1 g/L a 20°C): 0.2 mS/cm
Boro (B): 0.4%	Estabilidad pH: 5.8
Zinc (Zn) EDTA: 0.6%	Solubilidad (20°C): 100 g/L
Cobre (Cu) EDTA: 0.3%	

Figura 15: Mezcla comercial de microelementos.

Cuadro 6: Formulación de la solución nutritiva Steiner.

Aportes por agua de riego			Aniones				Cationes			Cl	Na	H
			0.23	0.00	0.84	0.00	0.25	1.26	2.06	0.74	1.48	2.94
Disolución ideal			12.00	1.00	7.00	0.00	7.00	9.00	4.00			
Aportes previstos			11.77	1.00	6.16	0.00	6.75	7.74	1.94			
Fertilizante	Producto Químico	mmol /l	Nitrógeno NO ₃ ⁻	Fósforo H ₂ PO ₄ ⁻	Azufre SO ₄ ⁻	Nitrógeno NH ₄ ⁺	Potasio K ⁺	Calcio Ca ⁺⁺	Magnesio Mg ⁺⁺	Cloro Cl ⁻	Sodio Na ⁺	g x 200 lts
Sulfatos	Sulfato de Potasio K ₂ SO ₄	0.88			0.88		1.76					31
	Sulfato de Magnesio MgSO ₄ * 7H ₂ O	0.97			0.97				0.97			48
Nitratos	Nitrato de Potasio KNO ₃	4.00	4.00				4.00					81
	Nitrato de Calcio Ca(NO ₃) ₂ 4H ₂ O	3.88	7.75					3.87				183
Fosfatos	Fosfato mono potásico PO ₄ H ₂ K	1.00		1			1.00					27
Ácidos	Sulfúrico H ₂ SO ₄	1.24			1.24							40
Suma de milimoles por litro			11.75	1	3.10	0.00	6.76	3.88	0.98	0.00	0.00	
Suma de meq/litro			12.00	1	7.00	0.00	7.00	9.00	4.00	0.70	1.50	
Suma de cationes de la solución final		20										
Suma de aniones de la solución final		20										

4.3.2. Variables medidas en invernadero

La parte experimental en invernadero se dividió en dos, la primera durante nueve meses que consistió en tomar variables no destructivas, y la segunda en la que se seleccionaron tres elementos para su destrucción y posterior análisis en laboratorio (ver Figura 16)

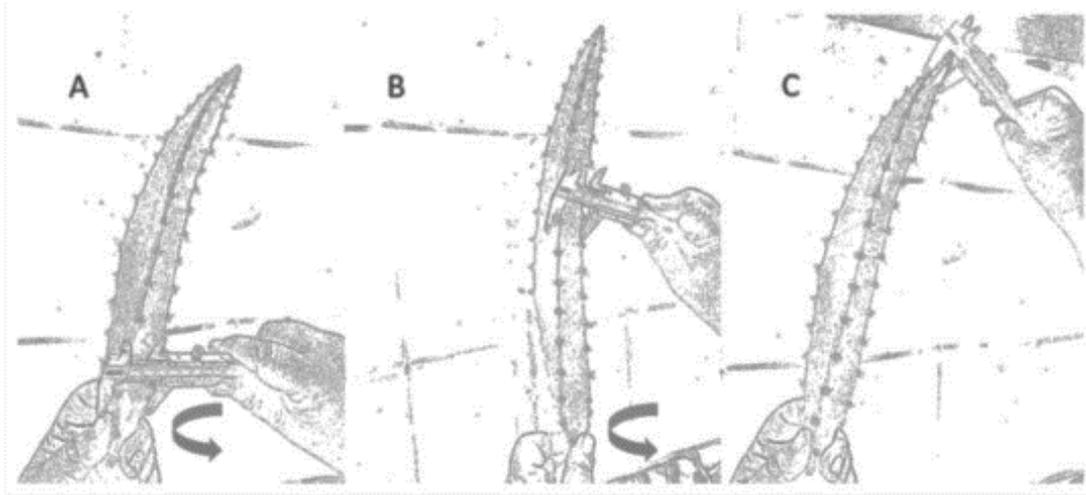


Figura 16: Vista de medición de diámetros de caras y crestas de pitahaya (Garbanzo-León *et al.*, 2019)

Las variables de respuesta de crecimiento no destructivas, se midieron con un vernier digital, marca Truper (0.05mm). Los datos registrados una vez al mes por seis meses y posteriormente al mes nueve fueron: diámetro de las crestas basal, media y alta del esqueje ($\theta_{\text{cresta_base}}$, $\theta_{\text{cresta_media}}$, $\theta_{\text{cresta_alta}}$), distancia entre caras del esqueje basal, media y alta (L_{carabase} , $L_{\text{caramedia}}$, L_{carallta}), número total de brotes (NB), altura total de la planta (Alt_planta) se dejó crecer un brote nuevo que sería la guía para la formación de la planta y de este se tomaron diámetro de las crestas basal media y alta del brote ($\theta_{\text{cresta_base_brote}}$, $\theta_{\text{cresta_media_brote}}$, $\theta_{\text{cresta_alta_brote}}$), distancia entre caras del brote basal, media y alta ($L_{\text{carabasebrote}}$, $L_{\text{caramediabrote}}$, $L_{\text{caralltabrote}}$) (ver Figura 17).



Figura 17: Vista de toma de diámetro de la cresta media del brote.

Una vez concluida la parte experimental no destructiva se seleccionaron tres elementos de cada tratamiento para su destrucción. Dividiendo la planta en parte aérea y parte radicular de los cuales se tomaron datos del peso fresco y seco de ambas partes. De la parte aérea se realizó una diferenciación extra en brote viejo siendo este el esqueje de inicio, brote maduro aquel que estaba en la parte media y que representa la planta en su máxima capacidad de aprovechamiento de nutrientes, y brote joven, siendo los últimos brotes que aparecieron (ver Figura 18)



Figura 18: Vista de parte aérea y parte radicular fuera de la bolsa.

De la raíz en fresco se tomaron los datos de longitud de raíz (L_{raiz}), diámetro de raíz en los primeros tres centímetros (θ_{0-3}), diámetro de raíz de tres a nueve centímetros (θ_{3-9}), diámetro de raíz de nueve centímetros en adelante ($\theta_{9->}$), esto para ser clasificado posteriormente con el Cuadro 7 tomado de la Guía de campo para el muestro y descripción de perfiles de suelos versión 2.0 (Schoeneberger., 2002)

Cuadro 7: Clasificación de raíces de acuerdo a su diámetro (Schoeneberger., 2002).

Clase de Tamaño	Código		Diámetro	Área de suelo evaluada
	Conv	NASIS		
Muy fino	Vf	VF	< 1 mm	1 cm ²
Fino	F	F	1 a < 2 mm	1 cm ²
Medio	M	M	2 a < 5 mm	1 cm ²
Grueso	Co	C	5 a < 10 mm	1 cm ²
Muy Gruesa	vc	VC	≥ 10 mm	1 cm ²

4.3.3. Variables medidas en laboratorio

En laboratorio se tomó 10% de la parte aérea madura de cada uno de los elementos seleccionados para secar y posteriormente moler. De esta muestra seca y molida se determinaron los macroelementos suministrados en la solución nutritiva.

a) Procedimiento para determinar el contenido de Nitrógeno

Se pesaron 0.5 gr de la muestra molida y se colocó en un matraz Kjeldahl de 100 ml, al cual se le agregó 5 ml de mezcla diácida y 4 ml de peróxido de hidrogeno, dejó por 24 horas en una estufa a 70°C hasta que la mezcla se tornara de color transparente. Con el digestado terminado, se aforó con agua oxigenada en un matraz de 50 ml, y esta sería nuestra muestra de trabajo para la determinación de N, K, Ca, Na y Mg (ver Figura 19).

Para determinar nitrógeno se utilizó un destilador, donde se colocaron 20 ml de la muestra a leer y 20 ml de Hidróxido de sodio al 40%. El líquido condensado del destilador fue recolectado en un matraz de 100 ml que contenía 10 ml de mezcla de ácido bórico con indicadores, matraz se llenó hasta la marca de 75%, y posterior a esto se procedió a titular hasta el vire de color verde a rosa, para esta titulación se añadió ácido sulfúrico a 0.5 N en el volumen necesario hasta que se diera el cambio de color.



Figura 19: a) Vista de muestras después del proceso de digestión. b) Vista de destilador.

b) Procedimiento para Azufre

De la muestra de materia seca y molida se pesaron 0.5 gr, y se colocaron en un matraz Kjeldahl de 100 ml, a este matraz se agregaron 4 ml de ácido nítrico, y 6 ml de peróxido de hidrogeno, luego de 30 minutos en la estufa se aclararon las muestras, por lo que se procedió a aforar la muestra a 50 ml. Del extracto resultante se tomó 1 ml de muestra y se aforó a 100 ml con agua destilada, posteriormente se le agregaron 0.2 gramos de cloruro de bario, y se llevó a un agitador magnético por un minuto, para posteriormente ser leído con un espectrofotómetro, previamente calibrado (ver Figura 20).



Figura 20: a) vista de agitador magnético b) vista de espectrofotómetro

c) Procedimiento para Potasio, Calcio y Sodio

Del extracto previamente digerido y aforado a 50ml se tomó 1 ml y en un tubo de ensayo se agregaron 0, 5, 10 ò 15 ml de agua destilada, dependiendo si el contenido de las muestras alcanzaba a entrar en la curva de calibración de cada elemento, estas diluciones se llevaron a un flamómetro calibrado para K, Ca y Na, de uno a la vez. Este aparato indicó la medida de cada elemento (ver Figura 21).



Figura 21. Vista de curva de calibración de calcio, y flamómetro.

d) Procedimiento para Fósforo

Se tomaron 5 ml de la muestra digerida y se agregaron 5 ml de solución de Molibdo-vanadato como reactivo para propiciar la formación de color amarillo en las muestras y posteriormente medir la absorbancia con un espectrofotómetro (ver Figura 22).



Figura 22. Vista de los extractos con molibdo vanadato.

e) Procedimiento para Magnesio

El procedimiento para la cuantificación del Mg, hace uso del extracto obtenido de la digestión de materia seca con ácido sulfúrico, previamente aforada a 50 ml y fue utilizada para el proceso de determinación del nitrógeno, se tomó 1 ml del extracto, y se añadieron 9 ml de agua oxigenada, esta disolución se llevó a un espectrofotómetro de absorción atómica, con el cual se obtuvo el contenido de Mg de las muestras de estudio (ver Figura 23)



Figura 23. Vista del espectrofotómetro de absorción atómica.

f) Procedimiento para Silicio

Se pesó 0.1 gr de la muestra de tejido previamente secada y molida, en un tubo de plástico, al cual se le agregó 2 ml de peróxido de hidrogeno al 30% y 3 ml de hidróxido de sodio al 50%. Esta mezcla se dejó en baño maría hasta que se dejara de presentar emisión de gases. Posteriormente se colocó una tapa y se puso en una olla de presión a baño maría durante aproximadamente 1 hr contada a partir de que la olla marcara 2.8 kg/cm² (ver Figura24).



Figura 24: Muestras de tejido en baño maría para digestión.

Al líquido resultante se le agregaron 45 ml de agua destilada, y de esta solución se tomaron 2 ml de alícuota, a la cual se le agregaron 18 ml de agua destilada, 2 ml de ácido clorhídrico al 50%, 2 ml de molibdato y 2 ml de ácido oxálico. Posteriormente se llevó a un espectrofotómetro para la lectura de la absorbancia para silicio (ver Figura 25).

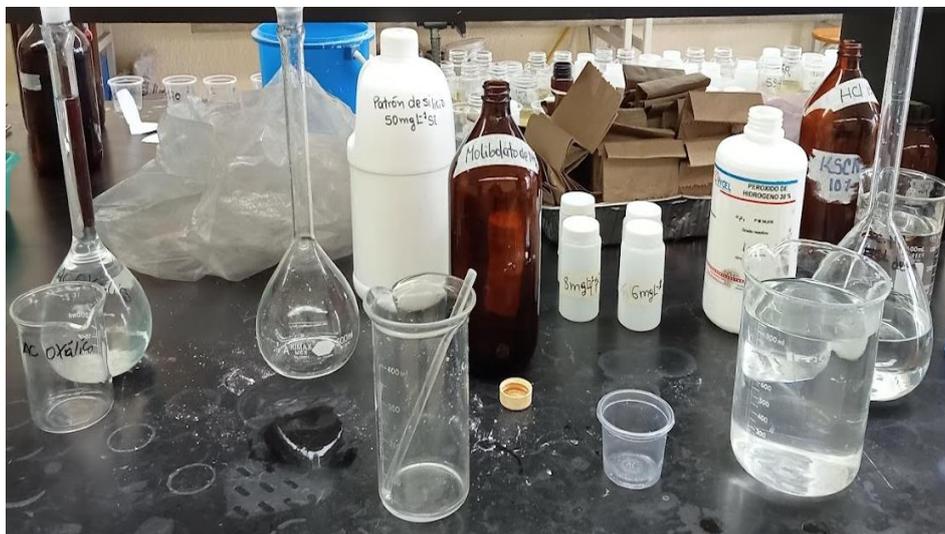


Figura 25: Soluciones para medir la absorbancia de Si.

4.3.4. Análisis estadístico

Para el procesamiento de datos se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con prueba Duncan (0.05) para comparación de medias y desviación estándar entre grupos. También se realizará un análisis entre los tratamientos para analizar el efecto del silicio (1 meq/l), amonio (3 meq/l) y concentraciones de nitrógeno (9, 12 y 14 meq/l) en longitud y diámetro de raíz, biomasa radicular, biomasa aérea y contenido nutrimental de tallos.

V.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se mostrarán los resultados del análisis estadístico de las variables antes descritas y que fueron observadas y determinadas en campo y laboratorio.

5.1. Variables de estudio en invernadero

5.1.1. Variables no destructivas

a) Altura total de la planta

El análisis de varianza ($p \leq 0.05$) indicó que no hubo diferencias significativas los primeros 60 días después de trasplante (DDT), y en lo posterior y hasta terminado el experimento si se encontraron diferencias, por lo que se les aplicó la prueba Duncan para la comparación múltiple de medias, los resultados se muestran en el Cuadro 8 y Figura 26. La SN de Hewitt fue el tratamiento con mayor altura (263.40 cm) de tal forma que creció 13.90% más que Steiner 75% (226.80 cm) (ver Cuadro 8).

Cuadro 8. Altura total de la planta como respuesta a las diferentes soluciones nutritivas.

Tratamiento	30	60	91	122	150	181	279
S_Normal	35.44 a	55.50 a	95.10 ab	107.10 ab	126.50 ab	150.00 a	255.80 b
Steiner 75%	34.20 a	50.60 a	91.00 ab	109.50 ab	126.40 ab	160.0 ab	226.80 a
Steiner_Si	39.40 a	61.10 a	102.80 b	127.30 b	150.00 b	171.50 b	240.10 ab
Hoagland	34.70 a	50.00 a	95.00 ab	115.20 ab	134.80 ab	170.50 b	234.48 ab
Hewitt	33.69 a	40.60 a	74.90 a	93.40 a	110.60 a	159.30 ab	263.40 b

- Medias seguidas de una letra común entre columnas no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Todos los valores son medias ($n=5$).

En la Figura 26 se observa el proceso de crecimiento de los tallos para los diferentes tratamientos durante todo el periodo experimental. Se observa que durante los primeros 61 días se tiene una velocidad promedio de crecimiento menor entre los tratamientos (0.31 cm/día) con respecto a los posteriores 218 días (1.10 cm/día). Esto concuerda con lo mencionado por De Castro Lima et al., (2019) hacen mención de dos etapas de desarrollo vegetativo en los primeros 180 días después de trasplante, una donde se acumula el 6.1% de materia seca y representa la acumulación lenta y una de rápida acumulación con el 34.1%. Garbanzo-León *et al.*, (2019) mencionan

que las regresiones realizadas con mediciones de largo y ancho resultan ser una herramienta precisa para la medición no destructiva del crecimiento.

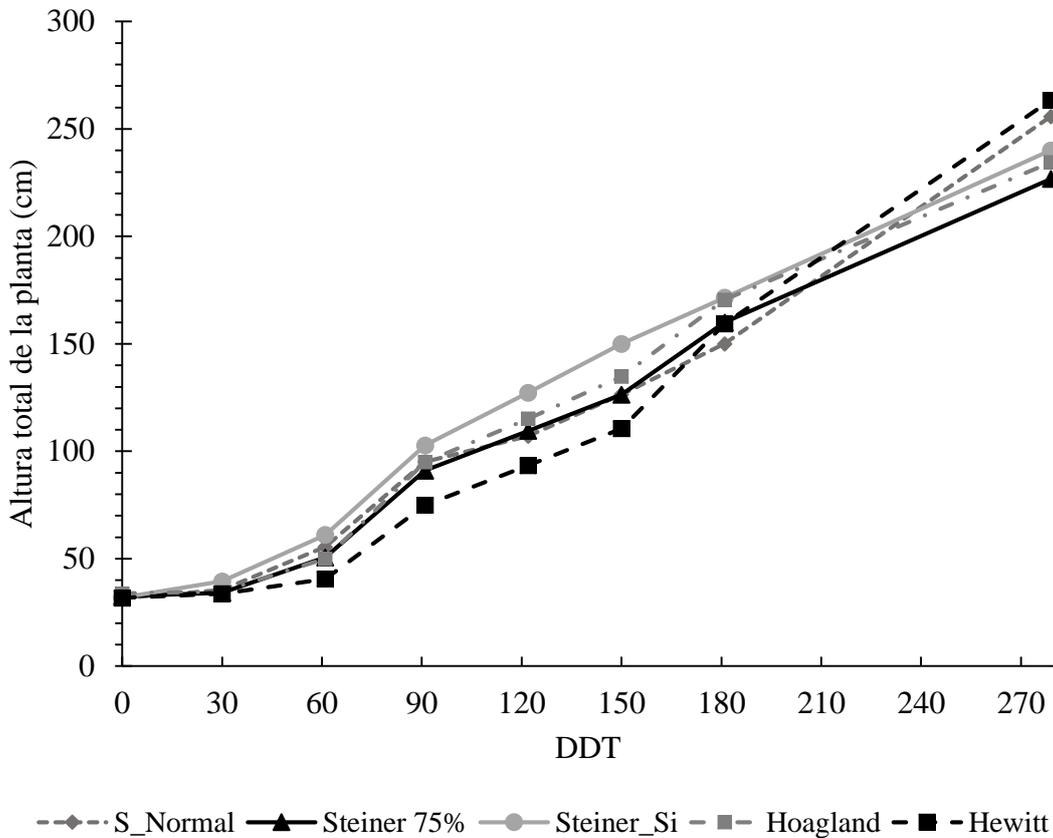


Figura 26. Crecimiento de pitahaya días después del trasplante.

El crecimiento presentado por los cladodios es similar al mostrado por Lima *et al.*, (2021) que para el mismo periodo de crecimiento obtienen una altura total de tallos de 251.45 cm, indicando que ocurrió un crecimiento exponencial durante el primer año de desarrollo. Mientras que Gonçalves *et al.*, (2020) obtuvieron una longitud de cladodios de 261.0 cm a 160 días después del trasplante para una dosis NPK de (7.5-1.5-6.4 meq/l), lo cual representa 57% más que las alturas obtenidas para ese mismo periodo de tiempo con los tratamientos utilizados en este experimento.

b) Diámetro de las crestas basal, media y alta del esqueje

Se observa en la variable diámetro de crestas del esqueje, que no se presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos en crestas basales y medias, mientras que, en las crestas altas, durante los meses de febrero y marzo, si hubo diferencias. Sin embargo, en todos los tratamientos se observa un engrosamiento promedio de los tallos correspondientes a 102% (Hewitt) para las crestas basales, 203%

(Hewitt) para las crestas medias y 129% (Steiner 75%) para las crestas altas, tomando como referencias la medida inicial de 0 días y la medida final de 279 días. De tal forma que el engrosamiento mayor ocurrió en la parte media del esqueje y fue la solución de Hewitt la que presentó el mayor efecto con respecto a las demás (ver Cuadros 9, 10 y 11). Esto corresponde con lo observado por Fratoni *et al.*, (2019), que menciona que la circunferencia de los cladodios bajo suministro de NPK aplicadas en sustrato no mostraron diferencias significativas.

Cuadro 9: Diámetro de las crestas basales del esqueje.

Tratamiento	0	30	60	91	122	150	181	279
S_Normal	0.92 a	1.21 a	1.34 a	1.30 a	1.40 a	1.26 a	1.41 a	1.43 a
Steiner 75%	0.68 a	0.93 a	1.17 a	1.27 a	1.35 a	1.40 a	1.44 a	1.32 a
Steiner_Si	0.97 a	1.05 a	1.14 a	1.34 a	1.42 a	1.42 a	1.30 a	1.39 a
Hoagland	0.85 a	0.97 a	1.06 a	1.28 a	1.29 a	1.20 a	1.17 a	1.35 a
Hewitt	0.74 a	0.86 a	1.14 a	1.28 a	1.29 a	1.24 a	1.35 a	1,50 a

- Medias seguidas de una letra común entre columnas no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Todos los valores son medias ($n=5$) \pm desviación estándar.

Cuadro 10: Diámetro de las crestas medias del esqueje.

Tratamiento	0	30	60	91	122	150	181	279
S_Normal	0.95 c	1.18 a	1.31 a	1.35 a	1.50 a	1.39 a	1.43 a	1.48 a
Steiner 75%	0.65 abc	0.90 a	1.21 a	1.26 a	1.43 a	1.49 a	1.42 a	1.45 a
Steiner_Si	0.84 bc	1.40 a	1.20 a	1.45 a	1.57 a	1.55 a	1.42 a	1.41 a
Hoagland	0.58 ab	0.95 a	1.08 a	1.45 a	1.40 a	1.34 a	1.26 a	1.27 a
Hewitt	0.53 a	0.91 a	1.16 a	1.35 a	1.33 a	1.30 a	1.48 a	1.61 a

- Medias seguidas de una letra común entre columnas no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Todos los valores son medias ($n=5$) \pm desviación estándar.

Cuadro 11. Diámetro de las crestas altas del esqueje.

Tratamiento	0	30	60	91	122	150	181	279
S_Normal	0.86 a	1.14 a	1.41 a	1.58 a	1.60 a	1.59 ab	1.83 b	1.81 a
Steiner 75%	0.72 a	0.92 a	1.24 a	1.44 a	1.57 a	1.77 b	1.70 ab	1.65 a
Steiner_Si	1.04 a	1.13 a	1.18 a	1.10 a	1.70 a	1.62 ab	1.44 ab	1.50 a
Hoagland	0.77 a	0.87 a	1.10 a	1.51 a	1.37 a	1.34 a	1.34 a	1.44 a
Hewitt	0.89 a	0.99 a	1.18 a	1.37 a	1.47 a	1.47 ab	1.55 ab	1.56 a

- Medias seguidas de una letra común entre columnas no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Todos los valores son medias ($n=5$) \pm desviación estándar.

c) Diámetro entre caras basal, media y alta del esqueje

En cuanto a la variable diámetro entre caras basal, media y alta de esqueje, se presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en las caras basales y medias no así en las caras altas (ver Cuadros 12, 13 y 14). Se observa que el tratamiento que generó un mayor valor en las tres dimensiones fue Steiner Si (7.60, 7.01 y 5.60 cm), que contrasta con los demás tratamientos pues en estos no es visible un engrosamiento contundente, ya que conservaron el mismo diámetro durante todo el periodo de observación.

Cuadro 12. Efecto de las SN en el diámetro de caras basales del esqueje.

Tratamiento	30	60	91	122	150	181	279
S_Normal	7.20 bc	7.15 b	6.95 ab	7.34 a	7.12 a	7.38 a	7.23 ab
Steiner 75%	5.35 a	5.83 ab	5.90 a	6.22 a	5.93 a	6.14 a	6.17 ab
Steiner_Si	7.32 c	7.42 b	7.78 b	7.41 a	7.18 a	7.71 a	7.60 b
Hoagland	5.77 abc	5.68 ab	5.58 a	5.72 a	5.90 a	6.21 a	5.95 ab
Hewitt	5.58 ab	5.35 a	5.67 a	5.81 a	5.51 a	6.06 a	5.73 a

- Medias seguidas de una letra común entre columnas no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Todos los valores son medias ($n=5$) \pm desviación estándar.

Cuadro 13. Efecto de la SN en el diámetro de las caras medias del esqueje.

Tratamiento	30	60	91	122	150	181	279
S_ Normal	5.92 ab	6.30 a	6.58 a	6.51 ab	6.20 ab	6.59 ab	6.62 a
Steiner 75%	5.33 ab	4.98 a	5.40 a	5.50 ab	5.34 a	5.46 ab	5.94 a
Steiner_Si	6.33 b	6.45 a	6.52 a	6.91 b	6.99 b	6.81 b	7.01 a
Hoagland	5.03 ab	5.17 a	4.97 a	5.05 a	4.92 a	5.29 ab	5.55 a
Hewitt	4.85 a	5.30 a	5.37 a	5.56 ab	5.33 a	5.14 a	6.01 a

- Medias seguidas de una letra común entre columnas no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Todos los valores son medias ($n=5$) \pm desviación estándar.

Cuadro 14. Efecto de la SN en el diámetro de caras altas del esqueje.

Tratamientos	30	60	91	122	150	181	279
S_Normal	4.37 a	4.53 a	4.91 a	5.44 a	5.20 a	5.09 a	4.68 a
Steiner 75%	4.82 a	4.62 a	4.77 a	4.76 a	4.69 a	4.74 a	4.84 a
Steiner_Si	5.10 a	5.57 a	5.92 a	5.92 a	5.92 a	6.05 a	5.60 a
Hoagland	4.30 a	4.30 a	4.65 a	4.62 a	9.38 a	4.80 a	4.73 a
Hewitt	4.10 a	4.57 a	4.83 a	4.52 a	4.55 a	4.66 a	4.56 a

- Medias seguidas de una letra común entre columnas no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Todos los valores son medias ($n=5$) \pm desviación estándar.

d) Numero de Brotes

Las diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para la variable número de brotes muestran que durante los primeros dos meses no hubo efecto entre los tratamientos, pero en meses posteriores, si hubo, siendo la SN de Hewitt quien presentó menor número de brotes en todo el periodo y Steiner al 75% la SN que más brotes presentó de acuerdo con el Cuadro 15, donde se muestra la comparación de medias de todos los tratamientos en todo el periodo del experimento (ver Cuadro 15).

Se muestra que el tratamiento de SS75% (21.2 brotes en promedio) fue 62.2% más grande con respecto al tratamiento SHewitt el cual obtuvo el menor número de brotes de todos los tratamientos (8 brotes en promedio). La emisión de brotes nuevos es importante ya que por medio de estos y con ayuda de poda se permitirá la formación de tallos productivos (Fernández *et al.*, 2018).

Cuadro 15. Efecto de las SN en el número de brotes nuevos.

Tratamiento	0	30	61	91	122	150	181	279
S_Normal	0.33 a	1.7 a	4.33 a	6.67 b	8.67 b	10.00 b	15.83 ab	17.60 ab
Steiner 75%	0.00	0.83 a	1.50 a	2.17 ab	3.17 a	6.50 ab	19.50 b	21.20 b
Steiner_Si	0.33 a	1.00 a	4.00 a	2.33 ab	2.33 a	3.17 a	12.00 ab	16.20 ab
Hoagland	0.00	1.50 a	2.50 a	2,50 ab	3.67 a	4.00 a	8.17 ab	12.20 ab
Hewitt	0.17 a	0.67 a	2.33 a	1.17 a	2.67 a	2.50 a	1.50 a	8.00 a

- Medias seguidas de una letra común entre columnas no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Todos los valores son medias (n=6)

La emisión de brotes en el estudio presentado por Morales-Ayala *et al.*, (2020) a los nueve meses de tratamiento con fertirriego y vermicompost utilizando *H. ocamponis* y *H. undatus*, mostró que entre variedades hubo diferencia en la emisión de brotes. Con respecto a este estudio *H. ocamponis*, (17 brotes), no produjo mayor número de brotes que en el tratamiento SS75%, por su parte en *H. undatus* (10.4 brotes), obtuvo un resultado cercano a la Hewitt, SN con menor efecto. Gonçalves *et al.*, (2020) indica que habrá mayor presencia de brotes cuando el suministro de nitrógeno esté asociado con altas dosis de P y/o K, obtuvieron un promedio de 4 brotes para el tratamiento con dosis de NPK (7.5-1.5-6.39 meq/l) encontrando que se presentan más brotes cuando hay suministro de nitrógeno asociado con altas dosis de P y/o K.

e) Diámetro de las crestas basal, media y alta del brote

Para la variable diámetro de crestas basal, media y alta de los brotes observados, se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para las partes medias y altas, no así en la sección basal del tallo, como se puede observar en el Cuadro 16, se conserva el crecimiento durante el tiempo y no se presentan diferencias entre ninguno de los tratamientos. En cuanto a la parte media del brote (ver Cuadro 17) el mayor diámetro se presentó en el tratamiento de Steiner 75% (0.57 cm), el cual fue 24.5% mayor que el presentado en el tratamiento de Hewitt (0.43 cm) el cual fue el tratamiento con menor efecto. En la sección alta del brote (ver Cuadro 18), el tratamiento que mostró un mayor efecto fue Steiner_Si (0.48 cm), presentando un 35.41% mayor crecimiento que el tratamiento de Hewitt (0.31 cm) en el cual se observó menor respuesta.

Cuadro 16. Efecto de las SN en el diámetro de las crestas basales de los brotes.

Tratamientos	91	122	150	181	279
S_Normal	0.51 ab	0.59 a	0.53 a	0.56 a	0.59 a
Steiner 75%	0.48 ab	0.54 a	0.58 a	0.59 a	0.64 a
Steiner_Si	0.49 ab	0.53 a	0.57 a	0.51 a	0.62 a
Hoagland	0.53 b	0.54 a	0.51 a	0.49 a	0.59 a
Hewitt	0.44 a	0.51 a	0.51 a	0.51 a	0.58 a

- Medias seguidas de una letra común entre columnas no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Todos los valores son medias ($n=5$) \pm desviación estándar.

Cuadro 17. Efecto de las SN en el diámetro de las crestas medias de los brotes.

Tratamientos	91	122	150	181	279
S_Normal	0.44 a	0.47 a	0.42 abc	0.48 bc	0.52 ab
Steiner 75%	0.37 a	0.42 a	0.47 bc	0.54 c	0.57 b
Steiner_Si	0.45 a	0.47 a	0.48 c	0.42 ab	0.49 ab
Hoagland	0.38 a	0.46 a	0.35 a	0.35 a	0.48 ab
Hewitt	0.36 a	0.46 a	0.37 ab	0.43 ab	0.43 a

- Medias seguidas de una letra común entre columnas no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Todos los valores son medias ($n=5$) \pm desviación estándar.

Cuadro 18. Efecto de las SN en las crestas altas de los brotes.

Tratamiento	91	122	150	181	279
S_Normal	0.26 a	0.29 a	0.20 a	0.26 ab	0.42 ab
Steiner 75%	0.20 a	0.27 a	0.21 a	0.30 ab	0.42 ab
Steiner_Si	0.27 a	0.25 a	0.26 b	0.35 b	0.48 b
Hoagland	0.19 a	0.24 a	0.19 a	0.20 ab	0.44 ab
Hewitt	0.26 a	0.23 a	0.18 a	0.17 a	0.31 a

- Medias seguidas de una letra común entre columnas no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Todos los valores son medias ($n=5$) \pm desviación estándar.

f) Diámetro de las caras basal, media y alta del brote

Se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para las variables de diámetro de caras basal, media y alta de los brotes nuevos (ver Cuadros 19, 20,21). En la parte basal de los brotes se observa que el tratamiento con mejor efecto fue S_Normal (7.20 cm) el cual tuvo un efecto 19.72 % mayor que el tratamiento de Hewitt (5.78 cm). En cuanto a la cara media de los brotes, el tratamiento con mayor efecto fue S_Normal (4.92 cm), que fue mayor por 17.07% al tratamiento con menor efecto que fue Steiner_Si (4.08 cm). Por otro lado, el diámetro de la cara alta de los brotes el tratamiento con mayor efecto fue Steiner 75% (4.76 cm) que fue 20.37% mayor al tratamiento de Hewitt (3.79 cm) que fue el de menor efecto.

Cuadro 19. Efecto de las SN en la cara base de los brotes.

Tratamiento	91	122	150	181	279
S_Normal	6.29 b	7.03 b	6.97 b	7.18 b	7.20 b
Steiner 75%	5.87 ab	6.31 ab	6.98 b	6.36 ab	6.63 ab
Steiner_Si	5.84 ab	5.82 ab	6.10 ab	6.11 a	6.59 ab
Hoagland	5.46 ab	5.83 ab	6.25 ab	6.76 ab	5.91 a
Hewitt	5.01 a	5.51 a	5.56 a	5.78 a	5.78 a

- Medias seguidas de una letra común entre columnas no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Todos los valores son medias ($n=5$) \pm desviación estándar.

Cuadro 20. Efecto de las SN en la cara media de los brotes.

Tratamientos	91	122	150	181	279
S_Normal	5.730 b	5.893 c	4.610 b	4.910 b	4.927 b
Steiner 75%	5.127 ab	4.117 a	3.997 ab	4.453 ab	4.752 ab
Steiner_Si	4.322 b	4.537 ab	3.838 a	4.048 a	4.083 a
Hoagland	5.430 ab	5.350 bc	3.803 a	4.380 ab	4.877 ab
Hewitt	4.728 ab	4.763 ab	3.818 a	4.677 ab	4.605 ab

- Medias seguidas de una letra común entre columnas no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Todos los valores son medias ($n=5$) \pm desviación estándar.

Cuadro 21. Efecto de las SN en la cara alta de los brotes.

Tratamiento	91	122	150	181	279
S_Normal	3.538 a	4.745 b	3.720 a	3.450 a	4.533 b
Steiner 75%	3.223 a	3.500 a	3.837 a	4.005 a	4.763 b
Steiner_Si	3.760 a	3.315 a	3.780 a	4.123 a	4.292 ab
Hoagland	3.093 a	3.958 ab	3.707 a	3.197 a	4.672 b
Hewitt	3.188 a	3.810 a	3.458 a	2.988 a	3.797 a

- Medias seguidas de una letra común entre columnas no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Todos los valores son medias ($n=5$) \pm desviación estándar.

5.1.2. Variables destructivas

a) Longitud de raíz

Se presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para la variable longitud de raíz, se puede observar en el Cuadro 22 que la menor longitud de raíz se presentó en el tratamiento de Hoagland (17.42 cm), mientras que la mayor longitud de raíz se presentó con Steiner 75% (22.89 cm). Representando una diferencia del 23.89% entre la longitud mayor y la longitud menor de raíz.

Cuadro 22. Desviación estándar, Media y Diferencias significativas de longitud de raíz entre los tratamientos.

Tratamiento	Longitud de raíz, desviación estándar.
S_Normal	21.27 \pm 1.25 ab
Steiner 75%	22.89 \pm 2.71 b
Steiner_Si	18.91 \pm 1.63 ab
Hoagland	17.42 \pm 1.83 a
Hewitt	20.64 \pm 3.02 ab

- Medias seguidas de una letra común entre columnas no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Todos los valores son medias ($n=3$) \pm desviación estándar.

Da Cunha-Guimarães *et al.*, (2021) obtuvo longitudes de raíz 183% más largas que la resultante por la SS75%, luego de 132 días después de la siembra utilizando como tratamiento una mezcla de estiércol, virutas de aserrín y tierra para mesetas, regadas cada

24 h (Rodríguez *et al.*, 2021). Mientras que el resultado obtenido con los tratamientos nutricionales suministrados se asemeja más a los obtenidos por Cruz *et al.*, (2019) en su estudio de plantas micropropagadas de *Agave americana* en invernadero obtuvo una longitud de raíz promedio entre sus tratamientos de 25.8, la cual no está muy alejada de lo obtenido con los tratamientos utilizados, siendo el tratamiento con una proporción de turba y arena con fertirriego al 100 % el que obtuvo una longitud de 39.8 cm, que representa 87% más que lo obtenido en este experimento en el tratamiento de S_Normal. Velázquez-Juárez *et al.*, (2020) mostro a los 425 días después del trasplante, una longitud de raíz de 51.81 cm, bajo tratamiento de humedad al 70%. En la Figura 27 se observan las desviaciones estándar de los grupos formados por los diferentes tratamientos.

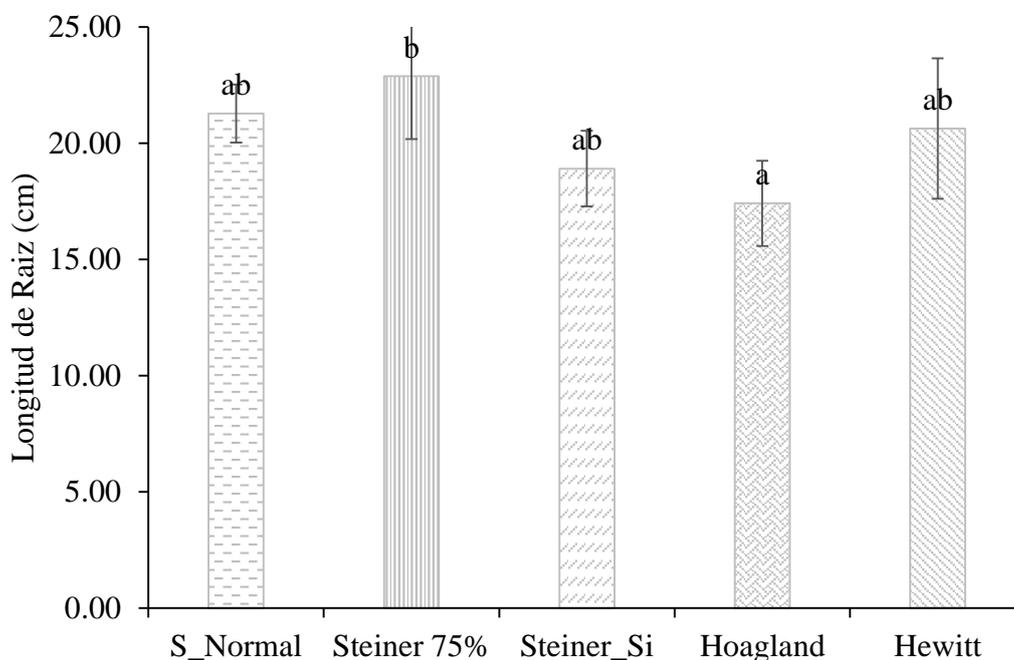


Figura 27. Efecto de las SN en la longitud de raíz (cm).

b) Diámetro de raíz

En el Cuadro 7, se mostró la clasificación para los diámetros de raíces mencionados por Schoeneberger., (2002). que aplicado a las de *Hylocereus* analizadas se generó el Cuadro 23, donde se puede observar que se presentaron dos diferentes clases de tamaño de raíz de Muy finas a finas y de Muy finas a medias. De igual manera se muestran las diferencias significativas para tres diferentes secciones analizadas en rangos de 0-3 cm, 3-9 cm y 9 cm en adelante. El rango de distancias de 3 a 9 cm, fue en el que se observó diferencia entre los tratamientos, que, al cruzarse con la clasificación de tamaño de raíz de acuerdo a los diámetros, indica que las raíces más gruesas estuvieron en el tratamiento de Steiner

75% (1.52 cm), el cual obtuvo un diámetro de raíz 46% mayor que el tratamiento de S_Normal (0.82 cm) quien mostro el menor efecto de entre los tratamientos.

Cuadro 23. Efecto las SN sobre el diámetro de la raíz (mm) de pitahaya.

Tratamiento	Rangos de longitud de raíz (cm)			Clase de tamaño
	(0-3)	(3-9)	(9<)	
S_Normal	1.853 ± 0.368 a	0.820 ± 0.185 a	0.377 ± 0.176 a	Vf - F
Steiner 75%	2.290 ± 0.386 a	1.520 ± 0.377 b	0.523 ± 0.196 a	Vf - M
Steiner_Si	2.243 ± 0.311 a	1.197 ± 0.267 ab	0.500 ± 0.118 a	Vf - M
Hoagland	1.960 ± 0.128 a	0.977 ± 0.175 a	0.400 ± 0.118 a	Vf - F
Hewitt	1.777 ± 0.357 a	1.196 ± 0.057 ab	0.423 ± 0.108 a	Vf - F

- Medias seguidas de una letra común entre columnas no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Todos los valores son medias ($n=3$) ± desviación estándar.

En la Figura 28, se observan las desviaciones estándar y las medias de los diámetros para el rango de longitud de raíz de 3 a 9 cm, se observa que en esta longitud las raíces más delgadas correspondieron las SN S. Steiner y Hoagland, mientras que el tratamiento que presentó diámetros más gruesos se asoció a S. Steiner 75%.

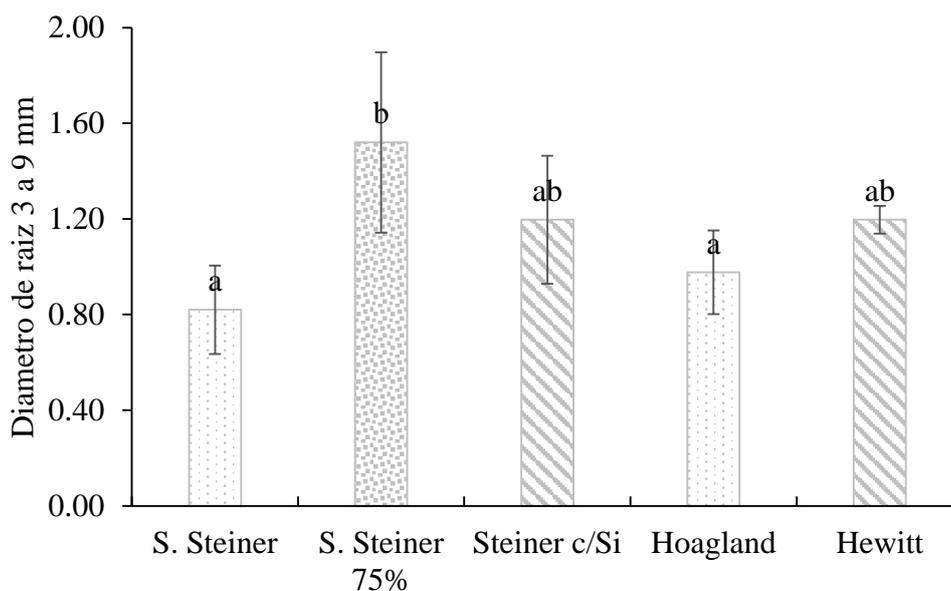


Figura 28. Efecto de las SN en el diámetro de raíz para el rango 3 a 9 cm.

5.2. Variables de estudio en laboratorio

a) Masa fresca y seca de parte aérea

Para la variable de materia fresca y seca de los cladodios se presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en ambos casos (ver Cuadro 24). El resultado de acumulación de masa fue mayor en el tratamiento de Steiner_Si con 2958.50 gr/planta materia fresca y 231.40 gr/planta materia seca.

Cuadro 24. Efecto de las SN en materia fresca y seca de los cladodios.

Tratamientos	Masa fresca parte aérea (gr/planta)	Masa seca parte aérea (gr/planta)
S_Normal	2650.66 ± 75.53 ab	231.17 ± 18.88 b
Steiner 75%	2471.20 ± 276.98 ab	200.73 ± 19.63 ab
Steiner_Si	2958.50 ± 62.07 b	231.40 ± 22.69 b
Hoagland	2636.60 ± 274.11 ab	199.13 ± 13.98 ab
Hewitt	2366.90 ± 179.52 a	184.70 ± 15.24 a

- Medias seguidas de una letra común entre columnas no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Todos los valores son medias ($n=3$) ± desviación estándar.

Castro (2004), encontró en jitomate que las concentraciones de N de 9 meq/l en adelante logran una respuesta positiva en la acumulación de biomasa. Garbanzo-León *et al.*, (2019) indica que la diferencia en la acumulación de materia fresca puede deberse al tipo de suelos y sustratos utilizados, de tal manera que la retención de agua en suelos arcillosos se verá reflejada en un menor peso fresco de tallos mientras que suelos porosos se encontraron mayor acumulación de peso fresco.

En la Figura 29 se observa la comparación entre peso fresco y seco de parte aérea. De Castro Lima *et al.*, (2019) obtuvo para un periodo de tiempo similar al mostrado en este estudio una acumulación de biomasa de 280 gr/planta para la variada de pitahaya roja *Hylocereus spp.*, lo cual es 50gr más alto que lo mostrado en este estudio. Mientras que Gonçalves *et al.*, (2020) encontró que con fertilización NPK (7.5-2.6-6.4 meq/l) la pitahaya aumenta su producción de biomasa, hasta en un 62% con respecto al testigo (4.8-1.5-3.8 meq/l), sin embargo, las dosis de nitrógeno solo producen mayor materia seca si son acompañadas de dosis suficientes de K para que se mejore el aprovechamiento del N.

Lima *et al.*, (2021) presentó en la variedad *Hylocereus setaceus* 76.02 gr de materia seca para el mismo periodo de tiempo.

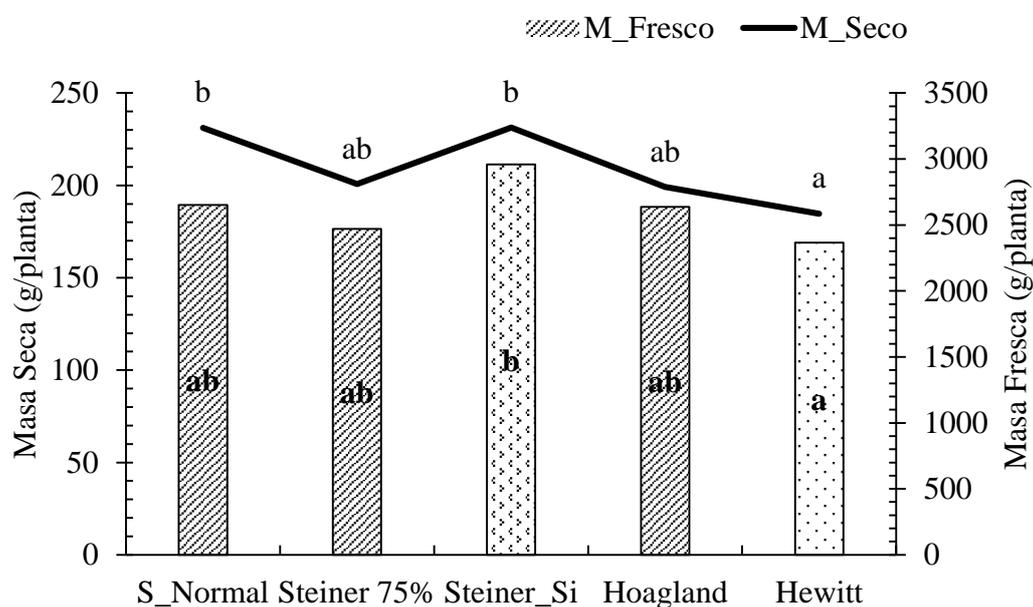


Figura 29: Medias de peso fresco y seco de parte aérea para las diferentes SN.

b) Masa fresca y seca de raíz

Se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en los pesos frescos y secos de raíz los cuales se muestran en la Cuadro 25. El tratamiento con mayor peso fresco fue Steiner_Si (77.00 g) mientras que el que menor peso fresco fue Hewitt (46.00 g). En cuanto al peso seco la dinámica es similar como se muestra en la Figura 29 donde el tratamiento con mayor proporción de materia seca fue Steiner_Si (16.33 g) y el que menor materia seca presentó fue Hewitt (10.33 g).

Cuadro 25. Efecto de las SN en la masa fresca y seca de raíz.

Tratamientos	Peso Fresco Raíz	Peso Seco Raíz
S_Normal	63.67 ± 1.52 b	14.33 ± 3.51 ab
Steiner 75%	64.30 ± 11.01 b	14.00 ± 3.00 ab
Steiner_Si	77.00 ± 4.58 c	16.33 ± 3.05 b
Hoagland	70.33 ± 6.66 b	14.67 ± 1.25 ab
Hewitt	46.00 ± 3.60 a	10.33 ± 1.53 a

- Medias seguidas de una letra común entre columnas no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Todos los valores son medias ($n=3$) ± desviación estándar.

En la Figura 30 se observa la comparación entre peso fresco y seco, El efecto de la acumulación de biomasa aérea y su relación con la biomasa radicular es coherente con lo mencionado por Wang *et al.*, (2021) que indica que el silicio ayuda a mejorar la absorción de agua por las raíces, regulando la pérdida de agua por transpiración en hojas tomando en cuenta el estado hídrico en que se encuentre la raíz. Esto gracias a que disminuye el daño oxidativo de la membrana celular pues la dota de una defensa antioxidante mejorando el estado hídrico de la planta propiciando el equilibrio en condiciones de estrés por sequia (Shi *et al.*, 2016).

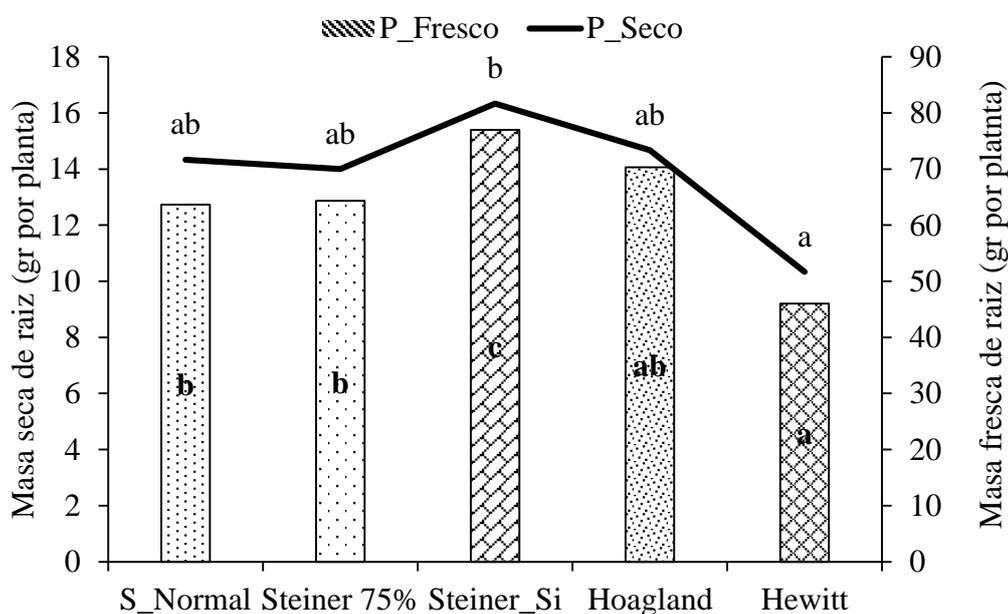


Figura 30. Medias de peso fresco y seco de raíz para las diferentes SN.

c) Volumen Radicular

Al estudiar el efecto en volumen de raíz se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos (ver Cuadro 26), siendo las soluciones Steiner normal, 75% y con Si (71.67, 70 y 70.33 ml), las que consiguieron un mayor volumen de raíz, se observa que la SN de Hewitt obtuvo un volumen 28.8% menor que la SSnormal.

Cuadro 26. Efecto de las SN en el volumen radicular de pitahaya.

Tratamientos	Vol. Radicular
S_Normal	71.67 ± 2.89 b
Steiner 75%	70.00 ± 13.23 b
Steiner_Si	70.33 ± 14.19 b
Hoagland	64.00 ± 10.15 ab
Hewitt	51.00 ± 1.73 a

- Medias seguidas de una letra común entre columnas no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Todos los valores son medias ($n=3$) ± desviación estándar.

En la Figura 31 se observan los grupos formados entre los tratamientos y como los tratamientos de solución Steiner corresponden al grupo con el mayor efecto de la característica de volumen radicular.

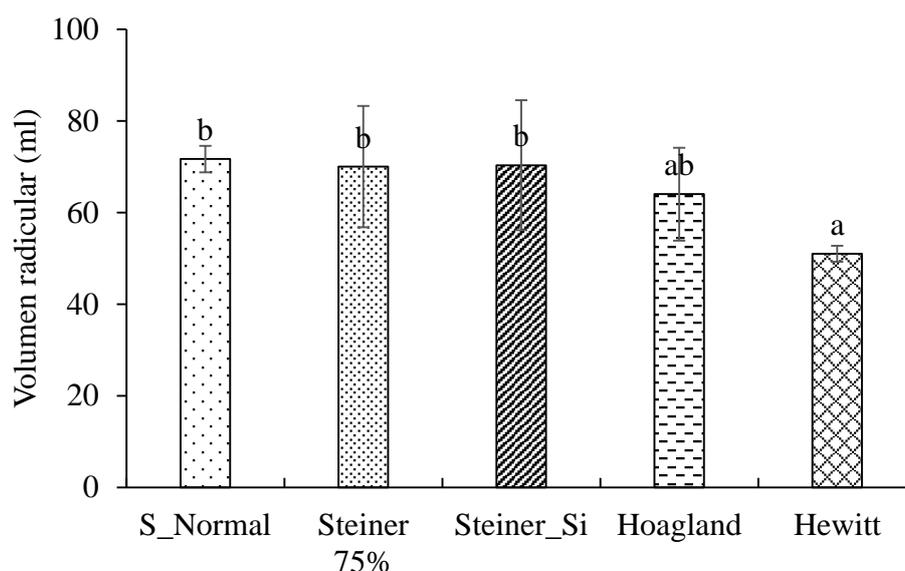


Figura 31. Medias de volumen radicular para las diferentes SN.

d) Contenido Nutricional

Se observa el contenido nutricional de los cladodios a 279 días después de trasplante, se presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para N, P, K y Ca, no así en Mg, S y Na (ver Cuadro 27). Se obtuvo una relación de nutrientes $K > Ca > N > Mg > P > S > Na$. Entre los tratamientos se observa que la SSsi, está a la cabeza en el contenido nutricional de N y Ca, mientras que la SN de Hewitt en P, K. SS75% obtuvo altas concentraciones en P y

Ca, observando que las SN que tienen mayores absorciones nutrimentales corresponden a los tratamientos enriquecidos con NH_4^+ y Si.

Cuadro 27. Composición mineral de tallos de pitahaya (*H. undatus*).

Tratamiento	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)
S_Normal	1.24 b	0.93 ab	3.96 a	0.69 a	1.01 a	0.05 a
Steiner 75%	0.96 a	1.01 b	4.58 ab	1.53 b	1.21 a	0.06 a
Steiner_Si	1.43 c	1.02 b	4.68 ab	1.63 b	1.24 a	0.05 a
Hoagland	1.00 a	0.71 a	5.02 ab	1.35 b	1.15 a	0.06 a
Hewitt	1.10 ab	1.21 b	5.58 b	1.28 b	1.02 a	0.05 a

- Medias seguidas de una letra común entre columnas no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Todos los valores son medias (n=3).

De Almeida Alves *et al.*, (2021) al estudiar durante tres años, tres diferentes variedades de *Hylocereus* indica que el contenido nutrimental en los cladodios de pitahaya suele ser bajo en N en plantas con alta emisión y formación de brotes, pues esto conduce a una dilución del nutriente en la masa seca, así mismo indica que la variación puede también estar en función de la etapa fenológica, el tratamiento nutrimental proporcionado, así como de la variedad cultivada. De igual manera, se ha encontrado en tomate que el suministro de nitrógeno en forma de amonio genera una mejora en el crecimiento y rendimiento (Rivera-Espejel *et al.*, 2014). En nopales con tratamiento hidropónico se obtiene una tasa de absorción de nitrógeno mayor en los tratamientos donde en el medio nutritivo se combinan sales nítricas y amoniacaes, repercutiendo en una mayor producción de materia seca (Gallegos-Vázquez *et al.*, 1999).

En soya se encontró que la aplicación de NH_4^+ , además de disminuir el pH de la rizosfera, favoreció la proliferación de raíces que eventualmente absorbieron mayor cantidad de fósforo (Rosolem *et al.*, 2022). El contenido nutrimental acumulado tiende a variar entre especies *H. megalanthus* acumula $\text{K} > \text{Ca} > \text{N} > \text{Mg} > \text{P}$, mientras que *H. undatus*, $\text{Ca} > \text{K} > \text{N} > \text{Mg} > \text{P}$, y *H. polyrhizus* $\text{K} > \text{Ca} > \text{N} > \text{Mg} > \text{P}$ (De Almeida Alves *et al.*, 2021). El contenido nutrimental de los cladodios reportados por (Morales-Ayala *et al.*, 2020) fue el siguiente: $\text{K} > \text{Ca} > \text{N} > \text{P} > \text{Mg} > \text{Fe} > \text{Zn} > \text{Cu}$. Fratoni *et al.*, (2019) que muestra una relación de macroelementos $\text{K} > \text{N} > \text{Ca} > \text{P} > \text{Mg} > \text{S}$ para pitahaya amarilla. Conocer los patrones de absorción de pitahaya ayudará a ofrecer recomendaciones certeras contribuyendo a la máxima expresión del potencial de esta (Moreira *et al.*, 2016). En la Figura 32 se muestra

el efecto del contenido de Si en cladodios de pitahaya, mostrando que si ocurrió un efecto relacionado de la aplicación de silicio en la SN y la acumulación de este en el tejido vegetal.

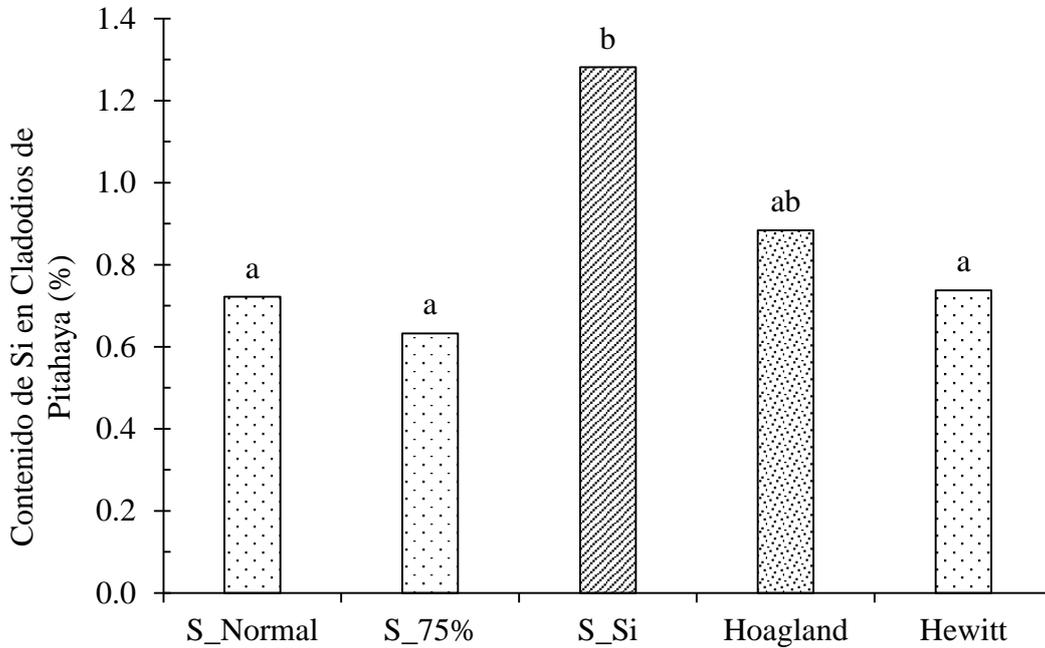


Figura 32: Contenido de Si en cladodios de pitahaya.

La acumulación de nutrientes en los cladodios en orden decreciente es $K > Ca > N > P > Mg > S$ para los macroelementos mientras que para los microelementos $Zn > Fe > Mn > B > Cu$. Se observó que la tasa más alta de absorción de nutrientes ocurre a los 60 y 120 días después de la siembra (Lima *et al.*, 2021). (Moreira, da Cruz, *et al.*, 2016) muestra que la acumulación de nutrientes en tallos está en el rango de los 2.4 gr/planta de K, 1.8 gr/planta de N, 0.15 g/planta P, 3000 mg/planta de Ca, 600 mg/planta de S y 200 mg/planta de Mg.

VI.- CONCLUSIONES

Se evaluaron cinco soluciones nutritivas con el fin de identificar formulaciones que permitan un mayor desarrollo en la etapa inicial de pitahaya dentro de invernadero y con SN con lo cual se obtuvieron resultados positivos en la mayoría de las características analizadas. Entre los tratamientos SSsi, SS75% y Hewit fueron contundentes en los efectos mostrados en características como altura de planta, acumulación de biomasa fresca y seca radicular, y número de brotes.

Se observó que las SN enriquecidas con amonio favorecieron la aparición de brotes, esto es importante si el fin comercial de la plantación es la propagación por esquejes, pues la aparición precoz de brotes favorece la formación estructural y de poda que es indispensable en este tipo de plantas epifitas. Además, al examinar el contenido de agua de tallos y raíces se observa que la SN enriquecida con silicio favoreció la acumulación de agua en los cladodios de pitahaya, lo cual es destacable pues una de las características más importantes de esta planta es su adaptación a condiciones de sequía.

Lo que continúa para este trabajo es compararla con otra variedad, así como incrementar el periodo de observación, llegando hasta etapa productiva, además de plantear estrategias de poda que mejoren el manejo estructural de los tallos de esta planta.

VII.- LITERATURA CITADA

- Alam Patwary, M. M., Rahman, M. H., Barua, H., Sarkar, S., & Alam, M. S. (2013). Study on the Growth and Development of two Dragon Fruit (*Hylocereus undatus*) Genotypes. *The Agriculturists*, *11*(2304–7321), 52–57.
- Attar, Ş. H., Gündeşli, M. A., Urün, I., Kafkas, S., Kafkas, N. E., Ercisli, S., Ge, C., Mlcek, J., & Adamkova, A. (2022). Nutritional Analysis of Red-Purple and White-Fleshed Pitaya (*Hylocereus*) Species. *Molecules*, *27*(3). <https://doi.org/10.3390/molecules27030808>
- Balendres, M. A., & Bengoa, J. C. (2019). Diseases of dragon fruit (*Hylocereus* species): Etiology and current management options. In *Crop Protection* (Vol. 126). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.104920>
- Bonachela, S., Acuña, R. A., Magan, J. J., & Malfa, O. (2010). Oxygen enrichment of nutrient solution of substrate-grown vegetable crops under Mediterranean greenhouse conditions: oxygen content dynamics and crop response. *Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria INIA*, *8*(4), 1231–1241. www.inia.es/sjar
- Càlix de Dios H., C. M. R., C. C. H. (2014). Caracterizaciòn de la producciòn de pitahaya (*Hylocereus* spp.) en la zona maya de Quintana Roo, Mèxico. *Agroecologia*, *1 y 2*, 123–132.
- Carrasco, G., Ramírez, P., & Vogel, H. (2007). Effect of the electrical conductivity of the nutrient solution on yield and essential oil in basil grown by NFT. *IDESIA*, *25*(2), 59–62.
- Chen, D., Wang, S., Yin, L., & Deng, X. (2018). How does silicon mediate plant water uptake and loss under water deficiency? In *Frontiers in Plant Science* (Vol. 9). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00281>
- Cho, J., Malaysia Abd Razak, S. A., Malaysia Ding, T. P., & Wahab, Z. (2013). Pollen Load Affects Quality of Red-Fleshed Dragon Fruit (*Hylocereus polyrhizus*). *International Postharvest Symposium*, 253–258.
- Colorado-Lòpez, Manjares-Arbèlaez, Infante-Garzòn, & Camacho. (2022). Evaluaciòn del efecto de podas y fertilizaciòn con potasio. *Revista UDCA Actualidad y Divulgaciòn Científica*, *5* (1), 74–82.
- Coraspe-León, Héctor M, Muraoka, Takashi, Ide Franzini, Vinicius, Contreras Espinal, Freddy S, & Ocheuze Trivelin, Paulo C. (2009). Absorciòn de formas de nitrógeno amoniacal y nítrica por plantas de papa en la producciòn de tubérculo-semilla. *Agronomía Tropical*, *59*(1), 45-58.
- Cruz, H., Gisela, G., Campos Ángeles, V., Raymundo Enríquez Del Valle, J., Ortiz, G. R., Arturo, V., & Velasco, V. (2019). Desarrollo de plantas micropropagadas de Agave americana var. Oaxacensis durante su aclimatizaciòn en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *10* (7), 1491–1503.
- Da Cunha-Guimarães, R. R., de Oliveira-Barradas, J., Lima-Da Silva, R. T., Olivera-Moreira, W. K., & Almeida-de Souza, S. K. (2021). Growth of pitaya seedlings

- according to the type of substrate and the frequency of irrigation. *Revista Ceres*, 68(4), 276–284. <https://doi.org/10.1590/0034-737X202168040004>
- De Almeida Alves, D., Cruz, M. do C. M., Lima, J. E., Santos, N. C., Rabelo, J. M., & de Lima Barroso, F. (2021). Productive potential and quality of pitaya with nitrogen fertilization. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 56. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.PAB2021.V56.01882>
- De Castro Lima, D., Mendes, N. V. B., de Medeiros Corrêa, M. C., Taniguchi, C. A. K., Queiroz, R. F., & Natale, W. (2019). Growth and nutrient accumulation in the aerial part of red pitaya (*Hylocereus* sp.). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 41(5). <https://doi.org/10.1590/0100-29452019030>
- Dewir, Y. H., & Alsadon, A. (2022). Effects of Nutrient Solution Electrical Conductivity on the Leaf Gas Exchange, Biochemical Stress Markers, Growth, Stigma Yield, and Daughter Corm Yield of Saffron in a Plant Factory. *Horticulturae*, 8(8). <https://doi.org/10.3390/horticulturae8080673>
- Evans & Huntley. (2011). Economics of Establishing and Producing Pitaya in Southern Florida: A Stochastic Budget Analysis. *Hortechology*, 21(2), 246–251.
- Falah, M. A. F., Wajima, T., Kitano, M., Affan, M., & Falah, F. (2010). Responses of root uptake to high temperature of tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in soil-less culture. *Journal of Agricultural Technology*, 6(3), 543–558.
- Farid H. Md, Numan, S. M., & Akhtar, S. (2021). Cultivation, Nutritional Value and Health Benefits of Dragon Fruit (*Hylocereus* spp.): A Review. *International Journal of Horticultural Science and Technology Journal Homepage*, 8(3), 259–269. <http://ijhst.ut.ac.ir>
- Favela, E., Pablo, C., Rangel, P., & Mendoza, A. B. (2006). *Manual para la preparación de soluciones nutritivas* (Primera). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Fernandes, D. R., Moreira, R. A., da Cruz, M. do C. M., Rabelo, J. M., & de Oliveira, J. (2018). Melhoria da produção e qualidade de pitaias com adubação potássica. *Acta Scientiarum - Agronomy*, 40(1). <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v40i1.35290>
- Fratoni, M. M. J., da Silva, K. R. R., & Moreira, A. (2019). NPK application in yellow pitaya seedlings grown on sand and organic compost. *Semina: Ciências Agrárias*, 40(5), 2179–2187. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n5Supl1p2179>
- Gallegos-Vázquez, C., Vázquez-Alvarado, ; R E, Olivares-Saénz, ; E, Zavala-García, ; F, & Ortega-Escobar, ; M. (1999). Efecto de la relación N-NO₃:N-NH₄ sobre la actividad de la nitrato reductasa y glutamino sintetasa en opuntia ficus-indica (L.) mill. effect of N-NO₃:N-NH₄ ratio on nitrate reductase and glutamine synthetase activity in *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. SUMMARY. In *Revista Chapingo Serie Horticultura* (Vol. 5, Issue 2).
- Garbanzo-León, G., Chavarría-Pérez, G., & Vega-Villalobos, E. v. (2019a). Allometric correlation in *Hylocereus costaricensis* y *H. Monocanthus* (Pitahaya): A tool to quantify growth. *Agronomy Mesoamerican*, 30(2), 425–436. <https://doi.org/10.15517/am.v30i2.33574>

- Garbanzo-León, G., Chavarría-Pérez, G., & Vega-Villalobos, E. v. (2019b). Allometric correlation in *Hylocereus costaricensis* y *H. Monocanthus* (Pitahaya): A tool to quantify growth. *Agronomy Mesoamerican*, 30(2), 425–436. <https://doi.org/10.15517/am.v30i2.33574>
- García-Loyola, Sandoval-Villa, Rodríguez-Mendoza, & García-Esteva. (2020). *Efecto de la concentración de la solución nutritiva, poda, tipo y volumen de sustrato en el rendimiento y calidad de tomate cherry determinado (Solanum lycopersicum cv. cerasiforme)*. Colegio de Postgraduados.
- Gasic, K., Preece, J. E., Karp, D., Listings, C., & Gradziel, T. (2014). Register of New Fruit and Nut Cultivars List 48. *University of California, Riverside*.
- Gillespie, D. P., Kubota, C., & Miller, S. A. (2020). Effects of Low pH of hydroponic nutrient solution on plant growth, nutrient uptake, and root rot disease incidence of Basil (*Ocimum basilicum* L.). *HortScience*, 55(8), 1251–1258. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14986-20>
- Goenaga, R., Marrero, A., & Perez, D. (2020a). Yield and fruit quality traits of dragon fruit cultivars grown in puerto rico. *HortTechnology*, 30(6), 803–808. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH04699-20>
- Goenaga, R., Marrero, A., & Perez, D. (2020b). Yield and fruit quality traits of dragon fruit cultivars grown in puerto rico. *HortTechnology*, 30(6), 803–808. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH04699-20>
- Gonçalves, A. F. M., Pinto, S. I. do C., & Corrêa, R. M. (2020). Pitaya (*Hylocereus undatus*) initial growth in function to NPK fertilization. *Revista Agrogeoambiental*, 11(4). <https://doi.org/10.18406/2316-1817v11n420191370>
- Hassan Etesami, Byoung Ryong Jeong. 2018. Silicon (Si): Review and future prospects on the action mechanisms in alleviating biotic and abiotic stresses in plants, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Volume 147, Pages 881-896, ISSN 0147-6513, <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.09.063>.
- Heyduk, K. (2022). Evolution of Crassulacean acid metabolism in response to the environment: past, present, and future. *Plant Physiology*, 190(1), 19–30. <https://doi.org/10.1093/plphys/kiac303>
- Huachi, Yugsi, Paredes, Coronel, Verdugo, & Santamaria. (2015). Development of pitahaya (*Cereus* SP.) in ecuador. *La Granja: Revista de Ciencias de La Vida*, 22(2)(1390–3799), 50–58. <https://doi.org/10.17163/lgr.n22.2015.05>
- 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. In *Journal of Food Biochemistry* (Vol. 42, Issue 2). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12491>
- Jiang, Y.L., Yang, W.J., 2015b. The phenology of buds resulted from heading cut of red pitaya (*Hylocereus* spp.) in spring. *J. Taiwan Soc. Hortic. Sci.* 61, 45–54.
- Karim, M. M., Rahman, M. M. E., Islam, M. N., Akhter, M. S., Khatun, F., Rahman, M. L., & Goswami, B. K. (2019). Occurrence of stem rot disease of *Hylocereus undatus*

- in Bangladesh. *Indian Phytopathology*, 72(3), 545–549.
<https://doi.org/10.1007/s42360-019-00166-1>
- Kishore, K. (2016). Phenological growth stages of dragon fruit (*Hylocereus undatus*) according to the extended BBCH-scale. *Scientia Horticulturae*, 213, 294–302.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.10.047>
- Lara-Herrera. (2000). Nutrient Solution Management in the Hydroponic Production of Tomato. *Terra Latinoamericana*, 17(2395–8030), 221–229.
- Lazo, R. P., & Gonzabay, J. Q. (2020). Economic analysis of hydroponic lettuce under floating root system in semi-arid climate. *Granja*, 31(1), 121–133.
<https://doi.org/10.17163/lgr.n31.2020.09>
- le Bellec, F., & Vaillant, F. (2011). Pitahaya (pitaya) (*Hylocereus* spp.). In *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits* (Vol. 4). Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1533/9780857092618.247>
- Lewis, S. (2014). Cultivation of Pitahaya (*Hylocereus undatus*) in three soil types of Guyana. *International Journal of Agricultural Reserarch and Review*, 3 (2)(2360–7971), 177–183. www.tradewindsfruit.com/dragon_fruit.htm
- Li, D., Arroyave Martinez, M. F., Shaked, R., & Tel-Zur, N. (2018). Homozygote depression in gamete-derived dragon-fruit (*Hylocereus*) lines. *Frontiers in Plant Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02142>
- Lichtenzweig, Judith, Abbo, S., Nerd, A., Tel-Zur, N., & Mizrahi, Y. (2000). Cytology and mating systems in the climbing cacti *Hylocereus* and *selenicereus* 1. In *American Journal of Botany* (Vol. 87, Issue 7).
- Lima, D. D. C., Mendes, N. V. B., Diógenes, M. F. S., Corrêa, M. C. D. M., Natale, W., & Taniguchi, C. A. K. (2021). Initial growth and nutrient accumulation in pitaya plants at different phenological stages. *Revista Caatinga*, 34(3), 720–727.
<https://doi.org/10.1590/1983-21252021v34n324rc>
- Martinez-Gonzalez, C.-H. (1995). Caracterización de frutos de pitaya *Stenocereus griseus* H., en la mixteca. *Revista Chapingo Horticultura*, 4, 77–81.
- Martínez-Gutiérrez, G. A., Ortiz-Hernández, Y. D., & López-Pozos, R. (2012). Oxygenation of the recirculating nutrient solution and its effect on tomato and lettuce. *Nota Científica Rev. Fitotec. Mex*, 35, 49–52.
- Ma, Jian Feng & Miyake, Y. & Takahashi, E.. (2001). Chapter 2 Silicon as a beneficial element for crop plants. *Silicon in Agriculture. Studies in Plant Science*. Vol. 8. 10.1016/S0928-3420(01)80006-9.
- Merten S. (2003). A Review of *Hylocereus* Production in the United States ♦. *Tropi-Cal*, 98–105.
- Meselmani, M. A. A. (2022). Nutrient Solution for Hydroponics. In M. Turan, A. P. S. Argin, E. Yildirim, & A. Güneş (Eds.), *Recent Research and Advances in Soilless Culture* [Working Title]. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.101604>

- Montesinos Cruz, C., de los Á, M., & Herrera, R. (2015). Cultivos Tropicales pitahaya (*Hylocereus* spp.) un recurso fitogenético con historia y futuro para el trópico seco mexicano. *Cultivos Tropicales*, 36, 67–76. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193243640007>
- Morales-Ayala, Y., Fernando Ceja-Torres, L., Méndez-Inocencio, C., Silva-García, T., Venegas-González, J., & Pineda-Pineda, J. (2020). Respuesta vegetativa de pitahaya (*Hylocereus* spp.) a la aplicación de vermicompost y fertirriego † [vegetative response of pitahaya (*hylocereus* spp.) to the application of vermicompost and fertigation]. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23.
- Moreira, R. A., Cruz, M. do C. M. da, Fernandes, D. R., Silva, E. de B. e, & Oliveira, J. de. (2016). Nutrient accumulation at the initial growth of pitaya plants according to phosphorus fertilization. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 46(3), 230–237. <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4640813>
- Moreira, R. A., da Cruz, M. do C. M., Fernandes, D. R., de Barros e Silva, E., & de Oliveira, J. (2016). Acúmulo de nutrientes no crescimento inicial de pitáia em função da adubação fosfatada. *Pesquisa Agropecuaria Tropical*, 46(3), 230–237. <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4640813>
- Muas, I., Jumjunidang, 2015. Status of dragon fruit cultivation and marketing in Indonesia. In: Jiang, Y.L., Liu, P.C., Huang, P.H. (Eds.), Workshop on Improving Pitaya Production and Marketing. Fengshan Tropical Horticultural Experiment Branch, Kaohsiung, Taiwan, pp. 19–29.
- Muchjajib, S., & Muchjajib, U. (2012). Application of Fertilizer for Pitaya (*Hylocereus undatus*) under Clay Soil Condition. *Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi*, XXVIII, 151–154. <http://www.ctahr>.
- Mupambi, G., Anthony, B. M., Layne, D. R., Musacchi, S., Serra, S., Schmidt, T., & Kalcsits, L. A. (2018). The influence of protective netting on tree physiology and fruit quality of apple: A review. In *Scientia Horticulturae* (Vol. 236, pp. 60–72). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.014>
- Nascimento, A. M., de Assis, F. A., Moraes, J. C., da Silveira, F. A., Salles Pio, L. A., & Silva Botelho, F. B. (2019). Silicon and methyl jasmonate in the vegetative development and genetic stability of rice. *Acta Scientiarum - Agronomy*, 41(1). <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v41i1.36483>
- Nobel-Park. (2006). Parenchyma-Chlorenchyma Water Movement during Drought for the Hemiepiphytic Cactus *Hylocereus undatus*. *Annals of Botany*, 97, 469–474.
- Ojeda-Zacarias., Vazquez-Alvarado., Santos-Haliscak., Moreno-Degollado., Aguirre-Arzola., Iracheta-Donjuan., Lòpez-Gòmez., & Castellanos-Juarez. (2012). micropropagacion de pitahaya, *Hylocereus undatus* (Haworth). *Salud Pùblica y Nutriciòn "Ediciòn Especial,"* 4(1870–0160), 119–128.
- Oliveira, L. M., Mendonça, V., Moura, E. A., Irineu, T. H. S., Figueiredo, F. R. A., Melo, M. F., Celedonio, W. F., Rêgo, A. L. B., Mendonça, L. F. M., & Andrade, A. D. M. (2022). Salt stress and organic fertilization on the growth and biochemical metabolism of *Hylocereus costaricensis* (red pitaya) seedlings. *Brazilian Journal of Biology*, 84. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.258476>

- Osuna Enciso, T., Ibarra Zazueta, M. E., Dolores, M., Rangel, M., Benigno Valdez Torres, J., Romero, M. V., & Verdugo, S. H. (2011). Postharvest quality of pitahaya (*Hylocereus undatus* haw.) fruits harvested in three maturity stages. *Artículo Científico Rev. Fitotec. Mex*, 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.
- Pastor-Sàez. (1999). Use of growing mediums in the nursery production. *Terra Latinoamericana*, 17(2395–8030), 231–235.
- Rivera-Espejel, E. A., Sandoval-Villa, M., Rodríguez-Mendoza De Las Nieves, M., Trejo-López, C., & Gasga-Peña, R. (2014). Fertilización de tomate con nitrato y amonio en raíces separadas en hidroponía. *Revista Chapingo, Serie Horticultura*, 20(1), 57–70. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2012.12.069>
- Rodrigues, M. G. F., Ferreira, A. F. A., Malagutti, E. da S., Pinto, M. D. S., Monteiro, L. N. H., & de Sá, M. E. (2021). Cladode size and collection time for pitahaya propagation. *Ciencia e Agrotecnologia*, 45. <https://doi.org/10.1590/1413-7054202145004821>
- Rosolem, C. A., Batista, T. B., Dias, P. P., da Motta Neto, L. V., & Calonego, J. C. (2022). The Joint Application of Phosphorus and Ammonium Enhances Soybean Root Growth and P Uptake. *Agriculture*, 12(6), 1–9. <https://doi.org/10.3390/agriculture12060880>
- Schoeneberger., P. J. , W. D. A. , B. E. C. , and B. W. D. (2002). *Field Book for describing and sampling soils, version 2.0*. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln. N. E.
- Shi, Y., Zhang, Y., Han, W., Feng, R., Hu, Y., Guo, J., & Gong, H. (2016). Silicon enhances water stress tolerance by improving root hydraulic conductance in solanum lycopersicum L. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1–15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00196>
- Silva-Matos. Barros-Furtado. Furtado de Farias. (2020). *Tecnologia de Producao em Fruticultura 2* (Carvalho de Oliveira A., Ed.; Ciencias Agrárias). Editorial Atena. https://doi.org/10.22533/at.ed.504200110_1
- Smith JL and JW Doran. 1996. Measurement and use of pH and electrical conductivity for soil quality analysis. In *Methods for assessing soil quality*. Soil Science Society of America Special Publication 49: 169-185.
- Souri, Z., Khanna, K., Karimi., 2020. Silicon and Plants: Current Knowledge and Future Prospects. *J Plant Growth Regul.* <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10172-7>
- Tel-Zur, N. (2022). Breeding an underutilized fruit crop: A long-term program for *Hylocereus*. In *Horticulture Research* (Vol. 9). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/hr/uhac078>

- Then. (2013). The Effects of Foliar Fertilizers on the Red Pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) Fruit Weight. *Acta Horticulturae*, 227–231.
- Trejo-Tèllez, & Gòmez-Merino. (2012). Nutrient Solutions for Hydroponic Systems. *Hydroponics - A Standard Methodology for Plant Biological Researches*, 1–23. <https://doi.org/10.5772/37578>
- Trivellini A., L. M. , F. A. , M. D. , O. M. , I. L. , M. S. A. (2020). Pitaya un cultivo alternativo atravtico para regiòn mediterranea. *Agronomia*, 10(1065), 2–19. doi:10.3390/agronomia10081065
- Valencia-Botín, AJ, Kokubu, H. & Ortíz-Hernández, YD. (2013) Una breve descripción de las enfermedades de la pitahaya (*Hylocereus spp.*). *Pathol de plantas de Australasia*. 42 , 437–440 <https://doi.org/10.1007/s13313-012-0193-8>
- Verona-Ruiz, A., Urcia-Cerna, J., & Paucar-Menacho, L. M. (2020). Pitahaya (*Hylocereus spp.*): Culture, physicochemical characteristics, nutritional composition, and bioactive compounds. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 439–453. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.16>
- Wang, M., Wang, R., Mur, L. A. J., Ruan, J., Shen, Q., & Guo, S. (2021). Functions of silicon in plant drought stress responses. *Horticulture Research*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41438-021-00681-1>
- Winter, K., & Smith, J. A. C. (2022). CAM photosynthesis: the acid test. In *New Phytologist* (Vol. 233, Issue 2, pp. 599–609). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/nph.17790>
- Winsor G. Scharz M. 1990. Soilless culture for horticultural crop production. Ed. Food and Agriculture Organization of the United Nations Roma.
- Yavaş, İ., & Ünay, A. (2017). The Role of Silicon under Biotic and Abiotic Stress Conditions. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 4(2). <https://doi.org/10.19159/tutad.300023>
- Zainudin, M., Ahmad Hafiz, B., 2015. Status of dragon fruit production in Malaysia. In: Jiang, Y.L., Liu, P.C., Huang, P.H. (Eds.), *Workshop on Improving Pitaya Production and Marketing*. Fengshan Tropical Horticultural Experiment Branch, Kaohsiung, Taiwan, pp. 129–142.
- Zhu, Y. X., Gong, H. J., & Yin, J. L. (2019). Role of silicon in mediating salt tolerance in plants: A Review. *Plants MDPI*, 8(6), 1–22. <https://doi.org/10.3390/plants8060147>

ANEXOS

Anexo 1. Etapas del desarrollo vegetativo de un esqueje de pitahaya.



Figura 33: Ilustraciones del desarrollo vegetativo de la fruta del dragón (*Hylocereus undatus*) según la escala extendida de BBCH (Kishore, 2016).

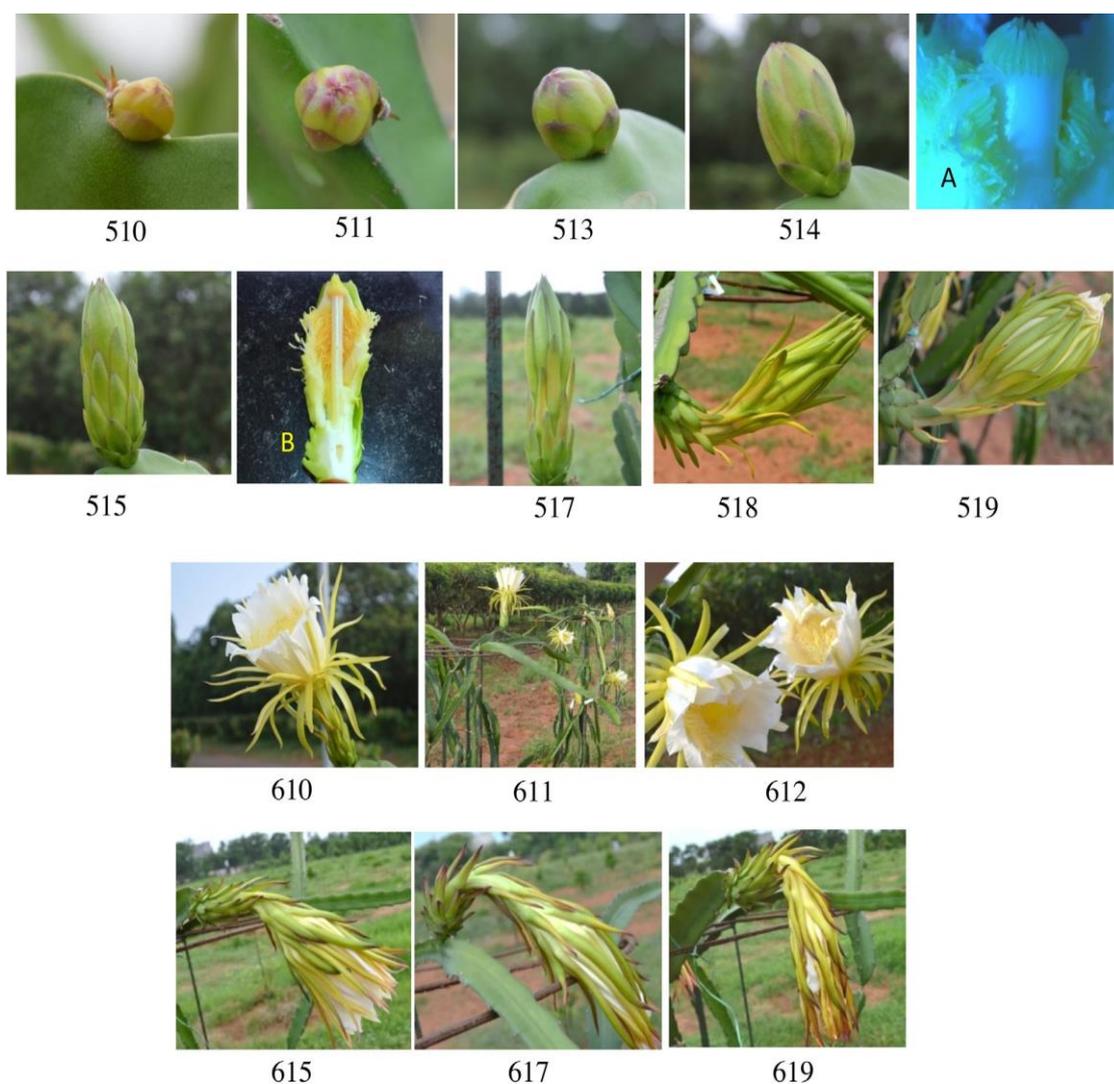


Figura 34: Ilustraciones del desarrollo reproductivo y floración de la fruta del dragón (*Hylocereus undatus*) según la escala extendida de BBCH (Kishore, 2016).

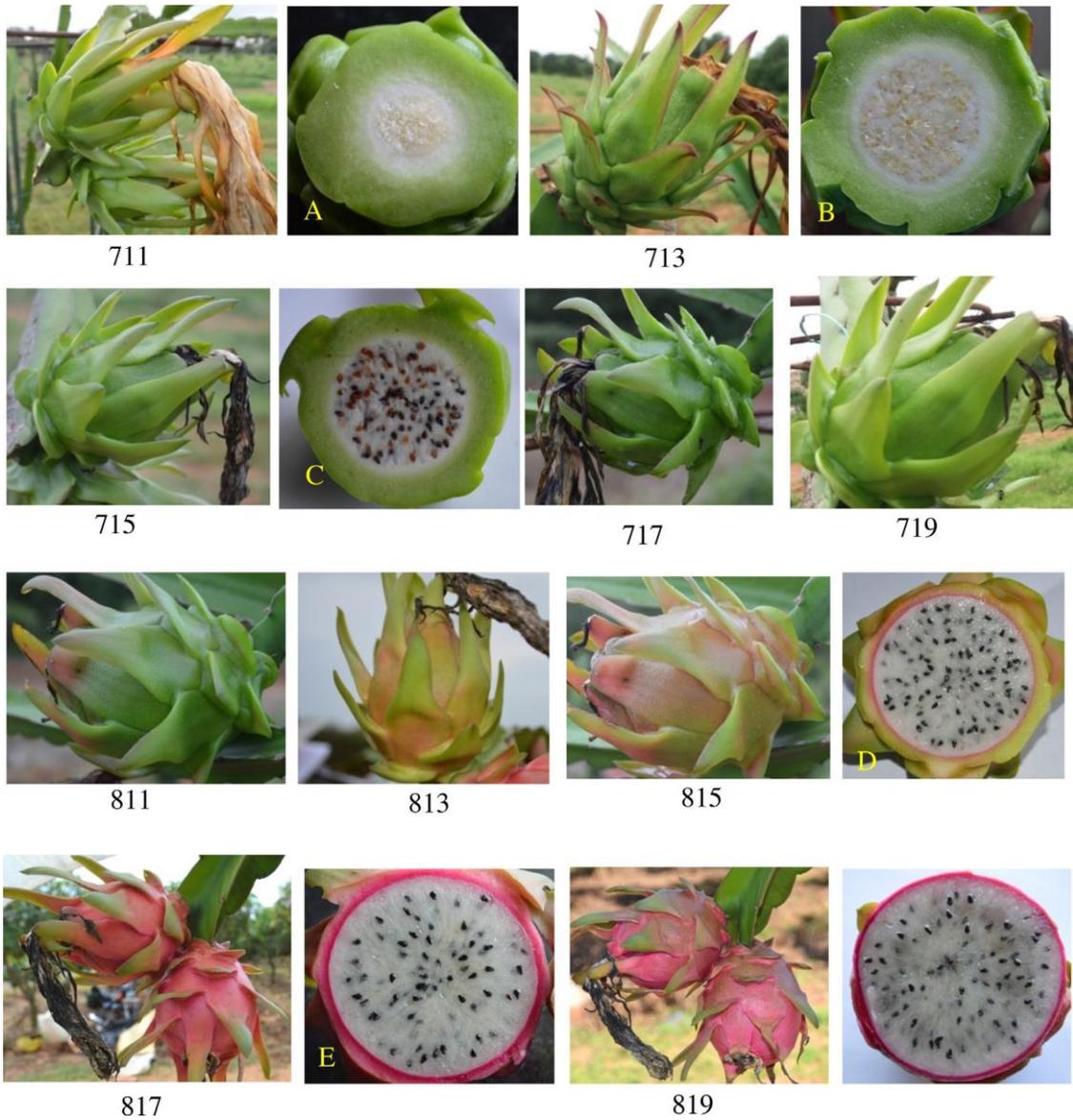


Figura 35: Ilustraciones del desarrollo de la fruta y maduración de la fruta del dragón (*Hylocereus undatus*) según la escala extendida de BBCH (Kishore, 2016) (Kishore, 2016).

Anexo 2. Programación de temporizador Voltec 8 tiempos.



Figura 36. Vista de programador de 8 tiempos Voltec

Antes de dar inicio a la programación es necesario configurar el aparato con la hora y día actuales. Y posterior a esto proseguir con la programación.

1. Oprimir el botón de Programación (PROG). En la pantalla aparecerá el evento 1
2. Presionar el botón de hora hasta que el numero de la hora en que queremos inicie el encendido del equipo a programar.
3. Presionar el botón de min hasta que aparezcan los minutos a los que queremos que de inicio el arranque.
4. Presionamos el botón de semana hasta que quede seleccionado el día o los días en los que estará funcionando el programa.
5. Oprimir el botón de prog. Para guardar la hora de encendido.
6. Para configurar la hora de apagado, se presiona el botón de hora hasta que aparezca la hora en que queremos que se apague
7. Presionar el botón de min hasta que aparezcan los minutos en los que queremos que se apague el programa.
8. Presionar el botón de prog. Para guardar el evento programado.
9. Presionar el botón de Enc/Auto/Apag hasta que aparezca la palabra Auto para activar el temporizador.

De esta forma se configurarán los tiempos de encendido y apagado que se necesiten y durante el tiempo que así se requiera.

Anexo 3. Fotografías de raíz de los tratamientos



Figura 37: Raíz de pitahaya con tratamiento Steiner Normal



Figura 38: Raíz de pitahaya con tratamiento Steiner 75%



Figura 39: Raíz de pitahaya con tratamiento Steiner con Si.



Figura 40: Raíz de pitahaya con tratamiento Hoagland



Figura 41: Raíz de pitahaya con tratamiento Hewitt

Anexo 4. Fotografías de parte aérea de los tratamientos



Figura 42: Parte aérea de pitahaya con tratamiento Steiner Normal



Figura 43: Parte aérea de pitahaya con tratamiento Steiner 75%



Figura 44: Parte aérea de pitahaya con tratamiento Steiner con Si.



Figura 45: Parte aérea de pitahaya con tratamiento Hewitt



Figura 46: Parte aérea de pitahaya con tratamiento Hoagland.

Anexo 5 Tablas de cálculo de soluciones nutritivas

Cuadro 28: Formulación de la Solución nutritiva de Steiner al 75%

			Aniones			Cationes			Cl	Na	H	
Aportes por agua de riego			0.23	0.00	0.84	0.00	0.25	1.26	2.06	0.74	1.48	2.94
Disolución ideal			9.00	2.00	9.00	3.00	5.90	7.70	3.40			
Aportes previstos			8.77	2.00	8.16	3.00	5.65	6.44	1.34			
Tipo de Fertilizante	Producto Químico	mmol/litro	Nitrógeno NO ₃ ⁻	Fósforo H ₂ PO ₄ ⁻	Azufre SO ₄ ⁻	Nitrógeno NH ₄ ⁺	Potasio K ⁺	Calcio Ca ⁺⁺	Magnesio Mg ⁺⁺	Cloro Cl ⁻	Sodio Na ⁺	g x 200 lts
Sulfatos	Sulfato de Potasio	K ₂ SO ₄	2.2		2.2		4.4					76
	Sulfato de Magnesio	MgSO ₄ *7H ₂ O	0.7		0.7				0.7			33
Nitratos	Nitrato de Potasio	KNO ₃	1.3	1.3			1.3					26
	Nitrato de Amonio	NH ₄ NO ₃	1.0	1.0		1.0						16
	Nitrato de Calcio	Ca(NO ₃) ₂ 4H ₂ O	3.2	6.4				3.2				152
Fosfatos	Fosfato monoamónico	NH ₄ H ₂ PO ₄	2.0	2.0		2.00						46
Acido	Sulfúrico	H ₂ SO ₄	1.2		1.2							8
	Suma de milimoles por litro		8.8	2.0	4.1	3.0	5.7	3.2	0.7	0.0	0.0	
	Suma de meq/litro		9.0	2.0	9.0	3.0	5.9	7.7	3.4	0.7	1.4	
Suma de cationes de la solución final		20.0										
Suma de aniones de la solución final		20.0										

Cuadro 29: Formulaci3n de Soluci3n nutritiva Steiner con Si.

Aportes por agua de riego			Aniones				Cationes				Cl	Na	H
			0.23	0.00	0.84	0.00	0.25	1.26	2.06	0.74	1.48	2.94	
Disoluci3n ideal			12.00	1.00	7.00	0.00	7.00	9.00	4.00				
Aportes previstos			11.77	1.00	6.16	0.00	6.75	7.74	1.94				
Tipo de Fertilizante	Producto Qu3mico	mmol/litro	Nitr3geno NO ₃ ⁻	F3sforo H ₂ PO ₄ ⁻	Azufre SO ₄ ⁻	Nitr3geno NH ₄ ⁺	Potasio K ⁺	Calcio Ca ⁺⁺	Magnesio Mg ⁺⁺	Cloro Cl ⁻	Sodio Na ⁺	g x 200 lts	
Sulfatos	Sulfato de Potasio	K ₂ SO ₄	0.9		0.9		1.8					31	
	Sulfato de Magnesio	MgSO ₄ *7H ₂ O	1.0		1.0				1.0			48	
Nitratos	Nitrato de Potasio	KNO ₃	4.0	4.0			4.0					81	
	Nitrato de Calcio	Ca(NO ₃) ₂ 4H ₂ O	3.9	7.7				3.9				183	
Fosfatos	Fosfato mono pot3sico	PO ₄ H ₂ K	1.0	1.0			1.0					27	
Acido	Sulf3rico	H ₂ SO ₄	1.2		1.24							7	
Suma de milimoles por litro			11.8	1.0	3.1	0.0	6.8	3.9	1.0	0.0	0.0		
Suma de meq/litro			12.0	1.0	7.0	0.0	7.0	9.0	4.0	0.7	1.4		
Suma de cationes de la soluci3n final		20.0											
Suma de aniones de la soluci3n final		20.0											

Cuadro 30: Formulación de solución nutritiva de Hoagland

Aportes por agua de riego			Aniones				Cationes			Cl	Na	H
			0.23	0.00	0.84	0.00	0.25	1.26	2.06	0.74	1.48	2.94
	Disolución ideal		15.00	1.00	4.00	0.00	6.00	10.00	4.00			
	Aportes previstos		14.77	1.00	3.16	0.00	5.75	8.74	1.94			
Tipo de Fertilizante	Producto Químico	mmol/litro	Nitrógeno NO ₃ ⁻	Fósforo H ₂ PO ₄ ⁻	Azufre SO ₄ ⁻	Nitrógeno NH ₄ ⁺	Potasio K ⁺	Calcio Ca ⁺⁺	Magnesio Mg ⁺⁺	Cloro Cl ⁻	Sodio Na ⁺	g x 200 lts
Sulfato	Sulfato de Magnesio	MgSO ₄ *7H ₂ O	0.4		0.4				0.4			17
	Nitrato de Potasio	KNO ₃	4.8	4.8			4.8					96
Nitrato	Nitrato de Magnesio	Mg(NO ₃) ₂ 6H ₂ O	0.6	1.2					0.6			32
	Nitrato de Calcio	Ca(NO ₃) ₂ 4H ₂ O	4.4	8.8				4.4				207
Fosfato	Fosfato mono potásico	PO ₄ H ₂ K	1.0	1.0			1.0					27
Acido	Sulfúrico	H ₂ SO ₄	1.2		1.2							8
	Suma de milimoles por litro		14.8	1.0	1.6	0.0	5.8	4.4	1.0	0.0	0.0	
	Suma de meq/litro		15.0	1.0	4.0	0.0	6.0	10.0	4.0	0.7	1.4	
Suma de cationes de la solución final		20.0										
Suma de aniones de la solución final		20.0										

Cuadro 31: Formulación de solución nutritiva de Hewitt.

Aportes por agua de riego			Aniones			Cationes			Cl	Na	H	
			0.23	0.00	0.84	0.00	0.25	1.26	2.06	0.74	1.48	2.94
	Disolución ideal		12.00	1.00	3.50	0.00	4.00	8.00	4.50			
	Aportes previstos		11.77	1.00	2.66	0.00	3.75	6.74	2.44			
Tipo de Fertilizante	Producto Químico	mmol/litro	Nitrógeno NO ₃ ⁻	Fósforo H ₂ PO ₄ ⁻	Azufre SO ₄ ⁻	Nitrógeno NH ₄ ⁺	Potasio K ⁺	Calcio Ca ⁺⁺	Magnesio Mg ⁺⁺	Cloro Cl ⁻	Sodio Na ⁺	g x 200 lts
Sulfato	Sulfato de Magnesio MgSO ₄ *7H ₂ O	0.1			0.1				0.1			5
	Nitrato de Potasio KNO ₃	2.7	2.8				2.8					56
Nitrato	Nitrato de Magnesio Mg(NO ₃) ₂ 6H ₂ O	1.1	2.2						1.1			57
	Nitrato de Calcio Ca(NO ₃) ₂ 4H ₂ O	3.4	6.8					3.4				160
Fosfato	Fosfato mono potásico PO ₄ H ₂ K	1.0		1.0			1.0					27
Acido	Sulfúrico H ₂ SO ₄	1.2			1.2							8
	Suma de milimoles por litro		11.8	1.0	1.3	0.0	3.8	3.4	1.2	0.0	0.0	
	Suma de meq/litro		12.0	1.0	3.5	0.0	4.0	8.0	4.5	0.7	1.4	
Suma de cationes de la solución final		16.5										
Suma de aniones de la solución final		16.5										