



Universidad Autónoma Chapingo

**DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
POSGRADO EN HORTICULTURA**

**“COMPORTAMIENTO DEL CRECIMIENTO VEGETATIVO Y
REPRODUCTIVO DE PITAHAYA (*Hylocereus undatus* Haworth)
ANTE DEFICIENCIAS DE MACRO Y MICRONUTRIMENTOS”**

T E S I S

**Que como requisito parcial
para obtener el Grado de:**

MAESTRO EN CIENCIAS

EN

HORTICULTURA

P R E S E N T A:

MIGUEL ÁNGEL DELGADO REYES

BIBLIOTECA CENTRAL U.A.CH

Chapingo, México, abril de 2002.



**DIRECCION ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES**



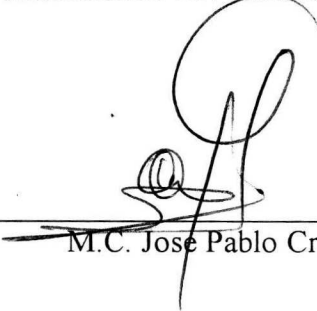
BIB 97450

**COMPORTAMIENTO DEL CRECIMIENTO VEGETATIVO Y
REPRODUCTIVO DE PITAHAYA (*Hylocereus undatus* Haworth) ANTE
DEFICIENCIAS DE MACRO Y MICRONUTRIMENTOS.**

Tesis realizada por **Miguel Ángel Delgado Reyes** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

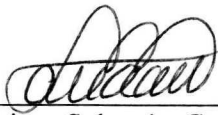
DIRECTOR:


M.C. José Pablo Cruz Hernández

ASESOR:


Dr. Gusta Baca Castillo

ASESOR:


Dr. Jaime Sahagún Castellanos

BIBLIOTECA CENTRAL U.A.CH

39515

**COMPORTAMIENTO DEL CRECIMIENTO VEGETATIVO Y
REPRODUCTIVO DE PITAHAYA (*Hylocereus undatus* Haworth) ANTE
DEFICIENCIAS DE MACRO Y MICRONUTRIMENTOS.**

El jurado que revisó y aprobó el examen de grado de **Miguel Ángel Delgado Reyes** autor de la presente tesis de Maestro en Ciencias en Horticultura estuvo constituido por:

PRESIDENTE:



M.C. José Pablo Cruz Hernández

ASESOR:



Dr. Gusta Baca Castillo

ASESOR:



Dr. Jaime Sahagún Castellanos

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo por permitirme continuar con mi formación profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico otorgado en la realización de mis estudios de posgrado.

Al M.C. José Pablo Cruz Hernández por su tiempo dedicado a la dirección y revisión del presente trabajo, así como por sus conocimientos transmitidos que contribuyeron en mi formación profesional.

Al Dr. Gustavo Baca Castillo por el apoyo brindado en la realización de la presente investigación y por sus valiosas sugerencias en la redacción del documento.

Al Dr. Jaime Sahagún Castellanos por el tiempo brindado en la revisión del trabajo.

Al Dr. Alejandro Barrientos Priego por las facilidades brindadas para concluir con la investigación.

Al personal del Laboratorio de Nutrición de Frutales del Departamento de Fitotecnia por las facilidades brindadas durante la evaluación de la investigación.

A mis amigos de la Maestría: Roldán, Mario, Vicente y Francisco por todos los momentos que compartimos.

A los profesores de la Maestría en Horticultura que contribuyeron con sus conocimientos en mi formación profesional.

DEDICATORIA

A mi hija Erandi Noemí por todo el amor que me inspira.

A María Eugenia por todos los momentos que compartimos y por todo lo que significa en mi vida.

A mi padre Porfirio Delgado Hernández por todo el amor y apoyo brindado y por motivarme a seguir adelante con su ejemplo.

A mi madre Elvira Reyes Sánchez por el amor que me brinda y por compartir bellos momentos en mi vida.

A los señores Mateo y Guadalupe por todo el apoyo brindado.

A mis hermanos Rubén, Gloria, Enrique, Pilar y Eugenia por los momentos compartidos.

DATOS BIOGRÁFICOS

Nombre: Miguel Ángel Delgado Reyes

Lugar de Nacimiento: Oaxaca de Juárez, Oax.

Domicilio actual: Carretera a Monte Albán No. 603, Col. San Juan Chapultepec, C.P.

68150. Teléfono 01-951-512-4796, Oaxaca, Oax.

Estudios profesionales.

Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Generación 1991-1996.

Estudios de Posgrado.

Maestría en Horticultura, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Generación 1997-1998.

Área de trabajo. Fruticultura y nutrición vegetal.

Experiencia laboral: Producción de diferentes especies de coníferas y latifoliadas en contenedor, responsable del Laboratorio de Nutrición Forestal del Vivero San Luis Tlaxialtemalco, dependiente de la Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural del Distrito Federal

RESUMEN

COMPORTAMIENTO DEL CRECIMIENTO VEGETATIVO Y REPRODUCTIVO DE PITAHAYA (*Hylocereus undatus* Haworth) ANTE DEFICIENCIAS DE MACRO Y MICRONUTRIMENTOS.

Miguel Ángel Delgado Reyes. Maestro en Ciencias en Horticultura.

Universidad Autónoma Chapingo.

DIRECTOR: M.C. José Pablo Cruz Hernández.

Se indujo deficiencias de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y B en pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth) a través de la aplicación de soluciones nutritivas, con el objetivo de conocer el efecto de las deficiencias de estos nutrimentos sobre el crecimiento vegetativo y reproductivo de pitahaya, se utilizó agrolita como sustrato. Las deficiencias de N y P redujeron significativamente la emisión de brotes, se presentó síntoma visible de clorosis general ante deficiencia de N y clorosis con aspecto de mosaico ante deficiencia de P, en ambos casos se presentó tejido corchoso en la planta madre y en los brotes. La deficiencia de calcio manifestó clorosis en la parte terminal de los brotes. Deficiencias de N, P, K y Ca disminuyeron significativamente la acumulación de biomasa de la parte aérea. La falta de N, P, K o Ca en la solución nutritiva abatió la absorción de N, P, K y Ca.

Palabras clave: hidroponia, nutrimentos, biomasa, *Hylocereus undatus*.

ABSTRACT

Miguel Ángel Delgado Reyes.

GROWTH OF PITAHAYA (*Hylocereus undatus* Haworth) UNDER DEFICIENCIES OF MACRO AND MICRONUTRIMENTS.

Under direction of M.C. José Pablo Cruz Hernández.

Deficiencies of N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn and B were induced on pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth) through the application of nutritive solutions with the objective to study the effect of the deficiencies of these nutrients on the vegetative and reproductive growth of pitahaya. Perlite was used as growing media. Deficiencies of N and P decreased significantly shoot emission, and displayed visible symptom of general chlorosis due to N deficiency and chlorosis with mosaic aspect due to deficiency of P; in both cases tissue cork was present in mother plant and shoots. Calcium deficiencies showed chlorosis in the final part of the shoots. N, P, K, and, Ca deficiencies decreased significantly the accumulation of dry mass in the aerial part. Without N, P, K or, Ca in the nutrient solution, pulled down N, P, K, and Ca absorption.

Key words: hydroponics, nutrients, dry mass, *Hylocereus undatus*.

INDICE

	pág.
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1. Importancia y usos	2
2.2. Origen	4
2.3. Clasificación taxonómica	5
2.4. Descripción botánica	6
2.4.1. Raíz	6
2.4.2. Tallo	7
2.4.3. Areolas	9
2.4.4. Flor	9
2.4.5. Fruto	10
2.4.6. Semilla	10
2.5. Crecimiento vegetativo	10
2.6. Desarrollo de flores y frutos	11
2.7. Propagación	12
2.8. Fertilización <i>en Hylocereus undatus</i>	13
2.9. Nutrimientos esenciales, función en la planta, síntomas de deficiencia, síntomas de toxicidad y estudio en plantas MAC	16
2.9.1. Macronutrientes	17

	pág.
2.9.1.1. Nitrógeno	18
2.9.1.1.1. Función en la planta	18
2.9.1.1.2. Síntomas de deficiencia	18
2.9.1.1.3. Síntomas de toxicidad	19
2.9.1.1.4. Estudio en plantas MAC	19
2.9.1.2. Fósforo	20
2.9.1.2.1. Función en la planta	20
2.9.1.2.2. Síntomas de deficiencia	21
2.9.1.2.3. Síntomas de toxicidad	21
2.9.1.2.4. Estudio en plantas MAC	22
2.9.1.3. Potasio	22
2.9.1.3.1. Función en la planta	22
2.9.1.3.2. Síntomas de deficiencia	23
2.9.1.3.3. Síntomas de toxicidad	23
2.9.1.3.4. Estudio en plantas MAC	24
2.9.1.4. Calcio	24
2.9.1.4.1. Función en la planta	24
2.9.1.4.2. Síntomas de deficiencia	24
2.9.1.4.3. Síntomas de toxicidad	25
2.9.1.4.4. Estudio en plantas MAC	25

	pág.
2.9.1.5. Magnesio	25
2.9.1.5.1. Función en la planta	25
2.9.1.5.2. Síntomas de deficiencia	26
2.9.1.5.3. Síntomas de toxicidad	26
2.9.1.5.4. Estudio en plantas MAC	26
2.9.1.6. Azufre	27
2.9.1.6.1. Función en la planta	27
2.9.1.6.2. Síntomas de deficiencia	27
2.9.1.6.3. Síntomas de toxicidad	27
2.9.1.6.4. Estudio en plantas MAC	27
2.9.2. Micronutrientes	28
2.9.2.1. Hierro	28
2.9.2.1.1. Función en la planta	28
2.9.2.1.2. Síntomas de deficiencia	29
2.9.2.1.3. Síntomas de toxicidad	29
2.9.2.1.4. Estudio en plantas MAC	30
2.9.2.2. Zinc	30
2.9.2.2.1. Función en la planta	30
2.9.2.2.2. Síntomas de deficiencia	30
2.9.2.2.3. Síntomas de toxicidad	31

	pág.
2.9.2.2.4. Estudio en plantas MAC	31
2.9.2.3. Cobre	31
2.9.2.3.1. Función en la planta	31
2.9.2.3.2. Síntomas de deficiencia	32
2.9.2.3.3. Síntomas de toxicidad	32
2.9.2.3.4. Estudio en plantas MAC	32
2.9.2.4. Boro	33
2.9.2.4.1. Función en la planta	33
2.9.2.4.2. Síntomas de deficiencia	33
2.9.2.4.3. Síntomas de toxicidad	34
2.9.2.4.4. Estudio en plantas MAC	34
2.9.2.5. Manganeseo	34
2.9.2.5.1. Función en la planta	34
2.9.2.5.2. Síntomas de deficiencia	35
2.9.2.5.3. Síntomas de toxicidad	35
2.9.2.5.4. Estudio en plantas MAC	36
2.9.2.6. Molibdeno	36
2.9.2.6.1. Función en la planta	36
2.9.2.6.2. Síntomas de deficiencia	36
2.9.2.6.3. Síntomas de toxicidad	37

	pág.
2.9.2.6.4. Estudio en plantas MAC	37
2.9.2.7. Cloro	37
2.9.2.7.1. Función en la planta	37
2.9.2.7.2. Síntomas de deficiencia	38
2.9.2.7.3. Síntomas de toxicidad	38
2.9.2.7.4. Estudio en plantas MAC	38
2.10. Interacciones iónicas	39
III. MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1. Localización	41
3.2. Establecimiento del experimento	41
3.3. Tratamientos	42
3.4. Preparación de las soluciones nutritivas	43
3.5. Variables evaluadas	44
3.6. Análisis estadístico	51
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1. Crecimiento acumulado (CA)	52
4.2. Número de brotes	60
4.3. Síntomas de deficiencia	61
4.4. Número de yemas florales	63
4.5. Desarrollo de yemas florales	63

	pág.
4.6. Caracterización de frutos	64
4.7. Uso consuntivo	65
4.8. Acumulación de materia fresca en la parte aérea	66
4.9. Acumulación de materia seca en la parte aérea	67
4.10. Acumulación de materia fresca de raíz	68
4.11. Acumulación de materia seca de raíz	69
4.12. Contenido de nutrimentos	70
4.12.1. Análisis de macronutrimentos	70
4.12.1.1. Nitrógeno	70
4.12.1.2. Fósforo	71
4.12.1.3. Potasio	74
4.12.1.4. Calcio	75
4.12.1.5. Magnesio	76
4.12.2. Micronutrimentos	77
4.12.2.1. Hierro	77
4.12.2.2. Manganeso	78
4.12.2.3. Zinc	79
4.12.2.4. Cobre	80
4.12.2.5. Boro	81
4.13. Extracción de nutrimentos	82

	pág.
4.13.1. Extracción de macronutrientes	82
4.13.1.1. Extracción de nitrógeno	82
4.13.1.2. Extracción de fósforo	83
4.13.1.3. Extracción de potasio	85
4.13.1.4. Extracción de calcio	85
4.13.1.5. Extracción de magnesio	86
4.13.2. Extracción de micronutrientes	87
4.13.2.1. Extracción de hierro	87
4.13.2.2. Extracción de manganeso	88
4.13.2.3. Extracción de zinc	89
4.13.2.4. Extracción de cobre	89
4.13.2.5. Extracción de boro	90
V. CONCLUSIONES	91
VI. LITERATURA CITADA	93
VII. APÉNDICE	103

INDICE DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Sales, normalidad y cantidad utilizada (g) por litro en la preparación de las soluciones madre para el apartado de deficiencias nutrimentales.	44
Cuadro 2. Comparación de medias Tukey ($\alpha = 0.05$) para los promedios de crecimiento acumulado (cm) en los diferentes muestreos.	53
Cuadro 3. Comparación de medias Tukey ($\alpha = 0.05$) para las variables número de brotes (NB), número de yemas florales (NYF1 Y NYF2), uso consuntivo (ml) (UC1, UC2 y UC3), peso fresco (g) parte aérea (PFPA), peso seco (g) parte aérea (PSPA), peso fresco (g) de raíz (PFR) y peso seco (g) de raíz (PSR).	62
Cuadro 4. Características de frutos de plantas sometidas a deficiencias de micronutrientes.	64
Cuadro 5. Características de brácteas de frutos provenientes de plantas sometidas a deficiencias de micronutrientes.	65
Cuadro 6. Comparación de medias Tukey ($\alpha = 0.05$) para los promedios de contenido nutrimental en los diferentes tratamientos.	73
Cuadro 7. Comparación de medias Tukey ($\alpha = 0.05$) para los promedios de extracción nutrimental en los diferentes tratamientos.	84

INDICE DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Comportamiento del crecimiento acumulado (cm) de pitahaya (<i>Hylocereus undatus</i> Haworth) sometida a deficiencias de macronutrientes.	59
Figura 2. Comportamiento del crecimiento acumulado (cm) de pitahaya (<i>Hylocereus undatus</i> Haworth) sometida a deficiencias de micronutrientes.	59
Figura 3. Número de brotes en plantas de pitahaya (<i>Hylocereus undatus</i> Haworth) sometida a deficiencias de nutrientes.	60
Figura 4. Acumulación de materia seca (g) de la parte aérea en pitahaya (<i>Hylocereus undatus</i> Haworth) sometida a deficiencia de nutrientes.	68
Figura 5. Acumulación de materia seca (g) de raíz en pitahaya (<i>Hylocereus undatus</i> Haworth) sometida a deficiencia de nutrientes.	69
Figura 6. Concentración de nitrógeno (%) en tallos de pitahaya (<i>Hylocereus undatus</i> Haworth) sometida a deficiencias de nutrientes.	71
Figura 7. Concentración de fósforo (%) en tallos de pitahaya (<i>Hylocereus undatus</i> Haworth) sometida a deficiencias de nutrientes.	72
Figura 8. Concentración de potasio (%) en tallos de pitahaya (<i>Hylocereus undatus</i> Haworth) sometida a deficiencias de nutrientes.	74

	pág.
Figura 9. Concentración de calcio (%) en tallos de pitahaya (<i>Hylocereus undatus</i> Haworth) sometida a deficiencias de nutrimentos.	75
Figura 10. Concentración de magnesio (%) en tallos de pitahaya (<i>Hylocereus undatus</i> Haworth) sometida a deficiencias de nutrimentos.	76
Figura 11. Concentración de hierro (ppm) en tallos de pitahaya (<i>Hylocereus undatus</i> Haworth) sometida a deficiencias de nutrimentos.	77
Figura 12. Concentración de manganeso (ppm) en tallos de pitahaya (<i>Hylocereus undatus</i> Haworth) sometida a deficiencias de nutrimentos.	78
Figura 13. Concentración de zinc (ppm) en tallos de pitahaya (<i>Hylocereus undatus</i> Haworth) sometida a deficiencias de nutrimentos.	79
Figura 14. Concentración de cobre (ppm) en tallos de pitahaya (<i>Hylocereus undatus</i> Haworth) sometida a deficiencias de nutrimentos.	80
Figura 15. Concentración de boro (ppm) en tallos de pitahaya (<i>Hylocereus undatus</i> Haworth) sometida a deficiencias de nutrimentos.	81
Figura 16. Extracción de nitrógeno (%) en pitahaya (<i>Hylocereus undatus</i> Haworth) sometida a deficiencias de nutrimentos.	83
Figura 17. Extracción de fósforo (%) en pitahaya (<i>Hylocereus undatus</i> Haworth) sometida a deficiencias de nutrimentos.	83
Figura 18. Extracción de potasio (%) en pitahaya (<i>Hylocereus undatus</i> Haworth) sometida a deficiencias de nutrimentos.	85

	pág.
Figura 19. Extracción de calcio (%) en pitahaya (<i>Hylocereus undatus</i> Haworth) sometida a deficiencias de nutrimentos.	86
Figura 20. Extracción de magnesio (%) en pitahaya (<i>Hylocereus undatus</i> Haworth) sometida a deficiencias de nutrimentos.	87
Figura 21. Extracción de hierro (ppm) en pitahaya (<i>Hylocereus undatus</i> Haworth) sometida a deficiencias de nutrimentos.	88
Figura 22. Extracción de manganeso (ppm) en pitahaya (<i>Hylocereus undatus</i> Haworth) sometida a deficiencias de nutrimentos.	88
Figura 23. Extracción de zinc (ppm) en pitahaya (<i>Hylocereus undatus</i> Haworth) sometida a deficiencias de nutrimentos.	89
Figura 24. Extracción de cobre (ppm) en pitahaya (<i>Hylocereus undatus</i> Haworth) sometida a deficiencias de nutrimentos.	90
Figura 25. Extracción de boro (ppm) en pitahaya (<i>Hylocereus undatus</i> Haworth) sometida a deficiencias de nutrimentos.	90

I. INTRODUCCIÓN

La demanda de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth) en México es creciente y la producción actual sólo satisface los mercados locales y muy incipientemente algunos regionales. La demanda de frutas exóticas en los mercados internacionales es cada vez mayor, lo cual está atribuyendo una gran importancia económica a esta especie (Castillo *et al.*, 1996; Rodríguez, 1997; Cruz, 1997).

En especies potenciales es importante desarrollar técnicas de cultivo que permitan obtener una mejor producción a bajo costo. Un factor importante en la producción de cualquier especie vegetal es la nutrición del cultivo. Los estudios sobre nutrición en cactáceas y en especial en pitahaya son escasos, por lo que es indispensable efectuar estudios sobre la respuesta de la planta a la aplicación de determinados nutrientes. Una forma eficiente de estudiar los nutrientes es mediante soluciones nutritivas, sin embargo en pitahaya no se han realizado estudios al respecto. Para lograr un manejo eficiente en la nutrición de cualquier especie es necesario conocer el comportamiento de la misma ante la deficiencia de determinado nutrimento.

En el presente trabajo se indujo deficiencias nutrimentales de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y B aplicando soluciones nutritivas con el objetivo de conocer el efecto de las deficiencias de estos nutrimentos sobre el crecimiento vegetativo y reproductivo de pitahaya.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia y usos

La pitahaya es una planta originaria del continente americano, son nativas de América tropical, que a pesar de conocerse y utilizarse desde antes de la llegada de los españoles al continente sólo recientemente adquirieron importancia como cultivo (Rodríguez, 1998). En México a las pitahayas también se les conoce como “junco tapatío”, “pitahaya orejona”, “pitahaya reina de la noche”, “tasajo”. En el idioma maya de Yucatán se le denomina “wob” (Bravo y Sánchez, 1978; Rodríguez, 1997).. Durante miles de años algunos pueblos colectaron los frutos para su consumo alimenticio o los tallos para su uso medicinal (Rodríguez, 1997). Desde hace veinte años se cultiva en varios países entre los que están Costa Rica, Guatemala, Colombia, Nicaragua y México; los tres últimos son los principales productores en el mundo. En otros continentes, particularmente en países como Italia e Israel, tienen interés en el cultivo de esta planta (Rodríguez, 1997).

En México, la pitahaya existe y se utiliza en diferentes Estados del país, pero sólo en Puebla, Oaxaca, Tabasco, Campeche y Yucatán tiene importancia económica. En los últimos años se han establecido plantaciones comerciales en Tabasco, Quintana Roo y Yucatán (Rodríguez, 1997). El principal uso de los frutos de las pitahayas es alimenticio: tienen alto contenido de vitamina A, calcio, sodio, potasio y magnesio. También tienen aplicaciones medicinales, pues su consumo es eficaz para el control de la gastritis y para

la regulación del sistema digestivo; las semillas contienen un tónico cardíaco, la cactina o captina. Los frutos se consumen frescos, congelados, o cortados en trozos, se preparan aguas frescas, jarabes, helados, en cócteles y refrescos. Los brotes tiernos pueden consumirse como exquisita verdura en una gran variedad de platillos (Becerra, 1986; Rodríguez, 1998). De la flor se obtiene un shampoo para controlar la caspa y el dolor de cabeza (Cruz, 1996).

La producción es estacional, lo que se convierte en una desventaja en el proceso de comercialización, puesto que existe demanda de la fruta en cualquier época del año, la solución es la transformación de la fruta, ya sea extrayendo y congelando la pulpa, o bien, la pulpa se puede someter a procesos de concentración, deshidratación, fermentación, proceso térmico y preservación química; también puede utilizarse como sustrato de fermentación en la preparación de vinos y vinagres. De la cáscara y de la misma pulpa de algunas especies también es posible obtener colorantes (Rodríguez, 1998).

La comercialización de las pitahayas mexicanas se realiza principalmente en los mercados locales y regionales de las zonas productoras del país. Se distinguen varios estados del sureste del país (Tabasco, Campeche, Quintana Roo y Yucatán), en los estados de Oaxaca y Puebla (en el área cercana a Tehuacán) y Jalisco (en las localidades de Autlán y Sayula). En lo que respecta al mercado nacional, el principal obstáculo y reto para incursionar en él, es la realización de una amplia y sistemática campaña de promoción del producto. Con las nuevas plantaciones especializadas se estaría en

condiciones de establecer el mercado nacional, que de abrirse plenamente llevaría a un gran crecimiento de la superficie cultivada con pitahaya (Castillo *et al.*, 1996).

Además de la superficie de los huertos familiares, a partir de 1996 se han establecido 200 ha en sistemas tecnificados y semitecnificados, de los cuales se espera obtener 2,000 ton anuales cuando las plantaciones estén en su mejor etapa productiva. Está claramente identificada la creciente demanda de la pitahaya en el mercado internacional y en forma incipiente, ya se participa en él, principalmente con la producción obtenida en la zona de Tehuacán, Puebla. La empresa Cosmo es la que durante varios años ha hecho envíos de reducidos volúmenes a Japón, pero ya se ha establecido contacto directo con empresas importadoras de ese país. La pitahaya producida en Yucatán ya se ha mandado experimentalmente a Japón, logrando ingresar sin obstáculo alguno (Rodríguez, 1998). La pitahaya producida en México compite con la de Nicaragua, Guatemala y Colombia, con la ventaja que éstos tres países tienen severas limitaciones fitosanitarias por estar ubicados en una zona con frágiles controles sanitarios (Castillo *et al.*, 1996).

2.2. Origen

La pitahaya es un cactus suculento, rústico, originario de América Tropical, se encuentra en Costa Rica, Venezuela, Curazao, Cuba, Puerto Rico, Nicaragua, República Dominicana, Panamá, Uruguay, Colombia, Guatemala, México y Brasil (Bravo y Sánchez, 1978; Becerra, 1986; Cáliz, 1996).

En México existen plantas silvestres de pitahaya en los estados de Campeche, Chiapas, Colima, Estado de México, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Tabasco, Tamaulipas, Yucatán y Veracruz (Castillo *et al.*, 1996; Cálix, 1996).

2.3. Clasificación taxonómica

Según lo reportan Cálix (1996) y Castillo *et al.* (1996), la clasificación taxonómica de la pitahaya es la siguiente.

Reino: Vegetal

Subreino: Embriofitas

División: Traqueofitas

Subdivisión: Pterópsidas

Clase: Angiospermas

Subclase: Dicotiledóneas

Orden: Cactales

Familia: Cactáceae

Subfamilia: Cactoideae

Tribu: Hylocereeeeae

Subtribu: Hylocereinae

Género: *Hylocereus*

Especie: *undatus*

2.4. Descripción botánica

Existe mucha variación entre las denominadas pitahayas. Las cultivadas en México también muestran muchas diferencias entre ellas, y a su vez son distintas a las de Colombia y Nicaragua en cuanto a forma, color del fruto y color de pulpa, períodos de fructificación y tamaño, forma y consistencia de los esquejes, todo lo cual indica, además de la influencia ambiental, la influencia de importantes diferencias genéticas entre las plantas (Rodríguez, 1997). El término *Hylo* significa espina larga y delgada, el vocablo *cereus* se refiere a cereo o cera, debido al revestimiento de los tallos (Infante, 1996).

2.4.1. Raíz

Las pitahayas que nacen de semilla tienen dos tipos de raíces: a) la raíz principal, que se origina en la radícula y que al poco tiempo deja de desarrollarse y se atrofia, y b) las raíces adventicias, basales y aéreas, que en ambos casos surgen del haz vascular (Rodríguez, 1997). Estevez (1995), mencionó que el 90% de las raíces de pitahaya se encuentran en los primeros 5 cm de profundidad, ubicándose el resto en los siguientes 5 cm, su extensión horizontal depende del vigor de la planta.

Las raíces adventicias basales nacen en la parte del tallo que está dentro del sustrato, son largas, delgadas y ramificadas y se distribuyen superficialmente en el suelo. Las raíces adventicias aéreas aparecen indistintamente a lo largo de los tallos, le sirven para fijarse al soporte y algunas de ellas llegan hasta el suelo, con lo que amplían el área de

absorción de humedad y nutrientes. Las pitahayas propagadas vegetativamente (por segmentos de tallos) tienen los dos tipos de raíces adventicias, pero carecen de raíz principal (Castillo *et al.*, 1996; Rodríguez, 1997).

2.4.2. Tallo

Gibson y Nobel (1986), mencionan que la designación más aceptable para los tallos de pitahaya es la de filocladodios, que aunque no son estructuras ideales para el almacenamiento de agua, tienen la suficiente capacidad para almacenarla y utilizarla durante períodos cortos de sequía.

Los tallos son triangulares, trepan por los árboles o por los muros, son muy largos y ramificados, de 3 a 7 cm de diámetro (Britton y Rose, 1963; Fouqué, 1972; Bravo y Sánchez, 1978; Tiscornia, 1978; Barbeau, 1990). Los tallos de la pitahaya son suculentos o carnosos y tienen tres aristas o costillas, en la parte central muestran un círculo leñoso en donde se encuentra el haz vascular, de aproximadamente 1 cm de diámetro, que le sirve como esqueleto a la planta y de donde se originan los nuevos brotes vegetativos y reproductivos y también las raíces adventicias. Los tallos están divididos en segmentos de 40 a 150 cm de largo.

Los tallos maduros son de color verde oscuro, en tanto que los tallos jóvenes y los brotes pequeños son de color verde claro, el tallo cumple las funciones de fotosíntesis; sobre el margen de la costilla hay un borde muy delgado de color café. Las aristas del tallo son

onduladas, y entre cada par de ondulaciones hay una areola o yema (Maltéz, 1994; Rodríguez, 1997).

El tallo se encuentra dividido en cuatro tejidos, teniendo en la parte exterior la epidermis, compuesta por una sola capa de células, cubierta por cutina, las funciones pueden ser retención de agua, protección contra plagas, enfermedades, de la luz intensa y para controlar el intercambio gaseoso. Las dos primeras están a cargo de la cutina, la tercera función la controla la epidermis mediante los estomas. En la parte interna, se encuentra la hipodermis, compuesta por el colénquima que contiene altas concentraciones de pectina y hemicelulosa; la pectina retiene el agua lo cual rellena las paredes y las hace duras pero flexibles, por lo cual los tallos pueden expandirse, contraerse al perder agua sin sufrir daños, también presenta los canales subestomáticos como continuación de los estomas y llegan al colénquima para permitir el intercambio gaseoso. El tercer tejido es el clorénquima, en el cual ocurre la fotosíntesis, en la pitahaya el clorénquima es muy abundante en relación al parénquima sin clorofila, pues este último casi no existe excepto en la médula, sin embargo en la mayoría de las cactáceas, el parénquima sin clorofila es muy abundante y juega un papel importante en el almacenamiento de agua y nutrimentos. Los haces vasculares se encuentran entre la médula y el tejido parenquimatoso (Cruz, 1994).

En diversos estudios se ha comprobado que la pitahaya presenta el metabolismo ácido de las crasuláceas (MAC) para fijar CO₂, el cual se caracteriza porque sus estomas se abren durante la noche para efectuar el intercambio gaseoso y los cierran durante el día (Gibson y Nobel, 1986, Mizrahi *et al.*, 1996). Ortiz, (1995), trabajando con *Hylocereus*

undatus reportó que en tallos de seis meses de edad con un contenido relativo de agua del 90% presentaron el patrón MAC, observándose una tendencia mayor de absorción de CO₂ al finalizar la noche, cuando el contenido relativo de agua fue del 60%.

2.4.3. Areolas

Las areolas o yemas son redondeadas y con pelos muy finos de color blanco. Se desarrollan en las ondulaciones de las costillas del tallo, y presentan algunas espinas cortas, las areolas se ubican a distancias de 3 a 4 cm una de la otra, presentan de 1 a 3 espinas de 2 a 4 mm de longitud. Estas areolas son muy importantes porque constituyen las yemas vegetativas y reproductivas (Fouqué, 1972; Rodríguez, 1997).

2.4.4. Flor

Las flores abren durante la noche y cierran en la mañana, son de 30 cm de largo y 24 cm de diámetro, tienen forma de embudo; segmentos exteriores del perianto verde amarillentos, encorvados hacia atrás; segmentos interiores blancos, erectos, oblanceolados, anchos, enteros, apiculados; filamentos delgados; estilo grueso de 7 a 8 mm de diámetro; lóbulos del estigma delgados, enteros, de color crema (Britton y Rose, 1963; Fouqué, 1972; Bravo y Sánchez, 1978; Castillo *et al.*; 1996; Nerd y Mizrahi; 1997). La flor se autofecunda, pero también puede cruzarse (Becerra, 1986).

2.4.5. Fruto

El fruto es una baya grande, oblongo, de 10 a 12 cm de diámetro, rojo, sin espinas, con escamas grandes, más o menos caducas al madurar, es comestible y tiene pulpa blanca jugosa, si se deja madurar completamente en la planta, se abre (Fouqué, 1972; Bravo y Sánchez, 1978; Tiscornia, 1978; Castillo *et al.*, 1996). El peso del fruto varía de 350 a 700 g, e incluso llegan a pesar hasta 970 g, en promedio el fruto está constituido por 70% de pulpa y 30% de cáscara (Ortíz *et al.*, 1994; Ortiz, 1995; Castillo *et al.*, 1996). La pitahaya blanca, es poco dulce, pues tiene 10.6° Brix (Castillo *et al.*, 1996; Rodríguez, 1997). Y tiene una suave fragancia (Cálix, 1996).

2.4.6. Semilla

Las semillas son numerosas, pequeñas (1 a 2 mm), con funículo largo, esta última estructura une a la semilla con la pared interna del fruto. Las semillas están distribuidas en toda la pulpa, tienen la testa negra, brillante y lisa, están rodeadas por una sustancia pegajosa (Castillo *et al.*, 1996).

2.5. Crecimiento vegetativo

Castillo *et al.*, (1996) mencionan que bajo condiciones de crecimiento natural, el desarrollo de los tallos también está muy relacionado con las lluvias. Tanto en los lugares donde las estaciones de sequía y precipitación son muy marcadas como en donde están menos definidas, las brotaciones vegetativas abundantes ocurren cuando las lluvias

son más intensas y prolongadas. No obstante, hay brotaciones menos abundantes prácticamente a lo largo de todo el año, también como respuesta principalmente a las lluvias. El crecimiento vegetativo está afectado por varios factores; la falta de humedad y las bajas temperaturas tienen una influencia muy importante, de tal manera que en los períodos en que estos factores ambientales disminuyen a lo largo del año, también el crecimiento de los tallos es menor o se detiene. El período en que el crecimiento vegetativo es más afectado es de octubre a abril, pero marzo y abril son los meses más desfavorables. El crecimiento vegetativo se favorece por cierta cantidad de sombra, pero un sombreado excesivo produce tallos delgados con una coloración verde oscura.

En otros estudios realizados en pitahaya, bajo condiciones de campo e invernadero por Ramírez (1995) y Delgado (1997) respectivamente, se encontraron cuatro períodos de brotación definidos. Por su parte, Argüello y Jiménez (1997), también reportaron períodos de brotación definidos al someter a plantas de pitahaya a diferentes períodos de sequía.

2.6. Desarrollo de flores y frutos

El desarrollo de flores y frutos está estrechamente relacionado con la estación lluviosa; la emergencia de las yemas florales tiene efecto después de las primeras precipitaciones, el resto del período reproductivo ocurre cuando las lluvias están bien establecidas. No está comprobado, pero se supone que la longitud del día también ejerce influencia en el inicio de la producción. La mayor producción de los frutos de pitahaya coincide con el

solsticio de verano (junio a septiembre) donde los días son más largos que las noches, es decir, cuando hay mayor cantidad de horas-luz (Castillo *et al.*, 1996).

Dependiendo de las condiciones de la región, cada año pueden registrarse de tres a seis ciclos de desarrollo de flores y frutos, que se traslapan (Castillo y Ortiz, 1994; Castillo *et al.*, 1996). Cada ciclo comprende tres fases: a) la emergencia de botones florales y su desarrollo hasta la floración, que puede durar de 10 a 31 días; b) la antesis, donde cada flor abre sólo una vez en la noche, y todas las flores de la planta pueden florecer en un lapso de tres a cinco días, y c) de la antesis a la maduración fisiológica del fruto (inicio del cambio de color de la cáscara), que puede durar de 27 a 39 días; la maduración de los frutos de toda la planta puede ocurrir en tres a cinco días. Se ha observado que las plantas que permanecen con sombra excesiva tienen una producción reducida. Si las lluvias caen cuando ocurre la floración o uno o dos días después de ésta, el porcentaje de frutos que logran su desarrollo se reduce drásticamente, debido a que el ovario de las flores se pudre. En *Hylocereus undatus*, se ha visto que cuando el efecto de las lluvias es muy severo, pueden pudrirse más del 80% de las flores de un ciclo, mientras que en circunstancias favorables más del 80% de las flores desarrollan frutos (Castillo *et al.*, 1996; Cruz, 1996).

2.7. Propagación

La propagación puede ser por semilla o por estacas. La propagación por estacas es rápida, es un material de fácil enraizamiento (Fouqué, 1972; Ortiz *et al.*, 1994). La principal forma de propagación es la vegetativa, a partir de los tallos o esquejes que

tengan por lo menos dos años de edad, que provengan de una planta adulta, sana, productiva, que produzca fruta de calidad, ya sea que se planten directamente o que se establezcan en bolsas hasta la formación de nuevas plantas (Becerra, 1986; Ortiz *et al.*, 1994; Rodríguez, 1997). También se puede propagar por injerto sobre otras plantas, tal es el caso de pitahaya, pitayo, jiotilla y nopal (Cordero, 1997).

La pitahaya también se reproduce por medio de semillas maduras, las cuales tienen un alto porcentaje de germinación superior al 95% a los 15 días, sobre todo en condiciones de exposición a la luz, una respuesta similar se tiene después de 4 meses de almacenaje. Pero para fines de explotaciones comerciales no es recomendable este procedimiento, pues la planta tarda de cuatro a seis años en llegar a su etapa productiva y requiere demasiados cuidados en semillero y vivero, sin embargo, es muy útil cuando se cuenta con poco material vegetativo, o se desea realizar trabajos de mejoramiento genético (Castillo *et al.*, 1996; Rodríguez, 1997).

2.8. Fertilización en *Hylocereus undatus*

La fertilización es una actividad muy importante porque favorece el desarrollo de las plantas y las mantiene vigorosas y productivas. Varias investigaciones demuestran que el mejor intervalo de pH del suelo recomendable para la pitahaya es de 5.3 a 6.7, debido a que con esta amplitud hay mejor disponibilidad de nutrientes y mayor actividad microbiológica (Castillo *et al.*, 1996; Cruz, 1996). El propósito principal de la producción de plantas en viveros es el de favorecer la formación y desarrollo de raíces y brotes vegetativos. Por tal motivo, a los 15 días después de haber plantado los esquejes

en las bolsas, se sugiere la aplicación de 10 g por bolsa de una mezcla de 17-17-17 y urea, se sugiere que dicha mezcla tenga una mayor cantidad de N para estimular el desarrollo de las raíces (Rodríguez, 1997).

En cuanto a fertilización en las plantaciones, Castillo *et al.*, (1996) e Infante (1996), hicieron las siguientes sugerencias. En el primer año, al establecer las plantas de pitahaya (en junio), se recomienda aplicar 50 g de 0-46-0 por planta, de tal manera que estimule el desarrollo de las raíces. En Agosto sugieren aplicar 50 g de urea por planta para favorecer el crecimiento vegetativo. En el segundo año, generalmente las plantas de pitahaya inician la producción. Se sugiere aplicar en marzo 75 g de 15-15-15 por planta. En mayo, las pitahayas requieren mayor cantidad de nutrimentos pues comienza la formación de flores y frutos. Como se ha determinado que las plantas tienen mejor respuesta al N y al K que al P, y que el K es el elemento requerido en mayor cantidad durante la producción, se recomienda aplicar la fórmula 18-9-19-3(S) en junio y agosto. En octubre, cuando el período reproductivo casi ha finalizado, es conveniente aplicar urea, a fin de favorecer el crecimiento vegetativo. Guzmán (1994), reportó que la pitahaya responde favorablemente a la aplicación de 1.5 a 2 kg de la fórmula 18-46-00 por planta, 3 veces al año.

En cuanto a la fertilización con micronutrimentos, se ha demostrado que la pitahaya es una planta eficiente en la absorción de elementos menores y micronutrimentos. Pero es conveniente indicar que todavía hay un conocimiento limitado sobre el manejo práctico que podrían tener estos fertilizantes sobre la pitahaya. Se ha encontrado que el B y el Zn inducen mayor número de frutos, pero el peso y tamaño de los mismos se reduce

(Castillo, 1996); Infante (1996), reportó que en Colombia, aplicando B se obtuvo una respuesta sobresaliente en cuanto a porcentaje de frutos amarrados, peso y tamaño de los mismos; en contraste, el Mn aplicado foliarmente incrementó el peso, diámetro y la longitud del fruto. Se sugiere hacer una aplicación de Ca Mg y micronutrientes en junio cuando ya se ha iniciado el período de máxima actividad metabólica de las plantas. Los microelementos pueden ser aplicados al suelo o de manera foliar (Castillo, 1996).

Además de la respuesta positiva a la fertilización edáfica, la pitahaya responde bien a la fertilización foliar, Castillo *et al.* (1996), sugieren el uso de Bayfolán[®], K-fol[®], Grofol[®], y Poliquet-Multi[®], realizando 2 aplicaciones durante el mes de marzo de alguno de los fertilizantes foliares mencionados anteriormente. Cruz (1996), mencionó que se deben dar tres aplicaciones foliares en enero, febrero y marzo utilizando Bayfolán[®].

En cuanto al uso de fertilizantes orgánicos en esta especie, se ha observado que responde favorablemente a las aplicaciones de dichos fertilizantes, los abonos más utilizados son el estiércol de ganado vacuno, porcino, caprino, equino y gallinaza. Becerra (1986) reportó que la pitahaya responde muy bien a las aplicaciones de gallinaza y materia orgánica bien descompuesta y sugiere la aplicación de 4 toneladas de gallinaza por ha, repartida en 3 ó 4 aplicaciones. En proyectos productivos que se realizaron en el estado de Yucatán Rodríguez (1996) mencionó que para fertilizar las pitahayas con fertilizantes orgánicos utilizaron como fuente estiércol de cerdo, gallinaza, bagazo de henequén y estiércol de bovino, obteniendo un desarrollo aceptable de las plantas en vivero.

Ramírez (1995), en aspersiones de nutrientes a los tallos de pitahaya encontró que existió asimilación por la cutícula, lo cual se reflejó en un incremento de los niveles de N, P, Ca y Zn y en la brotación de tallos nuevos. Bárcenas (1994), al evaluar diferentes sustratos para enraizar pitahaya, encontró que se presentó un menor crecimiento de los brotes en arena en comparación a la tierra franco arcillosa, y esto lo atribuyó a la menor disponibilidad de nutrientes que se tiene en arena. Delgado (1997), realizó un estudio de nutrición en pitahaya, en el cual indujo deficiencias nutrimentales, concluyendo que los elementos que más limitaron el crecimiento de pitahaya fueron el N y P, lo cual se manifestó en una disminución del crecimiento. Los micronutrientes Fe, Mn, Zn y B no afectaron el crecimiento vegetativo de esta especie

2.9. Nutrientes esenciales, función en la planta, síntomas de deficiencia, síntomas de toxicidad y estudio en plantas MAC

Se conoce que 16 elementos químicos son esenciales para el crecimiento vegetal. Estos elementos se dividen en dos grandes grupos: minerales y no minerales. Los nutrientes no minerales son carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O). Estos nutrientes se encuentran en el agua y en la atmósfera y son usados en la fotosíntesis. Los productos de la fotosíntesis son los responsables del crecimiento de las plantas. Cantidades insuficientes de CO₂, agua o luz reducen el crecimiento. Los nutrientes minerales son aquellos que provienen del suelo, y se dividen en dos grupos: macronutrientes y micronutrientes (P&PI, 1997).

Los efectos morfológicos visibles o síntomas de deficiencias minerales son el resultado de los cambios en varios procesos bioquímicos y fisiológicos, pero generalmente es difícil de determinar como una deficiencia de algún elemento en particular produce los efectos observados, debido a las interacciones complejas que se presentan (Kramer y Kozlowski, 1979).

Cuando un tejido es deficiente en un elemento esencial, se presentan cambios en el metabolismo y crecimiento, disminuyendo aquellos procesos metabólicos en los que participa directamente el elemento. El disturbio del metabolismo normal causado por deficiencias nutrimentales, puede disminuir el crecimiento de las plantas y en consecuencia, disminuir el rendimiento de los cultivos (Epstein, 1972).

Un incremento en la presión osmótica de la solución del suelo reduce la absorción de agua, incrementa el déficit hídrico foliar, y deseca los tejidos cuando se presenta una rápida transpiración. Cuando se incrementa la concentración de sales, éstas incrementan la presión osmótica y se dan cambios en el pH, la proporción de varios elementos se desbalancea, o se presenta la combinación de tales factores. (Kramer y Kozlowski, 1979).

2.9.1. Macronutrientes

Los macronutrientes son los más requeridos por las plantas, midiéndose su cantidad respecto a las soluciones nutritivas, en gramos por litro, es decir, medidos en su concentración. Los macronutrientes son el N, P, K, Ca, Mg y S (Rodríguez, 1992).

2.9.1.1.Nitrógeno

2.9.1.1.1. Función en la planta

Las formas iónicas asimilables de N son el NH_4^+ y el NO_3^- . El NO_3^- durante su asimilación produce una elevación del pH, en cambio el NH_4^+ produce un abatimiento del pH en las células vegetales (Rodríguez, 1992). Algo de urea se absorbe directamente por las hojas en aspersiones foliares y pequeñas cantidades de N se obtienen de materiales como aminoácidos solubles en agua (Haynes, 1986; Bidwell, 1993; P&PI, 1997). Este elemento es necesario en aminoácidos, amidas, péptidos, proteínas, ácidos nucleicos, nucleótidos y coenzimas. Se concentra en células de crecimiento activo, está contenido en los ácidos nucleicos (Clark, 1987).

El N incrementa el rendimiento de los cultivos por cada mm de agua disponible, en condiciones de baja o alta disponibilidad de agua (P&PI, 1997).

2.9.1.1.2. Síntomas de deficiencia

La deficiencia de N resulta en clorosis de las hojas debido a las cantidades reducidas de clorofila. Este amarillamiento se inicia en las hojas más viejas y luego se traslada a las hojas más jóvenes, a medida que la deficiencia se torna más severa, las raíces no se afectan en mayor grado, aunque sus fibras parecen decrecer (Clark, 1987; P&PI, 1997). Ashraf y Zafar (1998) reportaron que ante una deficiencia de N en lenteja se incrementó la concentración de Ca^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} y Zn^{2+} . Tewolde y Fernández (1997) reportaron

que una deficiencia de N en algodón redujo significativamente la acumulación de biomasa de hojas y tallo. En toronja, una deficiencia de N disminuye el desarrollo de las raíces (Zhang *et al.*, 1998).

2.9.1.1.3. Síntomas de toxicidad

Los excesos de N ocasionan una coloración rojo oscura, con mayor intensidad en los márgenes de las hojas y un poco menor cerca de la vena central. Se presenta una reducción en el crecimiento de las raíces (Clark, 1987). Menzel *et al.*, (1995) reportaron que en litchi, los brotes son más sensitivos a los incrementos de N que las raíces, así mismo, existe una mayor concentración de N en las hojas que en raíces y tallo de esta especie. Bussi y Amiot (1998), cuando incrementaron los niveles de N en chabacano, obtuvieron un incremento en el crecimiento vegetativo y peso de fruto, pero se redujo la coloración del fruto.

2.9.1.1.4. Estudio en plantas MAC

El N es el elemento más limitante en el suelo para el crecimiento de agaves y cactus (Nobel, 1998). Cuando el N está presente en más del 2% del peso seco en el clorénquima de agaves y cactus, se promueve la actividad metabólica. Los niveles de N en el tejido se correlacionan positivamente con la acumulación nocturna de ácido y de CO₂, así mismo, se obtiene un crecimiento óptimo para ambas especies cuando los niveles de N en el suelo son superiores al 0.1% en relación al peso seco del mismo (Nobel, 1988). Stefanis y Langhans (1980) reportaron que al incrementar el nivel de

nitrate en la solución hidropónica, se incrementó el crecimiento de plantas de *Agave deserti*, *Carnegiea gigantea*, *Ferocactus acanthodes* y *Trichocereus chilensis*. Tanaka *et al.* (1983), reportaron que cultivando bajo condiciones hidropónicas *Echinocactus grusonii* al incrementar al doble la concentración de N de la solución nutritiva, se incrementó el largo y ancho de los tallos, así mismo, los elementos N, P, K, Ca y Mg incrementaron su concentración en el tallo. Nobel *et al.* (1987) reportaron que *Opuntia phaeacantha* y *O. rastrera*, conforme incrementaron los niveles de N en el suelo, se incrementó la acumulación de biomasa.

Cruz *et al.* (1990), reportaron que una deficiencia de N en nopal provocó una disminución en tamaño y número de cladodios. Baca (1990), utilizando nopal proveniente de cultivo *in vitro*, reportó que una deficiencia de N en nopal se manifestó en clorosis y con la presencia de una capa corchosa en los cladodios. Grande y Cruz (1997) en un estudio de contenidos nutrimentales en tallos de *Stenocereus griseus* reportaron que las concentraciones más altas de N, P y K se encontraron en las plantas más jóvenes.

2.9.1.2. Fósforo

2.9.1.2.1. Función en la planta

Las plantas absorben la mayoría de P como el ión ortofosfato primario (H_2PO_4^-), también absorben pequeñas cantidades de P como ión ortofosfato secundario (HPO_4^{2-}). El P desempeña un papel importante en la fotosíntesis, respiración, el almacenamiento y

transferencia de energía, la división y crecimiento celular y ácidos nucleicos. Además promueve la rápida formación y crecimiento de las raíces. El P mejora la calidad de la fruta, hortalizas y granos y es vital para la formación de la semilla (Clark, 1987; P&PI, 1997). El P ayuda a las raíces y a las plántulas a desarrollarse rápidamente y mejora su resistencia a las bajas temperaturas, incrementa la eficiencia en el uso del agua (P&PI, 1997).

2.9.1.2.2. Síntomas de deficiencia

La primera señal de falta de P es una planta pequeña. La forma de las hojas se distorsiona. Cuando la deficiencia es severa se desarrollan áreas muertas en las hojas, frutos y tallo. La deficiencia se manifiesta primero en hojas viejas (P&PI, 1997). Las raíces deficientes de P son alargadas, ahusadas, con pocas fibras y al agudizarse la deficiencia se tornan oscuras (Clark, 1987). En algodón una deficiencia de P redujo la altura de planta, peso seco de tallo y hoja y el número de bellotas por planta (Tewolde y Fernández, 1997). La deficiencia de P en melón inhibió el crecimiento vegetativo (Nerson *et al.*, 1997).

2.9.1.2.3. Síntomas de toxicidad

La toxicidad de P provoca en las hojas inferiores lesiones de color rojo oscuro y manchas necróticas, las raíces disminuyen su crecimiento (Clark, 1987). Se presenta un crecimiento vigoroso, una coloración verde muy oscura en las hojas y una elevada

formación de flores y frutos, se puede provocar posteriormente deficiencias de N Mn, Cu y Zn (Sánchez y Escalante, 1989).

2.9.1.2.4. Estudio en plantas MAC

En algunos cactus cultivados en hidroponia, la influencia del P se empieza a notar cuando las plantas tienen un año de edad, por ejemplo, con una concentración de 1 mM H_2PO_4^- en la solución nutritiva se incrementa el peso seco del tallo en un 20% para *Carnegiea gigantea*, *Ferocactus acanthodes* y *Trichocereus chilensis* (Nobel, 1983). Nobel *et al.* (1987), reportaron que para *Opuntia phaeacantha*, la aplicación de P en altas dosis incrementaron en un 48% el peso seco de la planta en un período de un año y medio, comparadas con las plantas a las cuales no se les aplicó P.

2.9.1.3. Potasio

2.9.1.3.1. Función en la planta

El K es necesario en cantidades relativamente grandes en la mayor parte de los tejidos vegetales, es absorbido por las plantas en forma iónica (K^+), llega a las raíces principalmente por difusión. Se mueve fácilmente a través del xilema, al interior del floema se dan grandes movimientos de K en forma acropétala y basipétala (Bose *et al.*, 1991). Es vital para la fotosíntesis, controla la apertura y cierre estomatal. Es el principal catión asociado con el balance de aniones y se acumula en grandes cantidades en las semillas (Clark, 1987; P&PI, 1997). El K facilita la absorción del agua por las raíces,

disminuyendo la evapotranspiración (Baeyens, 1970). La absorción de K^+ es por vía activa, este mecanismo se inhibe si existe una alta concentración de este elemento en la planta (Mengel y Kirkby, 1982).

2.9.1.3.2. Síntomas de deficiencia

Este elemento es extremadamente móvil al interior de la planta (Mengel y Kirkby, 1982) y se transloca desde los tejidos más viejos a los más nuevos, por lo cual los síntomas de deficiencia se presentan en las hojas más viejas. Las raíces deficientes de este elemento tienden a ser más cortas (Clark, 1987). Los frutales con deficiencia de K manifiestan quemadura en los márgenes de las hojas viejas, primero se presenta una clorosis y un enrollamiento ascendente de las hojas, dando al árbol una apariencia de marchitamiento, aunque las hojas estén completamente turgentes (Faust y Shear, 1985). Ryugo (1993) señaló que en ciruela pasa la deficiencia de K se manifestó como una muerte regresiva de brotes y encorchado de las hojas. Nerson *et al.* (1997) reportaron que una deficiencia de K en melón redujo el crecimiento vegetativo y el rendimiento debido a un bajo amarre de fruto, así como a un menor tamaño del mismo.

2.9.1.3.3. Síntomas de toxicidad

La toxicidad por potasio en las plantas se manifiesta como escaldaduras y bronceamiento en las secciones del ápice, que se extienden en forma uniforme hacia la base foliar, puede ocasionar la muerte de raíces (Clark, 1987). Una toxicidad de K en kiwi ocasiona una deficiencia de Mg y Ca (Ferguson, 1990).

2.9.1.3.4. Estudio en plantas MAC

Nobel (1988), reportó que en *Carnegiea gigantea*, *Ferocactus acanthodes* y *Trichocereus chilensis*, cultivados por 6 meses en solución hidropónica, al incrementar la concentración de K de 0.1 mM a 10 mM, se incrementó en un 10% el peso seco de estas especies.

2.9.1.4. Calcio

2.9.1.4.1. Función en la planta

El Ca es absorbido por las plantas en forma del catión Ca^{2+} (Baeyens, 1970). El movimiento del Ca a la raíz, depende básicamente del flujo de masas (Barber y Ozanne, 1970; Fageria *et al.*, 1991), posteriormente, se mueve a través de la corteza radical por difusión o más probablemente por el intercambio de iones en el espacio libre (Ferguson, 1979). La absorción de Ca es proporcional al porcentaje de crecimiento radical más que al crecimiento de los brotes (Lauchli, 1976). El Ca estimula el desarrollo de raíces y hojas (P&PI, 1997). Es un componente estructural de las células y es indispensable para la integridad de las mismas. Las células sin Ca tienden a perder su semipermeabilidad y se colapsan, cataliza algunas reacciones de la hidrólisis de ATP, participa en la unión de ARN a la proteína en los cromosomas (Clark, 1987). El Ca aumenta la evapotranspiración de las plantas (Baeyens, 1970).

2.9.1.4.2. Síntomas de deficiencia

El calcio es poco móvil en las plantas, la deficiencia de este elemento se advierte primero en los crecimientos nuevos. Un síntoma común de la deficiencia de Ca es un crecimiento pobre de las raíces, dichas raíces se tornan negras y se necrosan (Clark, 1987; Rodríguez, 1992; P&PI, 1997).

2.9.1.4.3. Síntomas de toxicidad

La toxicidad de Ca se manifiesta en las plantas con una coloración pardo negruzca, con rayas de color rojo claro a lo largo de las nervaduras. Las raíces se tornan más oscuras y pegajosas (Clark, 1987).

2.9.1.4.4. Estudio en plantas MAC

El Ca está presente en los cristales y mucílago de los cactus, los cactus contienen más Ca en sus tejidos que las demás plantas, debido a la presencia de cristales de oxalato de Ca (Gibson y Nobel, 1986), por lo cual, bajo condiciones naturales, el Ca no es limitante para el crecimiento de cactus (Nobel *et al.*, 1987).

2.9.1.5. Magnesio

2.9.1.5.1. Función en la planta

El Mg es absorbido por las plantas como el catión Mg^{2+} . Es el átomo central de la molécula de clorofila, aproximadamente 10% del Mg de la planta es un componente de la clorofila, interviene en el metabolismo del P y en la respiración (Clark, 1987; Salisbury y Ross, 1996; P&PI, 1997).

2.9.1.5.2. Síntomas de deficiencia

Las deficiencias aparecen primero en las hojas más viejas debido a la movilidad de éste elemento dentro de la planta. Las hojas presentan clorosis, mientras que las nervaduras se mantienen verdes (P&PI, 1997). Las raíces deficientes de Mg adquieren un color rojo oscuro, son más cortas y crecen muy poco (Clark, 1987).

2.9.1.5.3. Síntomas de toxicidad

Ante toxicidad por Mg el tejido marginal se torna café y se marchita. El tejido intervenal adquiere un color más claro en el ápice a la base. Las raíces se tornan de un color negro pardo (Clark, 1987).

2.9.1.5.4. Estudio en plantas MAC

Una deficiencia de Mg en *Agave sisalana* puede presentarse como pequeñas lesiones de color marrón, necróticas, hundidas y profundas en hojas adultas, estos síntomas pueden aparecer cuando este elemento se encuentra debajo de las 10 ppm de peso seco del clorénquima (Nobel, 1988).

2.9.1.6. Azufre

2.9.1.6.1. Función en la planta

Es indispensable en los aminoácidos cistina, cisteína y metionina, y por tanto, en las proteínas (Clark, 1987).

2.9.1.6.2. Síntomas de deficiencia

Este elemento es relativamente inmóvil, y los síntomas de su deficiencia se manifiestan primero en las hojas nuevas. Las hojas deficientes de éste elemento presentan clorosis uniforme, las raíces reducen su crecimiento (Clark, 1987).

2.9.1.6.3. Síntomas de toxicidad

Esta toxicidad es muy rara en hidroponia ya que se da sólo a muy altas concentraciones. Más bien el daño que se llega a presentar es el ocasionado por una concentración elevada de sales en general (Sánchez y Escalante, 1989).

2.9.1.6.4. Estudio en plantas MAC

Lock (1962), citado por Nobel (1988), reportó que los síntomas de deficiencia de azufre se presentan como clorosis en *Agave sisalana*, se presentó cuando la concentración de

este elemento en las hojas fue menor a 400 ppm, comparado con los niveles normales de azufre que oscilan de 800 a 1000 ppm.

2.9.2. Micronutrientes

Los micronutrientes son elementos indispensables para la vida de las plantas pero se encuentran presentes en proporciones muy pequeñas en los tejidos vegetales. Los micronutrientes que actualmente son reconocidos como esenciales para las plantas superiores son: Fe, Mn, Zn, Cu, B y Mo. Otros elementos pueden tener un papel útil para ciertas plantas como el Cl, Si, Co y Na (Loué, 1988).

2.9.2.1. Hierro

2.9.2.1.1. Función en la planta

El Fe se encuentra a disposición de las raíces sobre todo bajo formas de Fe^{2+} , Fe^{3+} y en forma de quelatos. Las raíces lo absorben bajo la forma Fe^{2+} o en cierta medida bajo forma quelatada. La absorción de Fe inorgánico está ligada a la capacidad que tienen las raíces de reducir el pH y reducir el Fe^{3+} en Fe^{2+} en la rizosfera (Loué, 1988).

El Fe cataliza la formación de clorofila (Price *et al.*, 1983) y actúa como un transportador del oxígeno, forma sistemas enzimáticos que actúan en la respiración, fijación del N, se encuentra en los citocromos (Clark, 1987; P&PI, 1997). En la mayor parte de sus funciones el Fe interviene para catalizar las reacciones de oxidorreducción

gracias al cambio de valencia que le permite en forma reversible pasar del estado bivalente al estado trivalente por la pérdida de un electrón (Loué, 1988).

2.9.2.1.2. Síntomas de deficiencia

El Fe no circula en las plantas y las hojas nuevas muestran primero los síntomas de su deficiencia. La deficiencia de éste elemento se manifiesta como clorosis intervenal, y por el color verde intenso de sus nervaduras (Clark, 1987; P&PI, 1997). La deficiencia de Fe bajo el efecto de un pH elevado puede ser acentuado por el exceso del agua, por una baja aireación en el suelo o por la acción de P, Mn, Cu, Zn, Mo (Loué, 1988). Manthey y Crowley (1997) reportaron que las deficiencias de Fe en aguacate provocaron una reducción de la superficie radical, las hojas manifestaron una clorosis. Vizzotto *et al.* (1997) reportaron que una deficiencia de Fe en kiwi provocó una clorosis en las hojas, las raíces mostraron un incremento en la capacidad de reducir los quelatos y acidificar la rizósfera.

2.9.2.1.3. Síntomas de toxicidad

Estos síntomas son raros de observar, se presentan con soluciones cuyo valor de pH es menor a 5 y que permanezcan mucho tiempo sin ser cambiadas. El exceso de hierro puede conducir a una deficiencia de P, Cu o Mn (Sánchez y Escalante, 1989).

2.9.2.1.4. Estudio en plantas MAC

Una deficiencia de Fe redujo el crecimiento de *Agave sisalana* (Nobel, 1988).

2.9.2.2. Zinc

2.9.2.2.1. Función en la planta

La absorción de Zn se realiza bajo control metabólico (Loué, 1988). El Zn es absorbido como Zn^{2+} , a pH más altos probablemente es absorbido como catión monovalente (Mengel y Kirkby, 1982; Marschner, 1986). El Zn es necesario para la producción de clorofila y carbohidratos (P&PI, 1997). Puede formar parte o ser cofactor de enzimas (anhidrasa carbónica, dehidrogenasas). Interviene en la síntesis de ácidos nucleicos y de las proteínas, así como en la síntesis de las auxinas (Loué, 1988).

2.9.2.2.2. Síntomas de deficiencia

Los síntomas de deficiencia aparecen primero en las hojas nuevas y otras partes jóvenes de la planta; los crecimientos de las plantas se arrosetan (Clark, 1987; P&PI, 1997). En manzano, la deficiencia de Zn se denomina enfermedad de las hojas pequeñas en roseta, existe una clorosis general entre las nervaduras (Loué, 1988).

2.9.2.2.3. Síntomas de toxicidad

El exceso de Zn se traduce en contenidos anormalmente elevados en la planta que superan las 400 ppm sin que se pueda fijar realmente el umbral de toxicidad. Se pueden producir desequilibrios en la nutrición y se ha demostrado que los contenidos de P y Fe en el tejido vegetal disminuye. Los síntomas se manifiestan como una clorosis férrica (Loué, 1988). Zhonggui *et al.* (1998) reportaron que en nabo un exceso de Zn redujo drásticamente la acumulación de materia seca de la raíz.

2.9.2.2.4. Estudio en plantas MAC

Las deficiencias de Zn en plantas de *Agave sisalana* cultivadas en hidroponia se manifestaron en una reducción del crecimiento de la hoja y en la producción de hojas pequeñas (Nobel, 1988).

2.9.2.3. Cobre

2.9.2.3.1. Función en la planta

El mecanismo de la absorción del Cu es probablemente en su mayor parte de carácter metabólico (Loué, 1988). El Cu es un componente de los citocromos, ascorbato oxidasas y de las enzimas tirosinasa y ureasa, se asocia con el metabolismo del Ca (Clark, 1987), interviene en el metabolismo de las paredes celulares, en la fijación de N y en la degradación de proteínas (Loué, 1988), es necesario para la formación de clorofila

(P&PI, 1997). El 70% del Cu se encuentra en los cloroplastos interviniendo en la fotosíntesis (Loué, 1988).

2.9.2.3.2. Síntomas de deficiencia

La movilidad del Cu en la planta es bastante restringida, aunque puede desplazarse de las hojas viejas a las nuevas (Loué, 1988). Las deficiencias aparecen primero en las hojas recientes, mismas que se amarillan y broncean. La deficiencia se observa en los ápices de las hojas recientes de manera similar a una deficiencia de Ca (Clark, 1987; Loué, 1988).

2.9.2.3.3. Síntomas de toxicidad

El signo más claro del exceso de Cu es la inducción de la clorosis de Fe. Por otra parte el crecimiento se reduce, y más particularmente el de las raíces que son espesas, poco ramificadas y con raicillas de color oscuro, se reduce la absorción de P y Fe (Loué, 1988).

2.9.2.3.4. Estudio en plantas MAC

Ante una deficiencia de Cu en *Agave sisalana* las hojas de la parte central redujeron su tasa de crecimiento en un 22%, 16 meses después del inicio de los tratamientos. El

crecimiento de las raíces se inhibe en un 90% con concentraciones de 20 μ M de Cu (Nobel, 1988).

2.9.2.4. Boro

2.9.2.4.1. Función en la planta

El B, único elemento no metálico de los seis micronutrientes, tiene una valencia constante de +3 y el más pequeño radio iónico, es absorbido por las plantas bajo la forma de ácido bórico no dissociado, el proceso es inicialmente por difusión en el espacio libre, seguido de una absorción pasiva en el espacio interno (Loué, 1988). Es esencial para la germinación de los granos de polen, el crecimiento del tubo polínico y para la formación de semillas y paredes celulares. Forma complejos borato-azúcar que están asociados con la translocación de azúcares a través de membranas y es importante en la formación de proteínas, se asocia con la diferenciación celular y la lignificación (Price *et al.*, 1983; Clark, 1987; P&PI, 1997). El B estimula la evapotranspiración y hace a las plantas más resistentes a la sequía (Baeyens, 1970).

2.9.2.4.2. Síntomas de deficiencia

Las deficiencias de B se manifiestan en las hojas nuevas y en el tejido recién formado, generalmente se detiene el crecimiento de la planta, primero dejan de crecer los tejidos

apicales y las hojas más jóvenes debido a que el B es relativamente inmóvil en las plantas (Price *et al.*, 1983; Clark, 1987; Loué, 1988; P&PI, 1997).

2.9.2.4.3. Síntomas de toxicidad

Los síntomas de toxicidad por B consisten en una necrosis progresiva de las hojas que empieza por un amarillamiento de las extremidades y de los bordes de las hojas que progresa entre las nervaduras laterales hacia la nervadura central y evoluciona con un oscurecimiento y posterior necrosis y las hojas caen prematuramente (Clark, 1987).

2.9.2.4.4. Estudio en plantas MAC

El-Meligy (1980), citado por Nobel (1988), reportó que asperjando B sobre *Echinocactus grusonii* se incrementó su tamaño y peso seco. El crecimiento de la raíz es más sensible que el crecimiento de los brotes a los incrementos de B (Nobel, 1988).

2.9.2.5. Manganese

2.9.2.5.1. Función en la planta

La absorción del Mn por las plantas presenta dos fases, una fase de absorción rápida de carácter pasivo seguida de una fase lenta y sostenida de carácter metabólico. Las principales funciones del Mn están basadas en elevado potencial redox (Loué, 1988), funciona principalmente como parte de los sistemas enzimáticos de las plantas. Activa

varias reacciones metabólicas importantes y juega un papel directo en la fotosíntesis ya que interviene en la síntesis de clorofila, el Mn sustituye al Mg en muchas enzimas dependientes del ATP. Acelera la germinación y la maduración de las plantas e incrementa la disponibilidad de P y Ca (Clark, 1987; P&PI, 1997).

2.9.2.5.2. Síntomas de deficiencia

Los síntomas de deficiencia aparecen primero en las partes jóvenes, debido a que este elemento no se transloca en la planta, se presenta una clorosis entre las nervaduras y en ocasiones aparecen una serie de puntos café oscuros (P&PI, 1997). Las raíces parecen estar normales, salvo por un color un poco más oscuro (Clark, 1987).

2.9.2.5.3. Síntomas de toxicidad

Las hojas de las plantas que tienen exceso de Mn muestran un color verde más oscuro que las hojas normales. Los márgenes de las secciones del ápice de la hoja se tornan de color café claro y mueren (Clark, 1987). El exceso de Mn en el medio de cultivo puede interferir con la absorción, translocación y asimilación de otros elementos minerales como Ca, Mg, Fe y P. La toxicidad de Mn puede desarrollarse bajo condiciones de deficiencia de Fe (Touria y Douglas, 1998).

2.9.2.5.4. Estudio en plantas MAC

Cuando se eliminó el Mn del medio hidropónico en *Agave sisalana* se redujo el crecimiento de las raíces, se retrasó el alargamiento de las hojas y estas se tornaron cloróticas (Nobel, 1988).

2.9.2.6. Molibdeno

2.9.2.6.1. Función en la planta

El movimiento principal del ión molibdato en el suelo se realiza por flujo de masas y por intercepción radicular, aunque resulta cierto que se desplaza a la raíz por difusión (Loué, 1988). El Mo interviene en la síntesis y activación de la enzima nitrato-reductasa, es vital para la fijación biológica de N, es necesario para convertir P inorgánico a su forma orgánica en la planta. Aplicaciones altas de P incrementan la absorción de Mo, mientras que aplicaciones altas de S disminuyen la absorción de éste micronutriente (Clark, 1987; P&PI, 1997).

2.9.2.6.2. Síntomas de deficiencia

Los síntomas de deficiencia de Mo se presentan primero en las hojas más viejas como un amarillamiento general y falta de crecimiento de la planta (Clark, 1987; P&PI, 1997). Afecta el metabolismo del P y del ácido ascórbico (Price *et al.*, 1983).

2.9.2.6.3. Síntomas de toxicidad

El Mo parece poder ser absorbido por las plantas en cantidades superiores a las necesidades sin efectos tóxicos o bajo rendimiento. La coloración que se manifieste en la planta ante un exceso de este elemento, variará según la especie (Loué, 1988).

2.9.2.6.4. Estudio en plantas MAC

Una deficiencia de Mo en *Agave sisalana* reduce su crecimiento, además de producir clorosis en las hojas (Nobel, 1988).

2.9.2.7. Cloro

2.9.2.7.1. Función en la planta

La absorción de Cl^- está sobre todo, bajo control metabólico siendo influida por la temperatura y los inhibidores fisiológicos (Loué, 1988). El Cl está involucrado en las reacciones energéticas de la planta, especialmente en la descomposición química del agua en presencia de la luz, está involucrado en el transporte de los cationes K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} dentro de la planta (P&PI, 1997).

2.9.2.7.2. Síntomas de deficiencia

La deficiencia de Cl en tomate consiste en un marchitamiento de las extremidades de los foliolos y una clorosis progresiva de las hojas seguida de necrosis. En remolacha, disminuye la superficie foliar y la transpiración se ve afectada (Loué, 1988).

2.9.2.7.3. Síntomas de toxicidad

Los umbrales críticos de toxicidad son muy variables según las especies y los muestreos practicados (de 0.5 a 2 y hasta 4% de Cl). Las hojas presentan un color más claro, producto de la reducción del contenido de pigmentos y manchas o necrosis marginales así como un principio de enrollamiento, las hojas son más pequeñas (Loué, 1988). Bar *et al.* (1997) reportaron que excesos de Cl en aguacate y tangerina provocaron quemadura de hojas, redujeron la acumulación de materia seca de raíces más que de la parte aérea.

2.9.2.7.4. Estudio en plantas MAC

Nobel *et al.* (1984), al realizar un estudio de la aplicación de NaCl sobre el MAC en *Cereus validus* Haworth, reportaron que con aplicaciones de 600 mM de NaCl durante 16 días en plantas de 9 meses de edad, se redujo la acumulación de materia seca en los tallos, se inhibió la acumulación nocturna de CO₂ en un 67%.

2.10. Interacciones iónicas

Existen dos tipos generales de interacciones iónicas. Antagonismo cuando un ión actúa en contra o disminuye el efecto del otro. Sinergismo cuando el aumento de un ión incrementa la concentración del otro (Westwood, 1982).

La cantidad del elemento añadido podría causar interacciones con otros elementos y así ocasionar problemas adicionales. El P puede interactuar con los micronutrientes (Mn, Fe, Cu, Zn y Mo) y producir deficiencias de los mismos. El P también puede fijar otros elementos que pueden ser tóxicos (Al, Fe y Mn) (Clark, 1987).

La aplicación de N ha sido reportada como causa de deficiencia de Zn en cítricos; el P inactiva al Fe en plantas de soya. Las aplicaciones de P reducen la concentración de Cu en las hojas y raíces de mandarina. El P mejora la absorción y translocación de Mo en diversas especies vegetales (Loué, 1988). Altos niveles de NO_3^- reducen los niveles de P en plantas de aguacate y tangerina (Bar *et al.*, 1997). La captación de Mo por las plantas es reducida por el S. Altos niveles de B disminuye la concentración de Ca en el tejido vegetal, el Zn es antagónico al Fe (Olsen, 1983). Se presenta un antagonismo entre Fe y Mn (Loué, 1988). Concentraciones elevadas de Cu o Zn disminuyen la concentración de Fe en cítricos, entre el Cu y Mo existe antagonismo (Olsen, 1983).

Thompson (1952) y Ferguson (1979) reportaron que los cationes antagónicos al Ca^{2+} son: Mg^{2+} , K^+ y NH_4^+ . Son sinérgicos a este catión el nitrato y el fosfato (Kyrkby y Knight, 1977). Por su parte, Trocme y Gras (1979) y Westwood (1982) reportaron que

en árboles frutales se presentan las siguientes relaciones antagónicas N/K, N/B, P/Zn, P/N, P/Cu, K/Mg, K/B, Cu/Fe, K/Ca, Ca/micronutrientos, Mn/Fe, Mn/N; y los siguientes sinergismos NO_3^-/Mg , Mg/P y K/Fe.

Un exceso de N puede darse por una deficiencia de P o K (Sánchez y Escalante, 1989). Cuando se incrementa la concentración de N en el tejido vegetal, se incrementa la concentración de Ca, pero cuando el N llega a niveles excesivos, los niveles de Ca empiezan a disminuir. Aplicaciones de N provocan deficiencias de B (Benton y Millis, 1991). En nochebuena, cuando se incluye NH_4^+ en la solución nutritiva como fuente de N, se incrementa la concentración de K en las hojas (Brian y Hammer, 1998).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

En la presente investigación se abordó lo relacionado a deficiencias de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, y B, evaluándose su efecto sobre el crecimiento vegetativo y reproductivo de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth).

3.1. Localización

El experimento se realizó bajo condiciones de invernadero en el área de invernaderos de la Maestría en Horticultura del Departamento de Fitotecnia en la Universidad Autónoma Chapingo, ubicada en las coordenadas 19°29' latitud Norte y 98°53' longitud Oeste, a una altura de 2,250 m.s.n.m. (García, 1987).

3.2. Establecimiento del experimento

Se utilizó plantas de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth). El 2 de noviembre de 1995 fueron establecidas en macetas de plástico de 2 L, utilizando agrolita como sustrato. Éstas fueron sometidas a deficiencias de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y B, hasta el mes de noviembre de 1996. Posteriormente, se podó a un solo tallo de 1 m de longitud y se regó con agua destilada hasta el mes de febrero de 1998. En este mes las plantas fueron cambiadas a módulos constituidos por dos cubetas de plástico de 19 L, los cuales se pintaron de color negro con esmalte anticorrosivo para evitar la formación de algas. Las cubetas estuvieron conectadas mediante una manguera de hule flexible de

color negro, el sistema de riego que se utilizó fue por subirrigación. En una cubeta de los módulos se estableció cada planta con 5 cm de tezontle en el fondo de la cubeta para facilitar el drenaje, en el extremo de la manguera de esta cubeta se colocó una sección de manguera con varias perforaciones pequeñas y cubierta con tela para prevenir el taponamiento del sistema, el resto de la cubeta se llenó con agrolita. Una vez establecidas las plantas, se cubrió la parte superior de la cubeta con polietileno de color negro para evitar la formación de algas y reducir la pérdida de la solución nutritiva por evaporación.

Se estableció un sistema de conducción en espaldera y se acomodó cada módulo sobre polines de madera, de tal manera que facilitaran el riego por subirrigación. En el mes de marzo de 1998 se preparó las soluciones nutritivas de cada tratamiento y fueron aplicadas a partir del 15 de marzo del mismo año.

3.3. Tratamientos

Se utilizó la solución completa empleada en nopal (*Opuntia* sp) por Baca (1990): en meq L⁻¹ N:15, P:1, K:6, Ca:8, Mg:4. En ppm Fe:4, B:0.5, Mn:0.5, Zn:0.05, Cu:0.02 y Mo:0.01. Se utilizó un testigo adicional consistente en plantas establecidas en tierra de monte (bosque de *Quercus* sp.) con agrolita 70 y 30 %, respectivamente. El experimento estuvo constituido por 11 tratamientos con 6 repeticiones, conducido en un diseño experimental de bloques al azar, los tratamientos fueron los siguientes:

t₁= solución completa menos potasio (SK).

t₂= solución completa menos boro (SB).

t₃= solución completa menos magnesio (SMg).

t₄= solución completa menos nitrógeno (SN).

t₅= solución completa menos hierro (SFe).

t₆= solución completa menos fósforo (SP).

t₇= solución completa menos zinc (SZn).

t₈= solución completa menos calcio (SCa).

t₉= solución completa (SC).

t₁₀= solución completa menos manganeso (SMn).

t₁₁= tierra de monte + agrolita (SUELO).

3.4. Preparación de las soluciones nutritivas

En la primera quincena del mes de marzo se preparó las soluciones nutritivas con base en el método de soluciones madre, empleando agua destilada y ajustando el pH a 5.5. Se preparó 20 L de solución nutritiva para cada tratamiento, a excepción del tratamiento establecido en suelo, y se almacenaron en botes de plástico de 20 L pintados en su exterior de color negro con esmalte anticorrosivo. Posteriormente se vació 10 L de solución nutritiva a cada módulo según el tratamiento que les correspondió. Las sales utilizadas fueron grado reactivo. Las soluciones madre se prepararon a la normalidad que permitió la solubilidad de dichas sales (Cuadro 1), en algunos casos se recurrió a utilizar ácido sulfúrico concentrado para facilitar la disolución de las sales. El riego con las soluciones nutritivas se proporcionó cada tercer día a excepción del tratamiento de suelo que se regó una vez por semana. La composición química de las soluciones nutritivas se presenta en el cuadro A6.

Cuadro 1. Sales, normalidad y cantidad utilizada (g) por litro en la preparación de las soluciones madre para el apartado de deficiencias nutrimentales.

REACTIVO	FÓRMULA QUÍMICA	NORMALIDAD DE LA SOLUCIÓN	g DE REACTIVO POR L DE AGUA
FOSFATO DE AMONIO MONOBÁSICO	NH_4PO_4	1N	115.03
NITRATO DE POTASIO	KNO_3	1N	101.10
NITRATO DE CALCIO	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1N	118.075
SULFATO DE MAGNESIO	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	1N	123.25
SULFATO DE POTASIO	K_2SO_4	0.5N	43.57
FOSFATO DE CALCIO	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0.1N	12.6
SULFATO DE CALCIO	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.1N	8.6
FOSFATO DE POTASIO MONOBÁSICO	KH_2PO_4	1N	136.09
SULFATO FERROSO	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	4000 ppm	19.91
ÁCIDO BÓRICO	H_3BO_3 96%	500 ppm	2.98
SULFATO MANGANOSO MONOHIDRATADO	$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	500 ppm	1.5
SULFATO DE ZINC	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	50 ppm	0.2
SULFATO CÚPRICO	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	1000 ppm	3.78
ÁCIDO MOLÍBDICO	H_2MoO_4 85%	1000 ppm	0.02

* se agregó H_2SO_4 concentrado

3.5. Variables evaluadas

Las variables cuantificadas en el presente experimento fueron las siguientes:

Crecimiento acumulado. La primer evaluación se hizo el 13 de octubre de 1997, y debido a que no se presentó un incremento en el crecimiento de las plantas porque no se les estaba suministrando nutrientes, la siguiente evaluación se realizó el 17 de marzo de

1998 y posteriormente, cada mes hasta el 14 de febrero de 1999. Para evaluar esta variable se utilizó una cinta métrica, para medir el crecimiento de los brotes desde la base hasta su ápice.

Número de brotes. Al final del experimento se registró el número total de brotes que emitió cada planta.

Síntomas de deficiencia. Se registró los síntomas de deficiencia conforme se manifestaron en las plantas.

Número de yemas florales. Se realizó dos evaluaciones de esta variable, el 26 de octubre de 1998 y el 14 de febrero de 1999, contabilizando el número total de yemas florales que presentaban las plantas.

Desarrollo de yemas florales. Conforme activaron su crecimiento las yemas florales, se midió su longitud hasta que murieron, o bien, hasta que llegaron a antesis.

Caracterización de frutos. A los frutos desarrollados se les evaluó peso fresco, diámetro, longitud, número de brácteas, ancho de base de brácteas y grosor de bráctea.

Uso consuntivo. Se hizo tres evaluaciones del uso consuntivo de cada tratamiento, a excepción del tratamiento establecido en suelo. Las mediciones se realizaron el 3, 14 y 27 de julio de 1998. Para su evaluación se colocó un plástico de color negro en el bote que contenía la planta, se fijó con cinta canela, esto para disminuir las pérdidas por

evaporación, se midió la cantidad de solución nutritiva agregada, y se midió la cantidad drenada después de cada aplicación.

Acumulación de la materia fresca de la parte aérea. Se realizó la evaluación de esta variable del 15 al 18 de febrero de 1999. Los tallos fueron cortados en porciones pequeñas para facilitar su posterior secado, una vez cortados se pesaron y se separó la parte terminal de un brote (30 cm) la cual se lavó con agua destilada para posteriormente realizar el análisis de contenido nutrimental. Para pesar se utilizó una balanza granataria digital. Las muestras fueron puestas en bolsas de papel.

Acumulación de la materia seca de la parte aérea. Las plantas se metieron a una estufa de secado del Laboratorio de Nutrición de Frutales del Departamento de Fitotecnia a una temperatura de $70 \pm 3^{\circ}\text{C}$, hasta que alcanzaron peso constante. La evaluación de esta variable fue el 8 de marzo de 1999, utilizando una balanza granataria digital.

Acumulación de materia fresca de raíz. Esta variable se evaluó del 20 al 23 de febrero de 1999. Debido a que las raíces de las plantas invadieron todo el sustrato y formaron un cepellón consistente en la mayoría de los casos, para poder eliminar la agrolita y tezontle adheridos a la raíz fue necesario lavar las raíces con agua corriente. Posteriormente, se pusieron a orear a la sombra sobre papel periódico para eliminar el exceso de humedad teniendo cuidado de que no se secaran las raíces pequeñas, se utilizó una balanza granataria digital, posteriormente se guardó las raíces en bolsas de papel.

Acumulación de materia seca de raíz. Las raíces se metieron a una estufa de secado a una temperatura de $70 \pm 3^{\circ}\text{C}$, hasta que alcanzaron peso constante. Esta variable se registró el 17 de marzo de 1999 utilizando una balanza granataria digital.

Contenido nutrimental. Para esta variable se tomó una muestra de los últimos 30 cm de un brote en crecimiento de cada tratamiento. Se tomó sólo cuatro repeticiones para determinar su contenido nutrimental. Se lavó el material con agua destilada para eliminar impurezas de polvo y se metió las muestras a una estufa de secado hasta que alcanzaron peso constante. Posteriormente se molió las muestras en un mortero de porcelana y se guardó en sobres de papel. Se evaluó los contenidos de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu y B en cada tratamiento. La preparación de todos los extractos y las determinaciones de N, P, K, y B se realizaron en el Laboratorio de Nutrición de Frutales del Departamento de Fitotecnia de la U.A.Ch.. La metodología utilizada se describe a continuación:

Determinación de los niveles de nitrógeno. Para determinar el contenido de N en las muestras, se tomó como base el método Kjeldahl (Jones Jr et al., 1991). Del material molido y seco, en una balanza analítica se pesó 0.1 g y se colocó cada muestra en un matraz microkjeldahl, agregándole 0.1 g de la mezcla catalizadora de sulfatos con selenio (NaSO_4 , CuSO_4 y Se) y 2 ml de la mezcla de ácido salicílico con ácido sulfúrico, se dejó reposar las muestras y posteriormente se puso a digerir en una mufla durante 2.5 h. En matraces Erlen-Meyer se agregó 20 ml de ácido bórico al 4% y cinco gotas de indicador (rojo de metilo + verde de bromocresol). Se destiló las muestras en el

destilador microkjeldahl agregando 14 ml de NaOH al 4%. Los destilados se colectaron en los matraces Erlen-Meyer que contenían la mezcla mencionada anteriormente. Posteriormente se tituló con H_2SO_4 0.07122N hasta lograr el cambio a un color violeta tenue registrando los ml gastados. El % de N se calculó con la siguiente fórmula.

$$\% \text{ N} = (\text{ml P} - \text{ml T}) \times \text{Normalidad del ácido sulfúrico} \times 1.4 / \text{peso de la muestra}$$

donde: ml P = ml gastados del problema.

ml T = ml gastados del testigo.

Preparación del extracto para determinar los niveles de P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y Cu (extracto original). De las muestras del material molido y seco se tomó una muestra de 0.5 g y se colocó en matraces microkjeldahl, tomando como base el método de digestión húmeda triácida (Jones Jr et al., 1991). A cada matraz se le agregó 10 ml de ácido nítrico y 3 ml de la mezcla de $\text{HClO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$ en relación 2:1, respectivamente. Se dejó reposar durante 15 horas y posteriormente se colocaron en una mufla para su digestión. Se filtró las muestras con papel filtro no. 42, se aforó a 50 ml y se guardó cada muestra en frascos de vidrio y se colocaron en un refrigerador.

Determinación de los niveles de fósforo. La determinación del contenido de P se realizó por colorimetría. Del extracto original descrito anteriormente, se tomó una alícuota de 5 ml de cada muestra, a las cuales se les agregó 7.5 ml de metavanadato de amonio y se aforó a 25 ml con agua destilada. Estas muestras se leyeron en el espectrofotómetro (Spectronic 20) a 430 nm, se registró las lecturas de absorbancia. Se calculó las ppm de P por medio de una curva de calibración. El %P se calculó con la siguiente fórmula.

$$\% P = (\text{ppm } P^* \times Fd)/10000.$$

donde: P^* = ppm P calculadas en la curva de calibración.

$$Fd = \text{Factor de dilución} = (50/0.5) (25/5) = 500.$$

Determinación de los niveles de potasio. La determinación del contenido de K se realizó por flamometría utilizando el extracto empleado para determinar el contenido de P, se leyó cada muestra en el fotoflamómetro Corning 400, se registró las lecturas de transmitancia. Se trazó una curva de calibración de K y mediante interpolaciones se calculó las ppm K. El %K se calculó mediante la siguiente fórmula.

$$\% K = (\text{ppm } K^* \times Fd)/10000$$

donde: K^* = ppm K calculadas en la curva de calibración.

$$Fd = \text{Factor de dilución} = (50/0.5) (25/5) = 500.$$

Determinación de los niveles de Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y Cu. Para determinar el contenido de estos nutrimentos, el extracto original se llevó al Laboratorio de Nutrición del Colegio de Postgraduados, para que se realizaran las lecturas y cálculos en un Espectrofotómetro de Absorción de Plasma (Varian ICP-AES).

Determinación de los niveles de boro. En una balanza analítica se pesó 0.25 g del material molido y seco de cada muestra, se colocó en crisoles de porcelana y se puso en una mufla a una temperatura de 550°C durante aproximadamente cinco horas hasta que las cenizas presentaron una coloración blanquecina. A cada crisol se le agregó unas gotas de agua destilada y 5 ml de ácido clorhídrico 1 N, se filtró en papel filtro no. 41, se aforó a 25 ml y posteriormente se vació cada muestra en frascos de polipropileno.

De cada muestra se tomó una alícuota de 0.5 ml, se colocó en vasos de precipitados de polipropileno de 50 ml, agregando 4 ml de la solución curcumina con ácido oxálico. Posteriormente se colocaron en una incubadora eléctrica a una temperatura de $50 \pm 3^\circ\text{C}$ hasta que se evaporó la muestra, agregándoles después 25 ml de alcohol etílico 96% y se leyeron un Espectrofotómetro a 540 nm, registrándose las lecturas de absorbancia. Se trazó una curva de calibración de B y mediante interpolaciones se calcularon las ppm B en la curva. Las ppm B se calcularon a través de la siguiente fórmula.

$$\text{ppm B} = \text{ppm B}^* \times \text{Fd}$$

donde: ppm B^* = ppm B obtenidas en la curva de calibración.

$$\text{Fd} = \text{Factor de dilución} = (25/0.25) (25/0.5) = 5000.$$

Extracción nutrimental. Con la información de la materia seca acumulada en la parte aérea en cada tratamiento y con los contenidos nutrimentales se procedió a calcular la extracción nutrimental para macro y micronutrientes con la siguiente fórmula.

$$\text{Extracción Nutrimental} = (\text{Materia seca de la parte aérea} \times \text{Contenido de nutrimento}) / 100$$

3.6. Análisis estadístico

El diseño experimental utilizado en este experimento correspondió a un bloques al azar con seis repeticiones. El modelo estadístico en que se basó el análisis fue el siguiente.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + B_j + \varepsilon_{ij}$$

donde: Y_{ij} = Valor de la variable respuesta en el tratamiento i , en el bloque j .

μ = Valor de la media.

τ_i = Efecto del tratamiento i .

B_j = Efecto del bloque j

ε_{ij} = Error correspondiente a Y_{ij} .

Para el análisis estadístico se utilizó el programa de cómputo SAS, se realizó para cada variable análisis de varianza ($\alpha = 0.05$) y comparación de medias Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

BIBLIOTECA CENTRAL U. A. CH

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Crecimiento acumulado (CA)

Se hizo 12 evaluaciones de esta variable. Al realizar el análisis de varianza se observó en el primer muestreo (13/octubre/1998) diferencias estadísticas significativas ($\alpha = 0.05$) entre los tratamientos (Cuadro A1). El crecimiento de las plantas se debió únicamente a las reservas acumuladas en el tallo, debido a que desde el mes de noviembre de 1996 se regó únicamente con agua destilada. El factor de determinación explicó el 79% del crecimiento acumulado ($R^2 = 0.789$), el coeficiente de variación para esta evaluación fue de 27.63%, esto sugiere que el material vegetal que se utilizó fue aceptablemente homogéneo.

Los mayores promedios de CA correspondieron a los tratamientos SB, SMn, S.C., SZn y SFe que fueron estadísticamente similares (Cuadro 2). Los menores valores de CA correspondieron a SCa, SP y SN. Así, el primer grupo de tratamientos presentó una mayor acumulación de reservas de nutrimentos que el segundo grupo, lo cual le permitió obtener estos promedios de CA. El hecho de que las plantas establecidas en suelo no presentaran mayores promedios de esta variable se debió a que la planta ya había consumido la mayor parte de los nutrientes almacenados en el suelo.

Cuadro 2. Comparación de medias Tukey ($\alpha = 0.05$) para los promedios de crecimiento acumulativo (cm) en los diferentes muestreos.

TRATA- MIENTO	FECHAS DE MUESTREO											
	13/10/97	17/04/98	17/05/98	16/06/98	01/07/98	01/08/98	01/09/98	16/10/98	16/11/98	18/12/98	15/01/99	14/02/99
SK	143.95 bc	150.30 bc	150.30 cd	151.42 c	153.57 cd	183.18 de	189.08 cd	255.20 cd	268.03 de	308.58 cd	324.60 de	331.57 de
SB	276.08 a	281.67 a	281.67 ab	289.15 b	337.57 b	444.63abc	520.47 ab	612.62 ab	626.95abc	655.40 ab	676.05 ab	721.45 ab
SMg	181.15 bc	200.90abc	200.90bcd	233.13 bc	295.88 bc	408.77 bc	418.52 bc	575.05 ab	592.23abc	656.70 ab	690.93 ab	741.92 ab
SN	22.12 e	25.95 e	36.32 f	48.40 d	56.25 d	68.67 e	70.15 d	72.17 d	73.27 e	71.78 d	73.32 e	75.20 e
SFe	208.28 ab	219.72 ab	219.72 bc	230.68 bc	273.67 bc	366.25bcd	376.75 bc	518.97 bc	543.43bcd	580.98 bc	632.78 bc	696.18 ab
SP	39.88 de	39.98 de	39.98 ef	42.25 d	42.97 d	55.83 e	92.17 d	151.23 d	171.95 e	223.65 d	244.80 de	276.82 de
SZn	208.53 ab	230.12 ab	230.12abc	234.90 bc	286.15 bc	400.50bcd	413.10 bc	601.75 ab	621.30abc	677.17 ab	697.77 ab	736.68 ab
SCa	118.28 cd	125.20 cd	125.20 de	142.42 cd	171.48 cd	233.67cde	243.27 cd	319.43bcd	332.08cde	357.38 cd	375.05 cd	405.00 cd
S.C.	216.62 ab	218.47 ab	218.47 bc	277.62 b	368.43 b	460.48 ab	520.78 ab	614.62 ab	628.17 ab	698.55 ab	735.83 ab	812.30 ab
SMn	218.28 ab	225.63 ab	225.63abc	233.78 bc	279.30 bc	349.20bcd	372.38 bc	505.73 bc	524.28bcd	577.05 bc	610.70 bc	656.00 bc
SUELO	155.13 bc	212.03 ab	308.20 a	458.15 a	534.72 a	662.23 a	721.62 a	858.42 a	868.95 a	891.55 a	915.82 a	951.47 a
DMS (H)	87.431	86.590	86.181	102.830	149.410	224.190	231.240	297.300	295.210	289.960	279.690	289.950

Promedios con la misma letra en sentido vertical no presentan diferencias estadísticas significativas.

El 16 de marzo de 1998 se comenzó a aplicar las soluciones nutritivas de cada tratamiento, pero el crecimiento medido fue similar al del 13 de octubre de 1997 por lo que no se incluyó en el análisis de varianza. Para la segunda evaluación (17/04/98), en el análisis de varianza (Cuadro A1) se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, el coeficiente de determinación explicó el 81% del CA ($R^2 = 0.811$), la variabilidad para esta fecha se redujo al 25.35% (C.V. = 25.35). En la comparación de medias Tukey ($\alpha \leq 0.05$) se observó un comportamiento similar a la evaluación anterior, en donde los mayores promedios de CA correspondieron a los tratamientos SB, SZn, SMn, SC y SFe, siendo similares estadísticamente y difirieron de los tratamientos SN y SP que presentaron los menores valores de CA, para encontrar tales diferencias se necesitó una DMS de 86.59. A pesar de que ya se tenía un mes aplicando las soluciones nutritivas, las plantas aún no mostraban un incremento apreciable en su CA lo que nos indicó que primero las plantas reabastecieron sus reservas de nutrimentos y posteriormente reiniciaron su crecimiento, se observó que el tratamiento suelo ya iniciaba con CA apreciables debido a que las plantas establecidas en este tratamiento ya tenían dos meses de estar absorbiendo los nutrimentos disponibles.

Para el muestreo realizado el 17 mayo de 1998 se reportaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos en el ANAVA ($\alpha = 0.05$) (Cuadro A1), se obtuvo una $R^2 = 0.8311$ y un C.V. = 23.91, al realizar la comparación de medias Tukey (Cuadro 2) el tratamiento suelo presentó el mayor CA, se observó que este tratamiento y SN fueron los únicos que habían reiniciado su crecimiento, por lo que se infiere que en este último hubo translocación de N a la yema en crecimiento.

Para el 16 de junio de 1998 en el análisis de varianza (Cuadro A1) se reportaron diferencias significativas entre tratamientos el coeficiente de determinación (R^2) explicó el 85.6 % del C.A. la variabilidad que se presentó fue de 24.8 %. En la comparación de medias Tukey (Cuadro 2) se observó que el tratamiento suelo presentó los mayores promedios de CA siendo significativamente diferente al resto de los tratamientos, los menores promedios de CA correspondieron a los tratamientos SP, SN, SK, SCa y SMg, lo cual indicó que la deficiencia de macronutrientes disminuyó considerablemente el CA de pitahaya, el tratamiento SN presentó un mayor CA que SP debido a que las plantas sometidas a este último tratamiento apenas reiniciaban su crecimiento. Para 01 de julio de 1998 se presentó un comportamiento similar.

En el ANAVA del 1 de agosto de 1998 se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, para esta evaluación el coeficiente de determinación explicó el 75.2 % del CA, el coeficiente de variación que se presentó fue de 34.87 %, en la comparación de medias Tukey se observó que para esta fecha las plantas ya habían reactivado su crecimiento en forma considerable, lo cual nos indicó que al momento de establecer el experimento las plantas se encontraban en un nivel de deficiencia severo y tardaron 5 meses en acumular reservas para posteriormente crecer, pero es notable también la capacidad de sobrevivencia de esta especie. En la comparación de medias Tukey (Cuadro 2) los mayores promedios de CA correspondieron a los tratamientos suelo y SC que fueron similares estadísticamente este comportamiento se debió a que las plantas establecidas en suelo tenían disponibles los nutrientes suficientes para tener un crecimiento activo y considerable, y en el tratamiento SC al recibir todos los nutrientes se esperaba que tuviera un crecimiento sobresaliente en comparación con el

resto de los tratamientos, el tratamiento SB fue similar estadísticamente a los 2 tratamientos anteriores. Para los micronutrientes, los tratamientos SMn, SFe y SZn presentaron un menor CA, fueron similares estadísticamente, los valores más bajos de CA correspondieron a SP, SN, SK, SCa y SMg en orden de menor a mayor CA.

Para el 1 de septiembre al 16 de noviembre de 1998 se presentó un comportamiento similar en el CA, el ANAVA reportó diferencias significativas entre tratamientos, con valores de R^2 superiores al 74 % y coeficientes de variación inferiores al 34 % (Cuadro A1). En la comparación de medias Tukey se observó que los mayores promedios de CA correspondieron a los tratamientos suelo y SC seguidos de SB, SZn, SMg, SFe y SMn. Los tratamientos SB, SFe, SZn y SMn no fueron significativamente diferentes al tratamiento SC. Delgado (1997) reportó que los micronutrientes no afectaron negativamente al CA de pitahaya y esto es explicable debido a que las plantas dentro de sus reservas aún tenían la cantidad suficiente de estos elementos que le permitieron tener un CA sobresaliente. El tratamiento SP a pesar de ser igual estadísticamente a SN presentó mayores promedios de CA que este último tratamiento, ambos presentaron los menores promedios de esta variable.

Al realizar el ANAVA en las evaluaciones correspondientes al 18 de diciembre de 1998, 15 de enero y 14 de febrero de 1999 se presentó un comportamiento similar en los tratamientos, se observaron diferencias significativas entre ellos (Cuadro A1) se tuvieron coeficientes de determinación superiores al 75 % y coeficientes de variación inferiores al 30 %. En la comparación de medias Tukey ($\alpha = 0.05$) se tuvo un comportamiento

similar para estas 3 evaluaciones (Cuadro 2). Los mayores valores de CA los presentaron los tratamientos suelo y SC, seguidos de SZn, SMg, SB, Sfe y SMn, siendo iguales estadísticamente. Los tratamientos SCa, SK, SP y SN presentaron los menores promedios de CA en orden de mayor a menor CA y no fueron estadísticamente diferentes entre sí. La respuesta en la disminución del CA fue estadísticamente similar en los tratamientos SCa, SK y SP; el tratamiento SN presentó el menor CA, siendo igual estadísticamente a los tratamientos SK y SP.

En general se observó que una deficiencia de N redujo más el CA de pitahaya que cualquier otro nutrimento, este comportamiento fue reportado para esta especie por Delgado (1997), Cruz et al. (1990) y Baca (1990) reportaron que una deficiencia de N en nopal provocó disminución del crecimiento, y esto se explica debido al papel fisiológico de este nutrimento ya que participa en la diferenciación y alargamiento celular (Clark, 1987) y al estar deficiente provoca una disminución en el metabolismo de la planta lo cual se manifiesta en una reducción del crecimiento. Así mismo, Nobel (1988) reportó que el N es el elemento que más limita el crecimiento de los cactus.

Después del N, el elemento que más redujo el CA fue el P, resultados similares obtuvo Delgado (1997) en pitahaya, Baca (1990) ante deficiencias de P en nopal reportó menor crecimiento, P&PI (1997) también reportaron plantas pequeñas ante una deficiencia de este elemento y esto se debe a que el P juega un papel importante en la división y crecimiento celular, por lo que al estar deficiente se reducen dichos parámetros.

La deficiencia de K y Ca también redujeron el crecimiento acumulado en pitahaya y esto se debe a que son macronutrientes que al no estar presentes en una concentración adecuada en el tejido de la pitahaya, esta reduce su crecimiento (Figura 1). La deficiencia de macronutrientes provoca una disminución en el crecimiento vegetativo de los vegetales según lo han reportado Stefanis y Langhans (1980), Nobel (1983) y Nobel *et al.* (1987). En la pitahaya se observó que una deficiencia de macronutrientes a excepción del Mg redujo considerablemente el crecimiento vegetativo, resultados similares reportó Delgado (1997).

En los tratamientos en donde no se aplicó algún micronutriente (Fe, Mn, Zn y B) se redujo más el CA que en el tratamiento SMg, aunque tuvieron que pasar 3 años para que se manifestara una reducción en el crecimiento al no proporcionar estos micronutrientes, lo cual nos indica que la pitahaya requiere de una baja concentración de estos nutrientes para mantener un crecimiento vegetativo aceptable (Figura 2).

Queda claro que una deficiencia de N, P, K y Ca son los que más reducen el crecimiento vegetativo de pitahaya, por lo que para las aplicaciones de fertilizante en las plantaciones comerciales no deben perderse de vista estos nutrientes. En los tratamientos SB, SFe, SZn y SMn, aunque se presentó una disminución en el CA, fueron similares estadísticamente a suelo y SC, por lo que no bastó el tiempo de estudio (3 años) para causar deficiencias visibles de estos micronutrientes, por lo que para pitahaya bajo condiciones de campo va a ser difícil que se presenten deficiencias de micronutrientes a corto plazo.

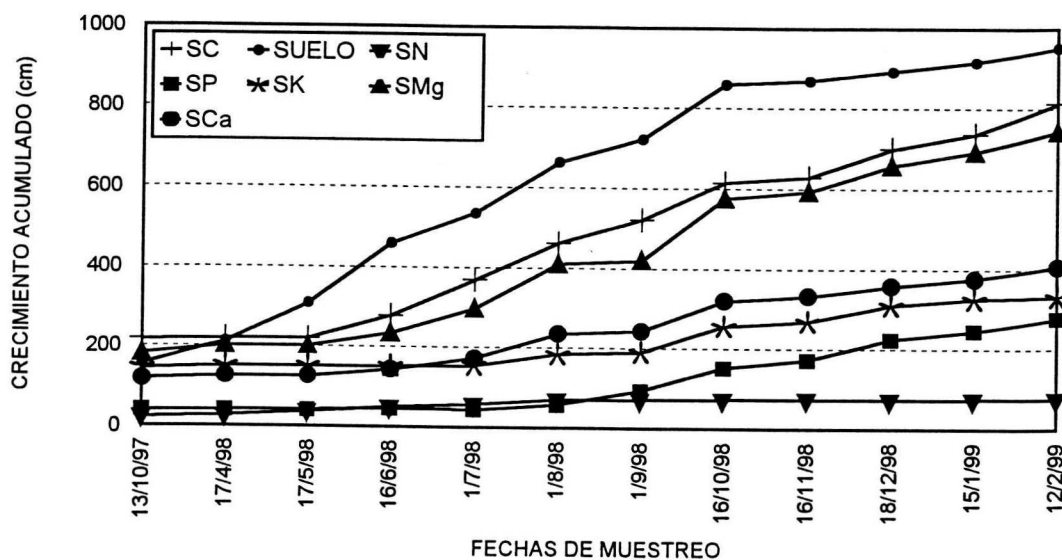


Figura 1. Comportamiento del crecimiento acumulado (cm) de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth) sometida a deficiencias de macronutrientes

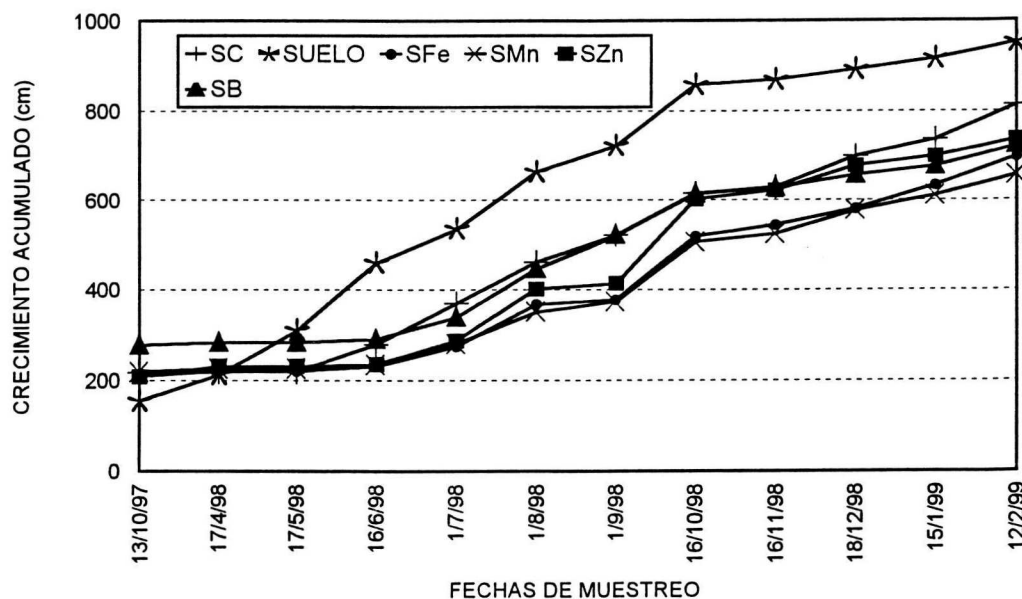


Figura 2. Comportamiento del crecimiento acumulado (cm) de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth) sometida a deficiencias de micronutrientes

4.2. Número de brotes

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Cuadro A2), a pesar de que tuvo una $R^2 = 0.539$ y C.V. = 38.43 %. El tratamiento que presentó el mayor número de brotes fue SC, seguido de SMg, suelo, SB, SMn y SZn, constituyendo estadísticamente el primer grupo de tratamientos con más brotes (Cuadro 3). Estos tratamientos fueron seguidos de un segundo grupo de tratamientos: SK, SFe, y SCa, con un promedio de 5.8 brotes por planta, siendo iguales estadísticamente. Los tratamientos que presentaron menor número de brotes fueron SP y SN, aunque fueron similares estadísticamente al segundo grupo de tratamientos (Figura 3). La deficiencia de N, P, K, Ca y Fe, redujeron la emisión de brotes en pitahaya. Delgado (1997), no reportó diferencias estadísticas en esta variable, debido a la duración de su experimento en relación a la cantidad de reservas nutrimentales que tenían las plantas. Baca (1990) reportó una disminución en el número de brotes en nopal ante deficiencias de N y P.

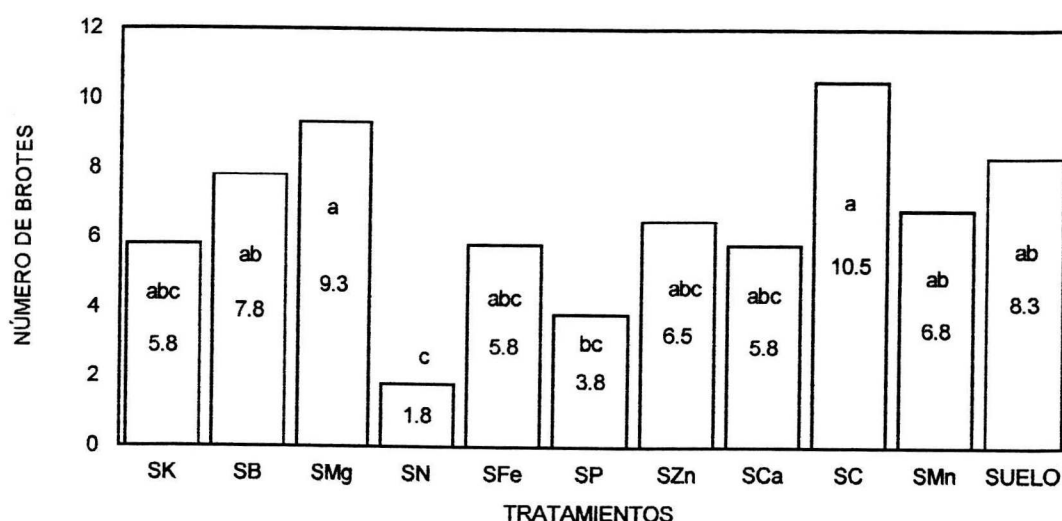


Figura 3. Número de brotes en plantas de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth) sometida a deficiencias de nutrimentos.

4.3. Síntomas de deficiencia

La deficiencia de N produjo una clorosis general de la planta, más marcada en tejido adulto que en el joven, debido a la movilidad del N. Desde el 13 de Octubre de 1997, las plantas establecidas en SN, ya presentaban una clorosis; la cual se fue haciendo más notoria conforme avanzaba el tiempo. En el tejido de mayor edad se presentó una capa corchosa que se empezó a manifestar en las orillas de las costillas y de ahí hacia el centro del tallo. Los brotes que emitieron las plantas fueron cloróticos y de poco crecimiento. Esto se debe a que el N participa en la síntesis de clorofila, por lo que al no estar presente se tiene una menor cantidad de este pigmento en la planta lo que se manifiesta como clorosis en el tejido vegetal. Cruz *et al.* (1990) y Baca (1990) observaron una clorosis en nopal debida a la deficiencia de N. Ante una deficiencia de P se presentó una clorosis en el tejido, menos consistente que la clorosis debida a deficiencias de N. Esta clorosis fue más marcada en la planta madre que en los brotes, debido a que esta tenía tejido de mayor edad que los brotes y una deficiencia de este elemento se acentúa más en tejidos viejos. También apareció una capa corchosa en los tallos pero fue menos abundante que la que se produjo por deficiencias de N. Baca (1990) detectó la aparición de tejido corchoso en nopal ante la deficiencia de P. Esta corchosis en plantas de pitahaya comenzó a manifestarse de las orillas de las costillas hacia el centro del tallo, los tallos emitidos fueron más delgados que en el resto de los tratamientos. Ante deficiencias de calcio se observó clorosis en la parte terminal de los brotes. Las plantas alimentadas con solución completa presentaron un color verde intenso. En el resto de los tratamientos no se apreciaron síntomas de deficiencia.

Cuadro 3. Comparación de medias Tukey ($\alpha \leq 0.05$) para las variables número de brotes (NB), número de yemas florales (NYF1 y NYF2), uso consuntivo (ml) (UC1, UC2 y UC3), peso fresco (g) parte aérea (PFPA), peso seco (g) parte aérea (PSPA), peso fresco (g) de raíz (PFR) y peso seco (g) de raíz (PSR).

VARIA- BLE	TRATAMIENTOS											DMS
	SK	SB	SMg	SN	SFe	SP	SZn	SCa	SC	SMn	SUELO	
NB	5.833 abc	7.833 ab	9.333 a	1.833 c	5.833 abc	3.833 bc	6.500 abc	5.833 abc	10.500 a	6.833 ab	8.333 ab	4.931
NYF1	3.333 a	0.000 a	5.333 a	0.000 a	6.167 a	0.000 a	3.500 a	1.167 a	3.000 a	6.333 a	0.667 a	8.2715
NYF2	6.833 a	0.000 a	7.500 a	0.000 a	6.000 a	0.000 a	7.667 a	1.167 a	4.167 a	7.500 a	0.667 a	10.857
UC1	986.2 abc	1630.5 a	1046.2abc	441.3 c	972.5 abc	558.7 bc	1253.7 ab	960.0 abc	1401.2 a	1076.2abc	-	712.95
UC2	760.0 ab	1173.7 ab	1078.7 ab	607.5 b	981.2 ab	252.0 b	1208.7 ab	893.7 ab	1330.0 a	1105.0 ab	-	698.00
UC3	1156.2 b	2708.8 a	1255.0 b	831.2 b	1416.2 b	1218.7 b	1027.5 b	1195.0 b	1253.7 b	1116.2 b	-	758.46
PFPA	382.5 def	946.6 bc	1091.1 ab	132.3 f	852.3 bc	349.9 ef	1030.1 ab	580.4 cde	1127.1 ab	780.6 bcd	1414.7 a	426.59
PSPA	62.43 cde	154.45 b	160.18 ab	15.77 e	125.60 bc	51.20 de	155.72 b	79.10 cde	172.97 ab	116.12bcd	224.43 a	68.254
PFR	42.475 cd	62.350 bc	57.625 c	25.125 d	52.125 cd	34.250 cd	61.950 bc	49.550 cd	87.100 ab	47.300 cd	95.575 a	29.136
PSR	8.725 cd	11.350bcd	10.700bcd	6.225 d	8.900 cd	6.975 cd	12.175 bc	9.850 cd	15.275 b	8.950 cd	21.200 a	5.3308

Promedios con la misma letra en sentido horizontal no presentan diferencias estadísticas.

4.4. Número de yemas florales

Se hizo dos evaluaciones de esta variable. No se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos debido a los altos coeficientes de variación (158.44 y 147.83 %, respectivamente) (Cuadro A2). Aunque no se tuvo diferencias estadísticas, las deficiencias de N, P y B impidieron la formación de yemas florales (Cuadro 3), por lo que, a parte de los macronutrientes, se tiene que considerar el B para aplicarlo en plantaciones comerciales.

4.5. Desarrollo de yemas florales

Algunos tratamientos produjeron crecimiento de yemas florales, tal fue el caso de SMn, SFe, SZn, SC y suelo, pero no todas llegaron a antesis ya que algunas murieron antes. El desarrollo de las yemas inició el 15 de junio de 1998; para el 25 de junio habían muerto casi la totalidad de las yemas florales, sólo llegaron a antesis SMn, SFe, SZn y SC probablemente porque fue el primer ensayo de producción de las plantas, o bien porque la deficiencia de estos nutrientes no permitió que las yemas llegaran a antesis. Ante una deficiencia de Mg el botón floral desarrolló hasta 5.9 cm de longitud y después murió, al hacer un corte de dicho botón se observó una deformación del pistilo. La antesis de los tratamientos mencionados anteriormente ocurrió el 1 de julio de 1998.

4.6. Caracterización de frutos

Para que existiera desarrollo de frutos, llegada la antesis, se efectuó autopolinización manual (porque no se tenía agentes polinizantes) de las flores a las 6:00 hr el 1 de julio de 1998. Los frutos se cosecharon el 12 de agosto de 1998, observándose que en el tratamiento SC se presentó el mayor promedio de peso, diámetro y longitud, seguido de SFe, SMn y SZn (Cuadro 4).

Cuadro 4. Características de frutos de plantas sometidas a deficiencias de micronutrientes.

TRAT	PESO FRUTO (g)	DIÁMETRO (cm)	LONGITUD (cm)	No. DE BRÁCTEAS	°BRIX	GROSOR DE CÁSCARA (mm)	PESO DE PULPA (g)	PESO DE CÁSCARA (g)
SC	210.2	6.21	10.41	14	7.5	4.2	99.3	110.9
SFe	162.1	5.45	9.52	13	6.5	2.5	106.3	55.8
SMn	145.8	5.31	8.40	12	8.5	3.7	101.9	43.9
SZn	134.0	5.01	8.11	14	6.5	2.6	87.7	46.3

En cuanto a longitud del fruto no se presentó diferencia con lo reportado en la literatura para esta característica, pero sí existió una disminución considerable en el peso del fruto ya que se reportan pesos de 350 g por fruto, así como en la acumulación de grados brix, reportan 10.6°Brix para pitahaya. Se observó que el % de pulpa disminuyó con lo reportado en la literatura (70% pulpa y 30% cáscara) ya que para SC se tuvo 47.2% pulpa y 52.8% cáscara; para SFe 65.5% pulpa y 34.5% cáscara; SMn presentó 69.9% pulpa y 30.1% cáscara; en SZn se tuvo 65.4% pulpa y 34.6% cáscara lo cual indicó que desde el punto de vista comercial (si el interés es pulpa), la solución completa utilizada

no es la adecuada ya que produce frutos con cáscara muy gruesa. En cuanto al número de brácteas por fruto no se presentaron diferencias considerables, pero no fue así para la longitud, ancho y grosor de las brácteas (Cuadro 5). No se cuantificó la intensidad luminosa, el invernadero se encaló, tratando de proporcionar la misma intensidad luminosa a las plantas.

Cuadro 5. Características de brácteas de frutos provenientes de plantas sometidas a deficiencias de micronutrientes.

TRATAMIENTO	LONGITUD (cm)	ANCHO DE BASE (cm)	GROSOR (mm)
SC	3.76	3.15	5.08
Sfe	2.90	2.29	1.78
SMn	2.88	2.32	2.32
SZn	3.42	1.91	2.24

Los frutos de SC presentaron brácteas más largas, anchas en la base y más gruesas que el resto de los frutos (Cuadro 5), lo cual explica su bajo porcentaje de pulpa.

4.7. Uso consuntivo

Se encontró diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) entre tratamientos en las tres evaluaciones (Cuadro A2). Los coeficientes de determinación para las tres evaluaciones fluctuaron entre 0.577 y 0.888, los coeficientes de variación fueron inferiores al 30 %. Las medias más altas fueron las de los tratamientos SC y SB seguidos de SZn, SMn, SMg, SFe, SCa y SK (Cuadro 3). El menor consumo de agua lo presentaron SP y SN

esto se relaciona con la cantidad de biomasa que demandaba agua; es decir, a mayor cantidad de biomasa mayor demanda de agua; y a menor cantidad de biomasa menor demanda de agua. Al tener estos dos últimos tratamientos la menor acumulación de biomasa presentaron en consecuencia el menor consumo de solución nutritiva.

4.8. Acumulación de materia fresca parte aérea

Se encontró diferencias estadísticas significativas ($\alpha = 0.05$) entre tratamientos (Cuadro A2). Se tuvo una $R^2 = 0.871$ y un coeficiente de variación de 21.97%. La mayor acumulación de materia fresca correspondió al tratamiento suelo, seguido de SC, SMg, SZn, siendo similares estadísticamente (Cuadro 3). Se presentó una disminución significativa ($\alpha = 0.05$) con respecto a SC en los tratamientos SCa, SK SP y SN en orden de mayor a menor acumulación de materia fresca. Tewolde y Fernández (1997) reportaron disminución de biomasa en hojas y tallo de algodón ante deficiencias de N y P. Nobel et al. (1987) reportaron que el incremento de N ocasiona un incremento en biomasa de cactus y una disminución de dicho nutrimento provoca una menor acumulación de biomasa. En general una baja concentración en el tejido de pitahaya de macronutrientes a excepción del Mg redujeron más la acumulación de materia fresca que la concentración de micronutrientes a excepción del Zn. Al comparar la acumulación de materia fresca de los tratamientos suelo y SC con el resto de los tratamientos, se observó una disminución significativa en la acumulación de materia fresca ante deficiencias de macronutrientes N, P, K y Ca.

4.9. Acumulación de materia seca parte aérea

Se presentó un comportamiento similar entre la acumulación de materia fresca y la acumulación de materia seca de la parte aérea. Se encontraron diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) entre tratamientos, el coeficiente de determinación explicó en un 87% la acumulación de biomasa en los diferentes tratamientos, el coeficiente de variación fue de 23.17% (Cuadro A2). Los tratamientos que acumularon mayor cantidad de materia seca en orden de mayor a menor cantidad fueron suelo, SC y SMg los cuales no difirieron estadísticamente entre sí, los tratamientos que presentaron una menor acumulación de materia seca en orden decreciente fueron SZn, SB, SFe, SMn, resultando similares estadísticamente a SC, los tratamientos SCa, SK, SP y SN difirieron significativamente de suelo y de SC (Figura 4). En los tratamientos SFe y SK se manifestó una disminución similar en la acumulación de materia seca.

Ante la falta de N, P, K y Ca se presentó una disminución significativa en la acumulación de materia seca, y no es que un nutrimento sea más importante que otro, sino que los cuatro son igual de importantes y esto se confirma ya que desde el punto de vista estadístico, los valores promedio obtenidos en cada uno de los tratamientos no difieren entre sí.

El hecho de que ante la no aplicación de Mg, la pitahaya no presentó una disminución en la acumulación de materia seca, se debe a que esta especie es de origen xerófito y este grupo de plantas demanda poco Mg para su desarrollo.

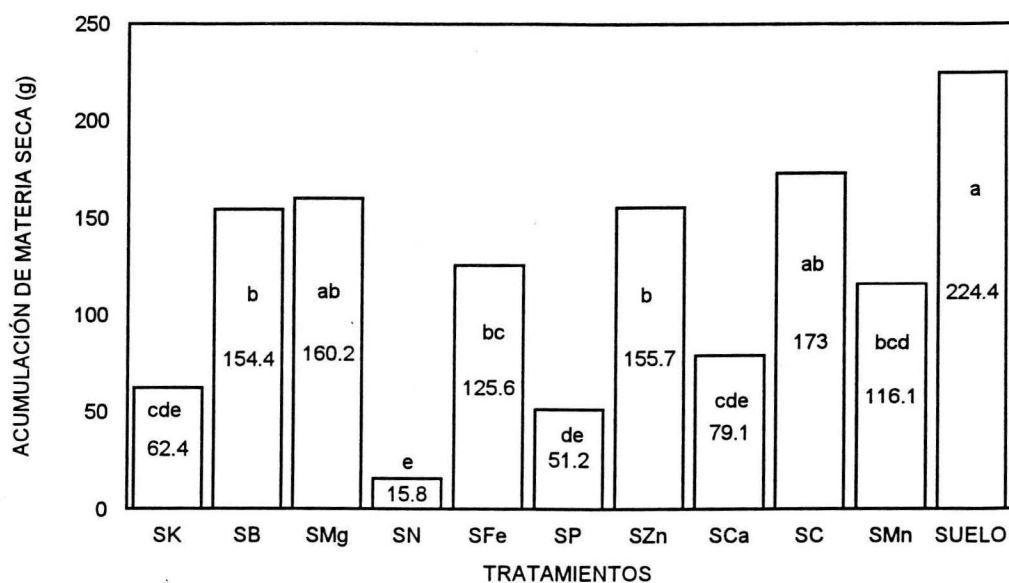


Figura 4. Acumulación de materia seca (g) de la parte aérea en pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth) sometida a deficiencias de nutrimentos.

4.10. Acumulación de materia fresca de raíz

Se encontraron diferencias estadísticas significativas ($\alpha = 0.05$) entre tratamientos; se tuvo una $R^2 = 0.807$ y un $CV = 21.18 \%$ (Cuadro A2). El tratamiento que acumuló mayor peso fresco en el sistema de raíces fue suelo y SC los cuales fueron estadísticamente similares, todos los demás tratamientos difirieron significativamente ($\alpha = 0.05$) del tratamiento suelo no así de SC, los tratamientos que fueron estadísticamente iguales a SC fueron SB y SZn, los tratamientos que presentaron la menor acumulación de materia fresca de raíz en orden decreciente fueron SMg, SFe, SCa, SMn, SK, SP y SN (Cuadro 3).

4.11. Acumulación de materia seca de raíz

Se presentaron diferencias estadísticas significativas ($\alpha = 0.05$) entre algunos tratamientos, el coeficiente de determinación explicó el 83.5 % de la acumulación de biomasa en sistema radical ($R^2 = 0.835$), la variabilidad con respecto al promedio presentó un valor de 19.82 % (CV = 19.82). El tratamiento que acumuló mayor materia seca en la raíz fue suelo, el cual difirió significativamente del resto de los tratamientos, seguido de los tratamientos SC, SZn, SB y SMg que no difirieron estadísticamente entre sí, seguidos de otro grupo de tratamientos SCa, SMn, SFe, SK, SP y SN que fueron diferentes estadísticamente a SC, estos tratamientos se presentan en orden de mayor a menor acumulación de biomasa de raíz (Figura 5). En la acumulación de materia seca de raíz se observó que SMg a pesar de no ser diferente significativamente de SC presentó una disminución en la acumulación de esta variable, no así en la acumulación de biomasa en la parte aérea, diversos autores reportan la disminución del crecimiento de la raíz ante la deficiencia de nutrimentos.

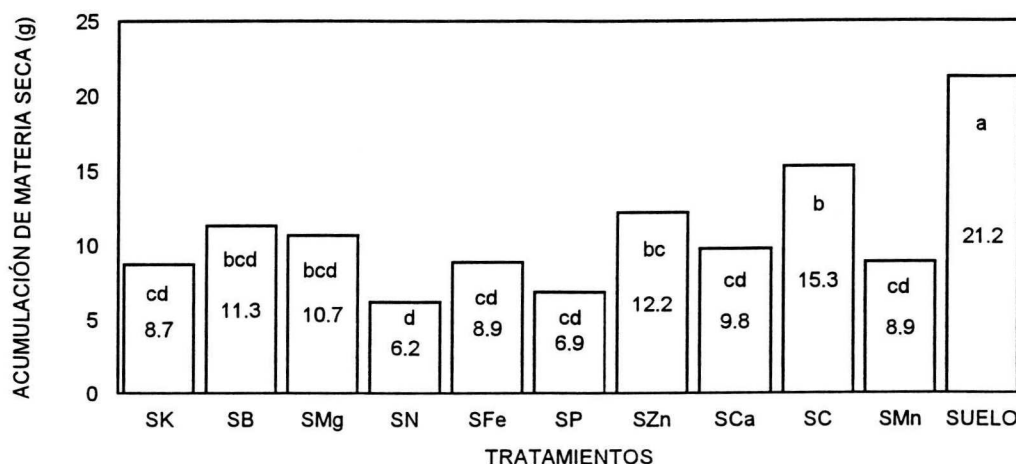


Figura 5. Acumulación de materia seca (g) de raíz en pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth) sometida a deficiencias de nutrimentos.

4.12. Contenido de nutrimentos

Se encontraron diferencias estadísticas significativas ($\alpha = 0.05$) entre algunos tratamientos (Cuadro A3). Los coeficientes de determinación (R^2) fueron aceptables, ya que fluctuaron en valores de 0.631 a 0.897. Además, los coeficientes de variación fueron bajos (34.7 – 11.93).

4.12.1. Análisis de macronutrimentos

4.12.1.1. Nitrógeno

El tratamiento que presentó el contenido más alto de N fue SC, con 1.53 %. Delgado (1997) reportó 3.07 %, lo cual se pudo deber a la época de muestreo, ya que en el primer trabajo se muestreó en Octubre de 1996 y en la presente investigación se muestreó en el mes de Febrero de 1999, Nobel (1998) reportó que en promedio el contenido de N en agaves es de 1.15 % y de 1.67 % para cactáceas y de 2 % en las plantas cultivadas (Cuadro A4). La concentración de N que se presentó en SC fue similar a la reportada para cactáceas por Nobel. SC fue seguido de SFe y SMg, estos tres tratamientos fueron iguales estadísticamente, los tratamientos que fueron diferentes significativamente de SC fueron SZn, SK, SB, SMn, SP, Sca y suelo (Cuadro 6 y Figura 6).

El tratamiento que presentó menor concentración de N fue SN (Figura 6). El tratamiento suelo presentó un bajo contenido de N debido a que desde que se estableció (febrero de

1998) hasta que se realizó el muestreo (febrero de 1999) no se realizó ninguna aportación de fertilizantes, por lo que se deduce que la planta ya había consumido y utilizado el N disponible en el suelo.

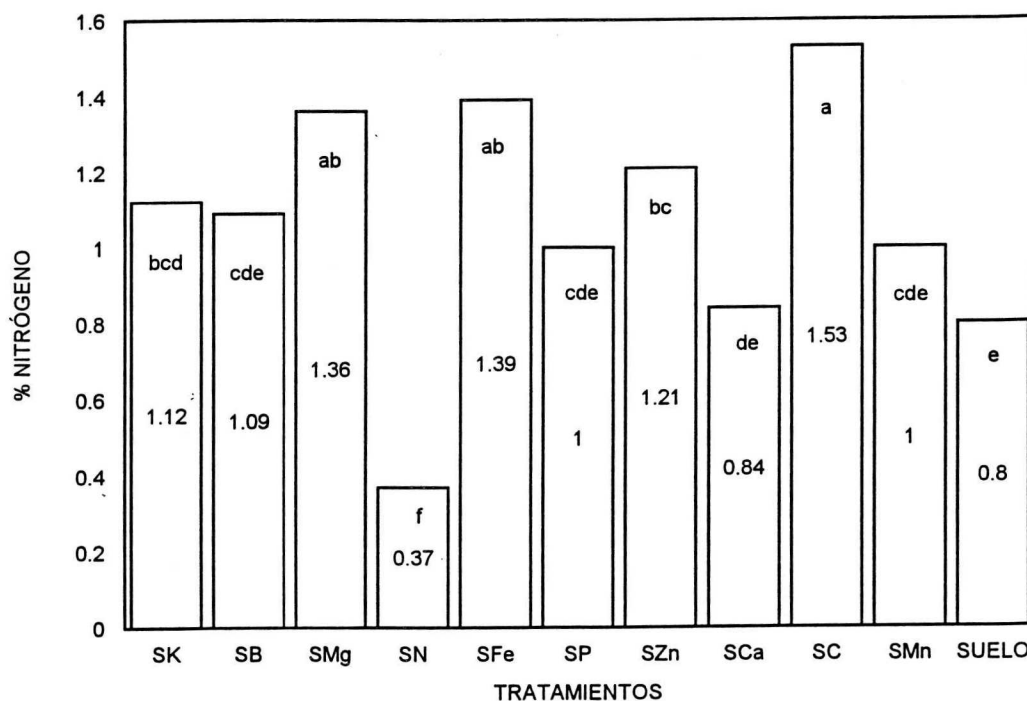


Figura 6. Concentración de nitrógeno (%) en tallos de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth) sometida a deficiencias de nutrimentos.

4.12.1.2. Fósforo

En el contenido de P en los diferentes tratamientos, se encontraron diferencias estadísticas entre ellos (Cuadro 6). El tratamiento que presentó la mayor concentración de P fue SN superando incluso a SC. Los efectos de los tratamientos restantes fueron estadísticamente iguales entre sí, la menor concentración de P en el tejido se presentó en el tratamiento SP (Figura 7).

Lo anterior probablemente se debió a la poca materia seca que se logró acumular en este tratamiento (Cuadro 3), lo cual originó una concentración relativamente elevada de P en el tejido, efecto conocido como de dilución. Los valores reportados por Delgado (1997) para SC, SB, SMg, SFe, Sca y SMn son similares; en 1997 se presentaron menores concentraciones de P en SZn, SK y SN en comparación con 1999.

La concentración de P que se presentó en pitahaya fue ligeramente superior a la reportada por Nobel (1988) para cactáceas, y similar al contenido de P en plantas cultivadas (Cuadro A4).

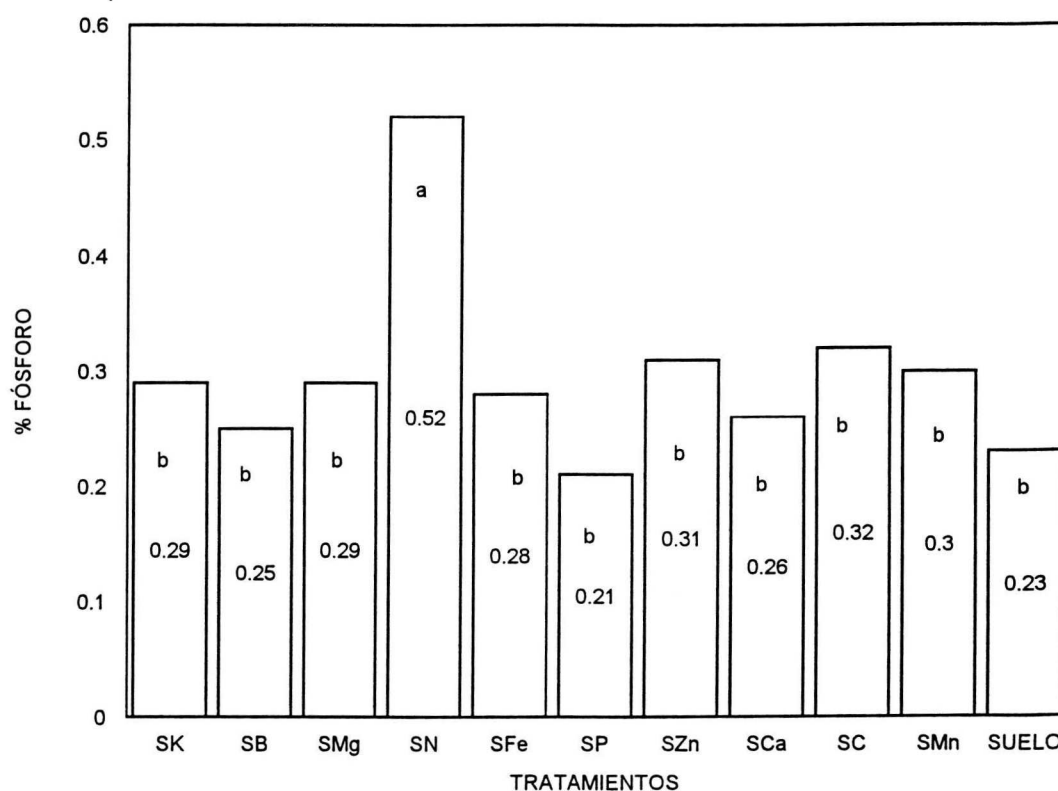


Figura 7. Concentración de fósforo (%) en tallos de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth) sometida a deficiencias de nutrientes.

Cuadro 6. Comparación de medias Tukey ($\alpha \leq 0.05$) para los promedios de contenido nutrimental en los diferentes tratamientos.

TRAT.	% EN BASE A 100 g DE PESO SECO					Ppm EN BASE A 100 g DE PESO SECO				
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B
SK	1.12 bcd	0.29 b	2.14 b	1.52 a	1.18 a	65.4 ab	113.41 bc	66.57 abc	53.96 a	65.00 a
SB	1.09 cde	0.25 b	2.23 b	0.76 d	0.82 b	58.55 abc	62.12 bc	43.84 de	44.63 abc	20.00 f
SMg	1.36 ab	0.29 b	3.94 a	0.71 d	0.82 b	45.89 bc	46.92 c	51.22 cde	36.57 bc	26.25 ef
SN	0.37 f	0.52 a	4.35 a	1.26 ab	1.22 a	53.49 abc	66.01 bc	77.99 a	40.21 bc	30.00 ef
SFe	1.39 ab	0.28 b	3.08 ab	0.66 d	0.83 b	37.10 c	88.41 bc	55.89 bcde	37.89 bc	27.50 ef
SP	1.00 cde	0.21 b	2.50 b	1.19 abc	0.96 ab	71.18 a	102.92 bc	63.39 abc	38.87 bc	58.75 ab
SZn	1.21 bc	0.31 b	3.38 ab	0.77 d	0.92 ab	55.72 abc	77.66 bc	59.15 bcd	48.63 ab	46.25 bcd
SCa	0.84 de	0.26 b	3.06 ab	0.68 d	1.25 a	47.87 bc	124.68 b	57.34 bcde	45.20 abc	36.25 de
SC	1.53 a	0.32 b	3.01 ab	0.82 cd	0.83 b	71.64 a	67.13 bc	72.28 ab	55.14 a	51.25 abc
SMn	1.00 cde	0.30 b	3.15 ab	0.90 bcd	0.76 b	53.73 abc	43.26 c	58.03 bcde	36.11 c	37.50 cde
SUELO	0.80 e	0.23 b	3.25 ab	1.23 abc	0.67 b	51.00 abc	206.48 a	39.93 e	20.98 d	48.75 bcd
DMS	0.3125	0.1129	1.3485	0.3936	0.3388	23.304	77.609	18.504	12.469	14.363

Promedios con la misma letra en sentido vertical no presentan diferencias estadísticas.

4.12.1.3. Potasio

Se observó que los niveles de K en el tejido fueron superiores a los contenidos de cualquier otro elemento, esto coincide con lo reportado por Delgado (1997). Los tratamientos que presentaron la mayor concentración de K fueron SN, SMg y SZn que aunque fueron estadísticamente iguales a SC tuvieron mayores concentraciones de K que este tratamiento (Cuadro 6), la menor concentración de este elemento se presentó en SK (Figura 8). Los resultados reportados por Delgado (1997), en su mayoría son similares (Cuadro A4) a los obtenidos en la presente investigación. Se difiere principalmente en la concentración de K que se presentó en SN, el cual fue 186 % superior a lo obtenido en 1997, esto se debió al efecto de dilución, ya que en SN se presentó una baja acumulación de biomasa (Figura 4). La concentración de K en el tejido de agaves, otras cactáceas y en plantas cultivadas reportadas por Nobel (1998) es inferior a la concentración obtenida en pitahaya (Cuadro A4).

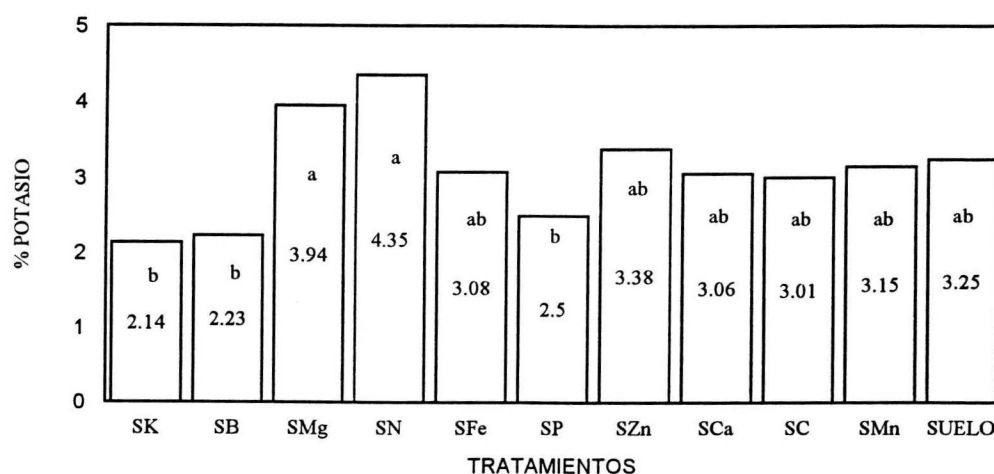


Figura 8. Concentración de potasio (%) en tallos de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth) sometida a deficiencias de nutrimentos.

4.12.1.4. Calcio

Las mayores concentraciones de Ca se presentaron en los tratamientos SK, SN y SP, difirieron significativamente ($\alpha = 0.05$) de la concentración que se presentó en SC (Figura 9). La concentración de Ca fue estadísticamente similar en los tratamientos SB, SFe, SZn, Sca, SC y SMn; el menor valor se presentó en SFe.

Delgado (1997) reportó menores concentraciones de Ca, el comportamiento que se presentó en la concentración de Ca en los tratamientos SK, SN y SP se debió a la baja producción de materia seca de estos tratamientos (Cuadro 3), por lo que en este caso se presentó el efecto de dilución. La concentración de Ca en pitahaya es menor a la reportada por Nobel (1988) para agaves, cactáceas y plantas cultivadas (Cuadro A4).

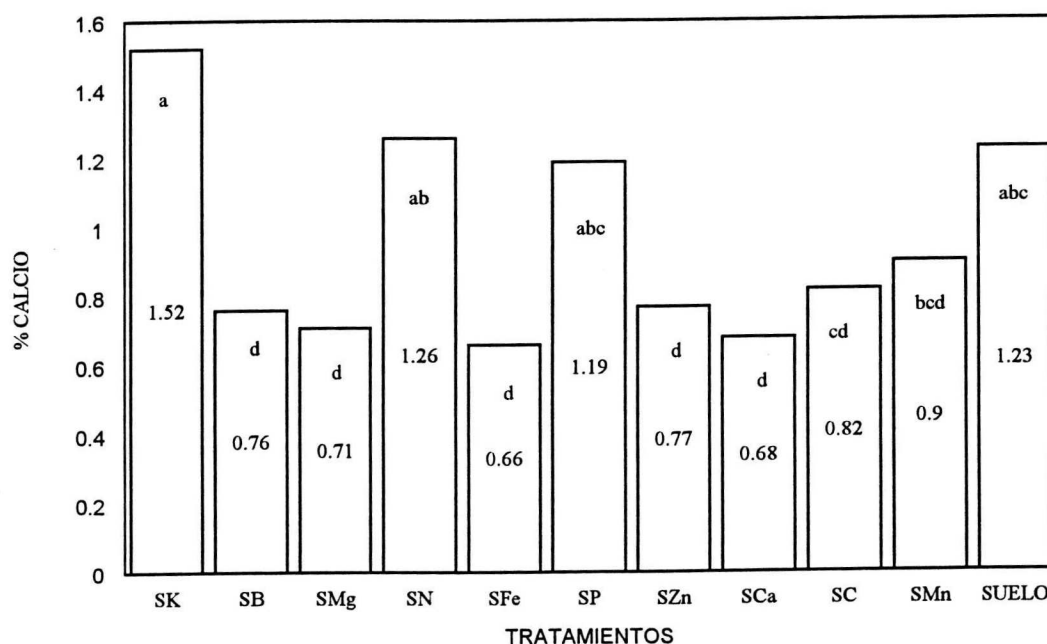


Figura 9. Concentración de calcio (%) en tallos de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth) sometida a deficiencias de nutrimentos.

4.12.1. 5. Magnesio

Se presentó una mayor concentración de Mg, en los tratamientos SCa, SN y SK (Figura 10), siendo significativamente diferentes con respecto a SC (Cuadro 6). Este comportamiento puede deberse al efecto de dilución de los nutrientes en el tejido (Cuadro 3).

Las concentraciones que reportó Delgado (1997) son más bajas que las obtenidas en la presente investigación, esto probablemente se debe a las diferentes épocas de muestreo (mencionadas en 4.12.1.1). Las concentraciones de Mg en pitahaya son similares a las reportadas por Nobel (1988) para agaves e inferior a la que se presenta en otras cactáceas y plantas cultivadas (Cuadro A4).

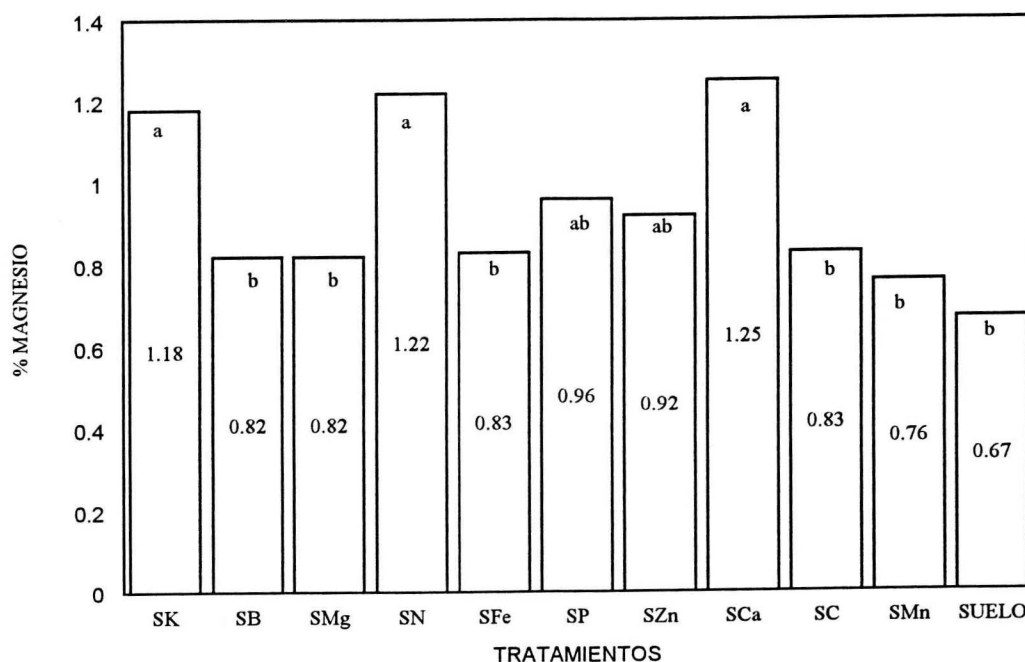


Figura 10. Concentración de magnesio (%) en tallos de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth) sometida a deficiencias de nutrimentos.

4.12.2. Micronutrientes

4.12.2.1. Hierro

Los mayores contenidos de Fe se presentaron en los tratamientos SC, SP, SK, SB, SZn, SMn, SN y suelo, los cuales estadísticamente no difirieron entre sí. Los menores promedios se presentaron en los tratamientos SCa, SMg y SFe (Figura 11), los cuales fueron iguales estadísticamente.

Las concentraciones de Fe reportadas por Delgado (1997) son mayores a las obtenidas en esta evaluación; probablemente porque la planta fue consumiendo paulatinamente sus reservas de este micronutriente, o bien a la diferente época de muestreo. Nobel (1988) reportó concentraciones similares de Fe para agaves y superiores para otras cactáceas y plantas cultivadas (Cuadro A4).

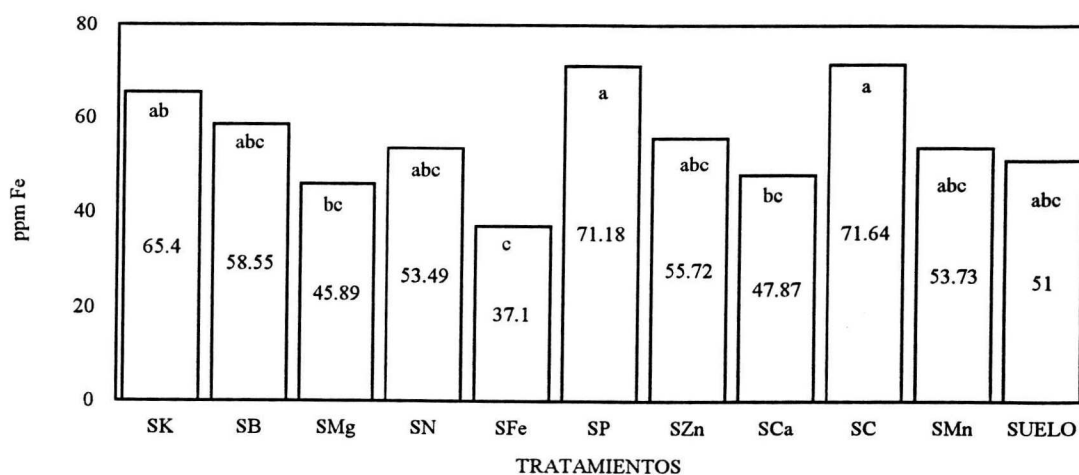


Figura 11. Concentración de hierro (ppm) en tallos de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth) sometida a deficiencias de nutrientes.

4.12.2.2. Manganeso

En la comparación de medias Tukey (Cuadro 6), se observó que el mayor contenido de Mn en el tejido se presentó en las plantas establecidas en suelo, este tratamiento fue significativamente diferente al resto de tratamientos. Los tratamientos SCa, SK, SP, SZn, SB, SN, SFe y SC no fueron significativamente diferentes entre sí. La menor concentración de Mn se presentó en los tratamientos SMg y SMn, los cuales fueron estadísticamente iguales (Figura 12).

Delgado (1997) reportó concentraciones menores de este micronutriente, a las obtenidas en esta evaluación; esta variación pudo deberse a las diferentes épocas en las que se realizaron las determinaciones. La concentración reportada por Nobel (1988) para agaves fue más baja que en pitahaya y superior para otras cactáceas y plantas cultivadas (Cuadro A4).

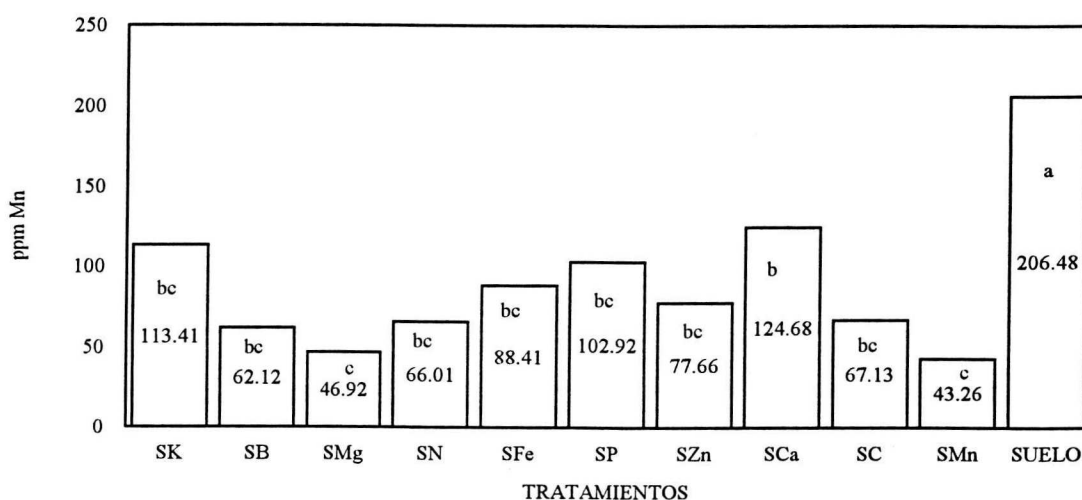


Figura 12. Concentración de manganeso (ppm) en tallos de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth) sometida a deficiencias de nutrimentos.

4.12.2.3. Zinc

En los tratamientos SC, SN, SK y SP se presentó la mayor concentración de Zn, en estos últimos tres tratamientos se presentó el efecto de dilución (Cuadro 3), además no difirieron significativamente entre sí; los tratamientos restantes no difirieron significativamente entre sí (Figura 13).

La concentración de Zn obtenida en esta evaluación en cada tratamiento, es superior a la obtenida por Delgado (1997). Así mismo, son muy superiores a los valores reportados por Nobel (1988) para agaves, otras cactáceas y plantas cultivadas (Cuadro A4).

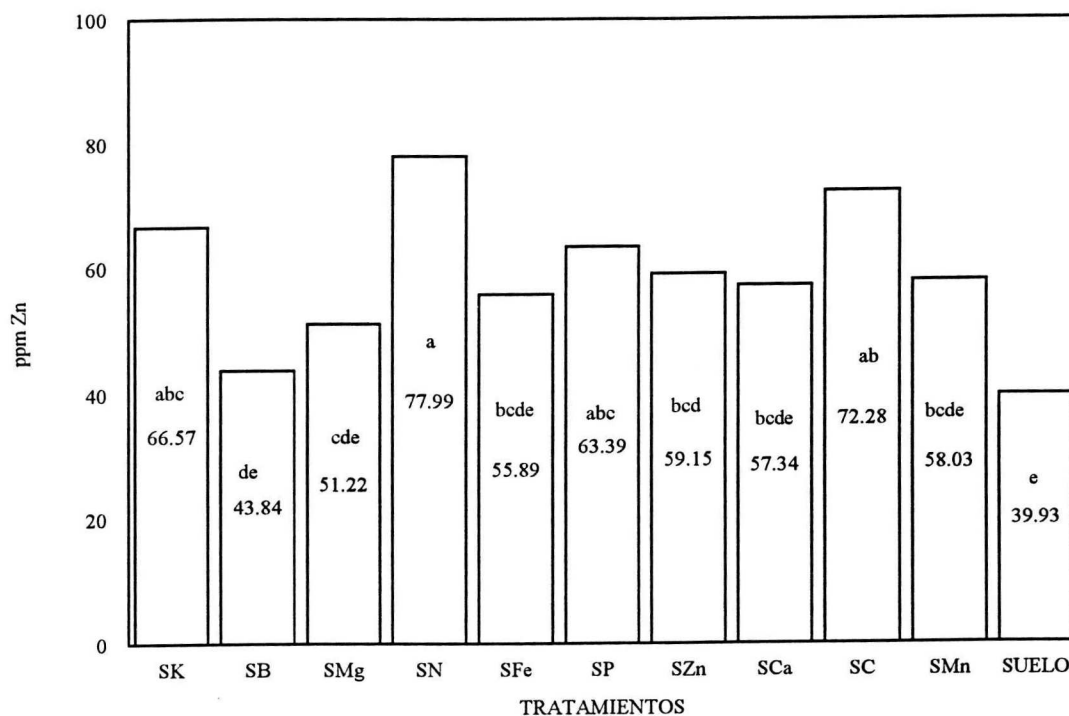


Figura 13. Concentración de zinc (ppm) en tallos de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth) sometida a deficiencias de nutrientes.

4.12.2.4. Cobre

Se presentaron diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) entre tratamientos. SC presentó la mayor concentración de cobre (Cuadro 6), seguido de SK, SZn, SCa, SB los cuales fueron estadísticamente similares a SC (Figura 14). Otro grupo de tratamientos lo constituyeron SN, SP, SFe, SMg y SMn, siendo estadísticamente similares; las plantas que fueron establecidas en suelo, presentaron la menor concentración de Cu; probablemente porque este nutrimento no estuvo en cantidad suficiente en el suelo.

Nobel (1988), reportó valores más bajos de Cu para agaves, cactáceas y plantas cultivadas (Cuadro A4) que los obtenidos para pitahaya en esta evaluación.

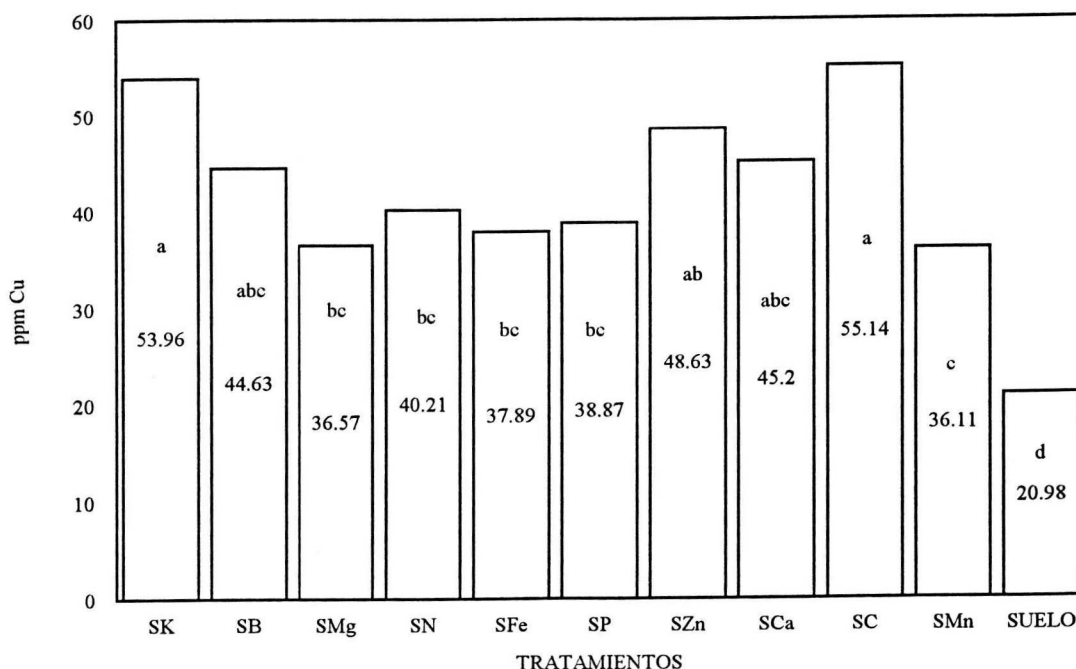


Figura 14. Concentración de cobre (ppm) en tallos de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth) sometida a deficiencias de nutrimentos.

4.12.2.5. Boro

Se presentó una mayor concentración de B en los tratamientos SK y SP superior a SC aunque estadísticamente fueron similares (Cuadro 6), difirieron significativamente de SC los tratamientos SZn, SMn, SCa, SN, SFe y SMg, el tratamiento SB presentó los menores valores de B (Figura 15).

Los resultados reportados por Delgado (1997), coinciden en la mayor parte con los obtenidos en esta evaluación, sólo se presentó un incremento en SK, SN y en SC (Cuadro A4).

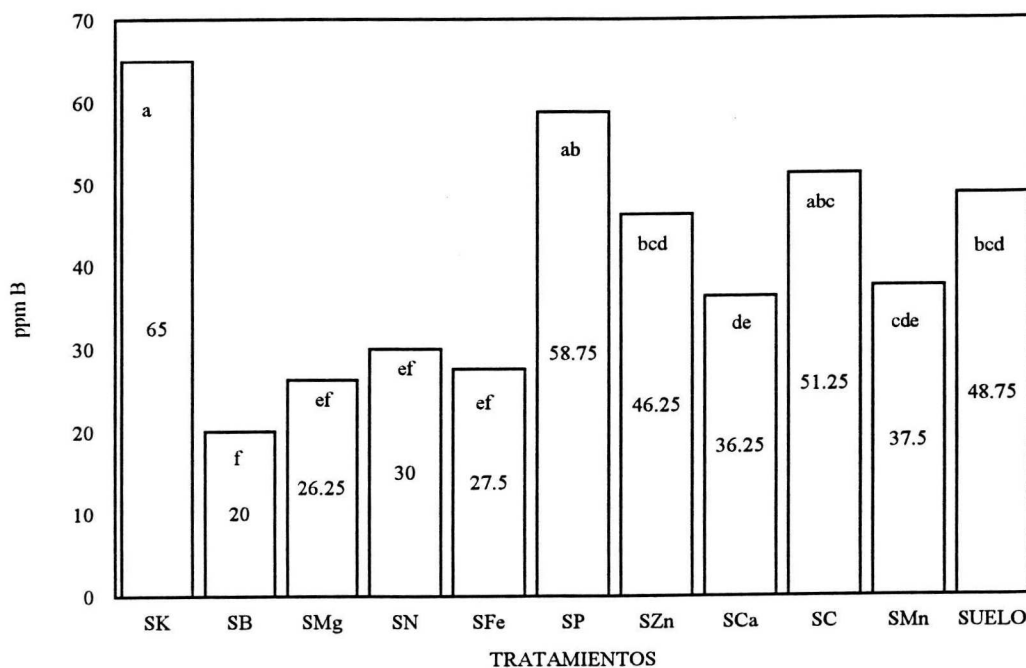


Figura 15. Concentración de boro (ppm) en tallos de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth) sometida a deficiencias de nutrimentos.

4.13. Extracción de nutrimentos

En lo que respecta a esta variable respuesta, al realizar el análisis de varianza ($\alpha = 0.05$) se presentaron diferencias significativas entre tratamientos; los coeficientes de determinación (R^2) explicaron del 77.5 al 88.1 % de la extracción de nutrimentos; el coeficiente de variación para estas determinaciones osciló entre 20.77 y 34.17 %, excepto el CV de SMn que fue de 61.10 % (Cuadro A5).

4.13.1. Extracción de macronutrimentos

4.13.1.1. Extracción de nitrógeno

En el tratamiento SC se presentó la mayor extracción de N, seguido de SMg, SZn y suelo, siendo estadísticamente similares (Cuadro 7), lo que indica que al no aplicar Mg y Zn no se ve disminuida la extracción de N. Los tratamientos restantes fueron significativamente diferentes a SC.

Se presentó una menor extracción de N en SFe, SB y SMn (Cuadro 7), dicha extracción disminuyó más en los tratamientos SK, SCa y SP, por lo que al estar deficiente cualquiera de estos tres macronutrimentos disminuye la extracción de N por parte de la pitahaya. Se presentó menor extracción de N en el tratamiento SN, pero no difirió estadísticamente de los tres tratamientos anteriores (Figura 16).

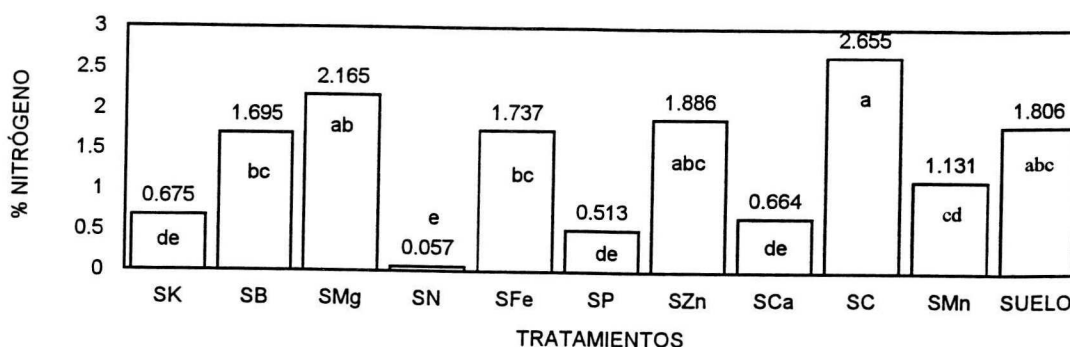


Figura 16. Extracción de nitrógeno (%) en pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth) sometida a deficiencias de nutrientes.

4.13.1.2. Extracción de fósforo

La mayor extracción de P se presentó en SC, seguido de suelo, SZn, SMg, SB y SFe, los cuales fueron estadísticamente similares entre sí (Cuadro 7), por lo que al estar deficientes el Zn, Mg, B y Fe no disminuyó la extracción de P. Existió una disminución en la extracción de P ante deficiencias de Mn, dicha extracción disminuyó más ante deficiencias de Ca, K y N (Figura 17) inclusive se presentó una menor extracción de P en el tratamiento SN que en SP, aunque no fueron estadísticamente diferentes.

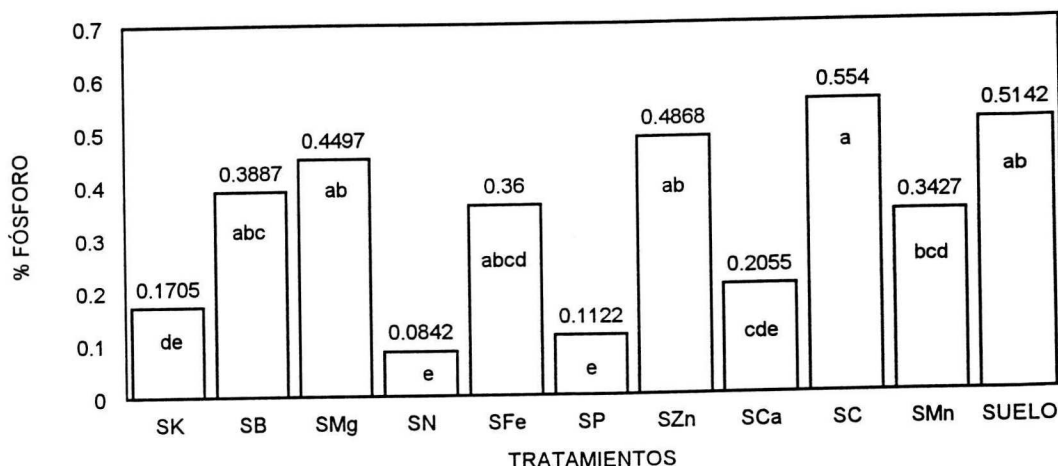


Figura 17. Extracción de fósforo (%) en pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth) sometida a deficiencias de nutrientes.

Cuadro 7. Comparación de medias Tukey ($\alpha \leq 0.05$) para los promedios de extracción nutrimental en los diferentes tratamientos.

TRAT.	% EXTRAÍDO EN BASE A BIOMASA					ppm EXTRAÍDAS EN BASE A BIOMASA				
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B
SK	0.675 de	0.1705 de	1.367 de	0.969 bc	0.710 cde	40.17 cd	72.13 b	48.24 bcde	33.928 def	41.376 cd
SB	1.695 bc	0.3887 abc	3.369 bcde	1.173 bc	1.268 ab	90.47 abc	93.60 b	67.10 bcd	68.924 abc	31.460 de
SMg	2.165 ab	0.4497 ab	6.227 ab	1.132 bc	1.291 ab	72.74 abc	76.32 b	79.28 bc	59.028 bcd	43.241 cd
SN	0.057 e	0.0842 e	0.714 e	0.209 d	0.198 e	8.56 d	10.81 b	12.57 e	6.169 f	4.885 e
SFe	1.737 bc	0.3600 abcd	3.901 bcd	0.833 bcd	1.052 abc	46.58 cd	110.37 b	70.92 bcd	47.474 bcde	34.274 de
SP	0.513 de	0.1122 e	1.280 d	0.605 cd	0.491 de	35.99 cd	52.62 b	32.41 de	20.150 ef	29.952 de
SZn	1.886 abc	0.4868 ab	5.371 abc	1.198 bc	1.422 a	87.94 abc	119.91 b	91.82 ab	75.694 ab	71.519 bc
SCa	0.664 de	0.2055 cde	2.419 cde	0.536 cd	0.995 abcd	37.73 cd	98.54 b	45.27 cde	35.697 def	28.624 d
SC	2.655 a	0.5540 a	5.284 abc	1.442 b	1.426 a	125.25 a	114.79 b	123.94 a	95.129 a	89.051 ab
SMn	1.131 cd	0.3427 bcb	3.542 bcde	1.023 bc	0.859 bcd	60.96 bcd	48.88 b	65.28 bcd	41.076 cde	42.843 cd
SUELO	1.806 abc	0.5142 ab	7.369 a	2.716 a	1.500 a	113.09 ab	455.88 a	89.20 ab	46.100 bcde	108.423 a
DMS	0.8719	0.2089	2.9587	0.7261	0.5206	54.946	171.24	43.749	31.734	31.521

Promedios con la misma letra en sentido vertical no presentan diferencias estadísticas.

4.13.1.3. Extracción de potasio

La mayor cantidad de K extraído se presentó en el tratamiento suelo debido a que el suelo empleado provino del bosque y por lo general, este tipo de suelos son ricos en K, este tratamiento fue similar estadísticamente a SMg, SZn y SC (Cuadro 7), por lo que se plantea que en pitahaya se presentó una relación antagónica entre K y Mg y entre K y Zn. Trocme y Gras (1979) y Westwood (1982) reportaron que en frutales se presentó una relación antagónica entre K y Mg. En el tratamiento sin Fe disminuyó la extracción de K; la cual disminuyó más en los tratamientos SMn, SB, SCa, SK, SP y SN en orden de mayor a menor extracción, siendo este grupo de tratamientos iguales estadísticamente (Figura 18).

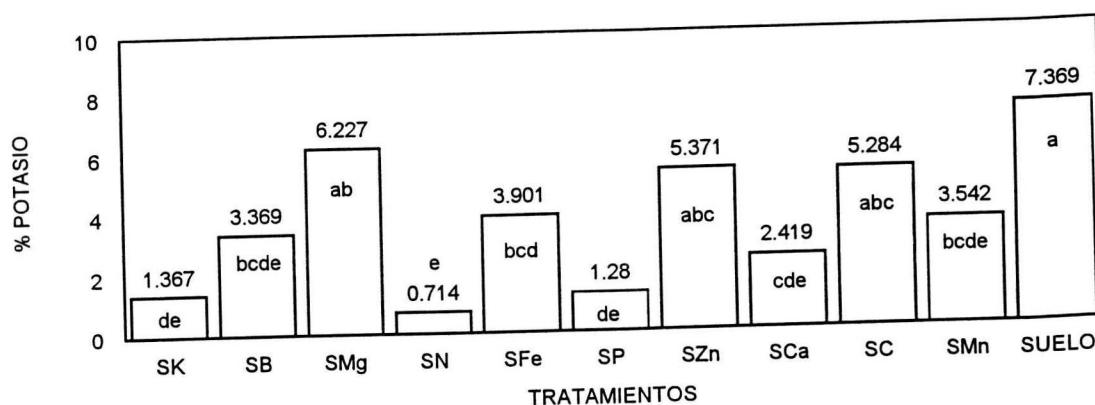


Figura 18. Extracción de potasio (%) en pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth) sometida a deficiencias de nutrimentos.

4.13.1.4. Extracción de calcio

La mayor extracción de Ca la presentaron las plantas establecidas en suelo, siendo significativamente diferentes a los demás tratamientos (Cuadro 7). Este tratamiento fue seguido de SC, SZn, SB, SMg, SMn y SK, entre este grupo de tratamientos no existieron

diferencias significativas, Kyrkby y Knight (1977) reportaron relaciones antagónicas entre Ca y Mg y entre Ca y K. Existió una menor absorción de Ca en los tratamientos SFe, SP, SCa y SN en orden de mayor a menor extracción, siendo este grupo similar estadísticamente, por lo que ante una disminución de P y N se presentó una disminución significativa en la extracción de Ca por parte de la pitahaya (Figura 19). Brian y Hammer (1998) reportaron una relación sinérgica entre N y Ca.

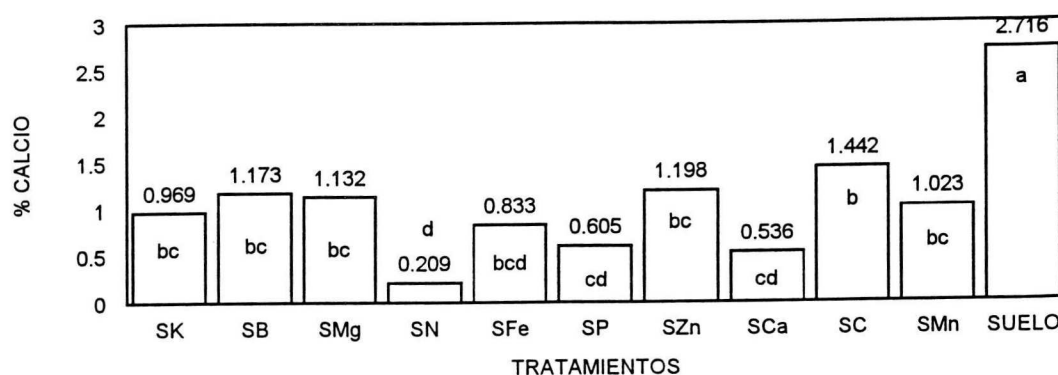


Figura 19. Extracción de calcio (%) en pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth) sometida a deficiencias de nutrientes.

4.13.1.5. Extracción de magnesio

En la comparación de medias Tukey (Cuadro 7), se observó un grupo de tratamientos en los que no se vio disminuida la extracción de Mg, este grupo estuvo constituido por suelo, SC, SZn, SMg, SB, SFe y SCa. En el tratamiento SMn se redujo la extracción de Mg; la cual fue más marcada en los tratamientos SK, SP y SN, siendo significativamente diferentes estos tres al resto de los tratamientos. Por lo que en pitahaya ante deficiencias de K, P y N disminuyó significativamente la extracción de Mg (Figura 20). Trocme y Grass (1979) y Westwood (1982) reportaron relaciones sinérgicas entre N/Mg y Mg/P.

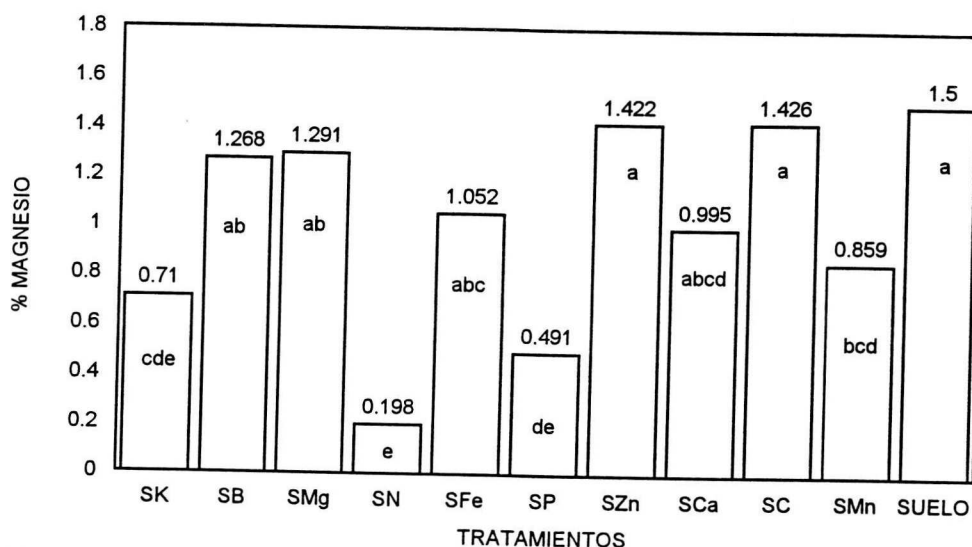


Figura 20. Extracción de magnesio (%) en pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth) sometida a deficiencias de nutrimentos.

4.13.2. Extracción de micronutrimentos

4.13.2.1. Extracción de hierro

En los tratamientos SC, suelo, SB, SZn y SMg se presentó la mayor extracción de hierro, formando el primer grupo estadístico; por lo que ante una baja concentración de Mg, Zn y B no se vió disminuía significativamente la extracción de hierro (Cuadro 7), Olsen (1983), reportó que hierro y Zn son antagónicos.

En los tratamientos SMn, SFe, SK, SCa, SP y SN disminuyó significativamente la extracción de Fe; lo que indicó que una deficiencia de estos nutrimentos disminuyeron la extracción de Fe (Figura 21). Westwood (1982) reportó una relación sinérgica entre K y Fe.

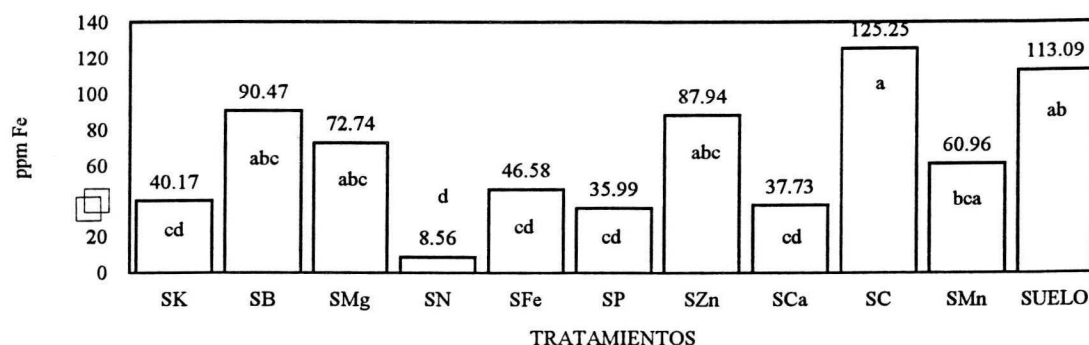


Figura 21. Extracción de hierro (ppm) en pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth) sometida a deficiencias de nutrientes.

4.13.2.2. Extracción de manganeso

En la comparación de medias Tukey (Cuadro 7), se observó que el tratamiento suelo presentó la mayor extracción de Mn, siendo significativamente diferente a los demás tratamientos. Ante una disminución tanto de macros como de micronutrientes no disminuyó significativamente la extracción de Mn por parte de la pitahaya, aunque en el tratamiento SN se presentó una menor extracción de Mn que en el tratamiento SMn (Figura 22).

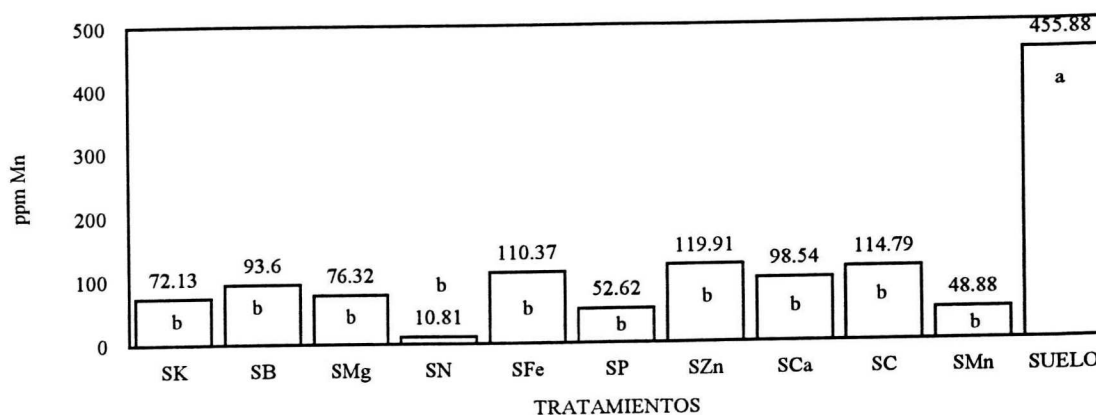


Figura 22. Extracción de manganeso (ppm) en pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth) sometida a deficiencias de nutrientes.

4.13.2.3. Extracción de zinc

En SC se presentó la mayor extracción de Zn, la cual no presentó diferencias significativas con la extracción en SZn y suelo (Cuadro 7). Existió una disminución significativa en la extracción de Zn en los tratamientos SMg, SFe, SB y SMn, los cuales fueron significativamente diferentes al primer grupo de tratamientos. Se presentó una disminución más severa en los tratamientos SK, SCa, SP y SN, por lo que ante una deficiencia de estos cuatro macronutrientes disminuyó la absorción de Zn en pitahaya (Figura 23). Trocme y Grass (1979) y Westwodd (1982) reportaron una relación sinérgica entre P y Zn.

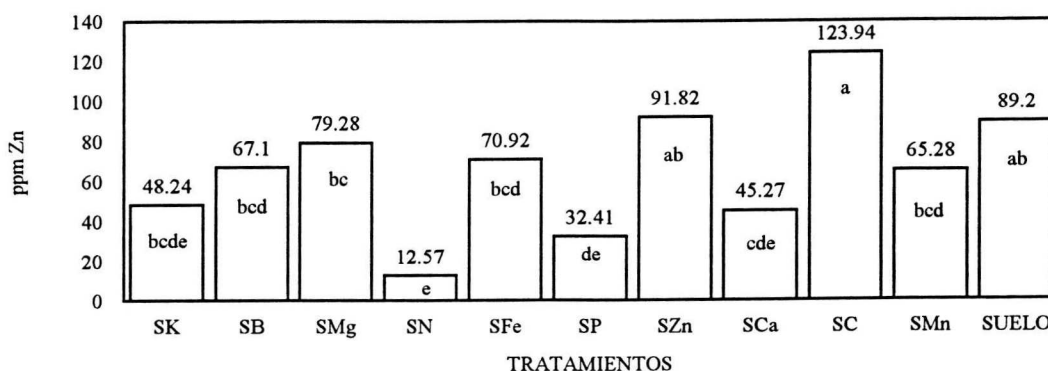


Figura 23. Extracción de zinc (ppm) en pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth) sometida a deficiencias de nutrimentos.

4.13.2.4. Extracción de cobre

Se presentó una mayor extracción de Cu en las plantas a las que se les aplicó la solución completa (SC), aunque fue estadísticamente similar a las extracciones de los tratamientos SZn y SB (Cuadro 7). En los tratamientos SMg, SFe, suelo y SMn disminuyó significativamente la extracción de Zn en comparación con el primer grupo de tratamientos. La disminución en la extracción fue más severa en los tratamientos SCa, SK, SP y SN (Figura 24).

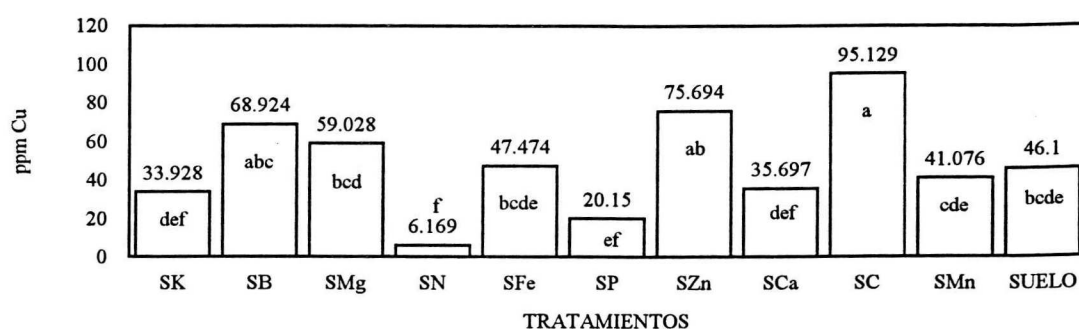


Figura 24. Extracción de cobre (ppm) en pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth) sometida a deficiencias de nutrimentos.

4.13.2.5. Extracción de boro.

La extracción de B fue mayor en las plantas establecidas en suelo, siendo igual estadísticamente a SC. En SZn se presentó una extracción igual estadísticamente a la de SC, pero significativamente diferente a la de suelo (Cuadro 7). Se presentó una disminución significativa en los tratamientos SMg, SMn y SK. La disminución en la extracción de B fue más marcada en SFe, SB, SP, SCa y SN, siendo ambos grupos de tratamientos significativamente diferentes a las extracciones de suelo y SC (Figura 25).

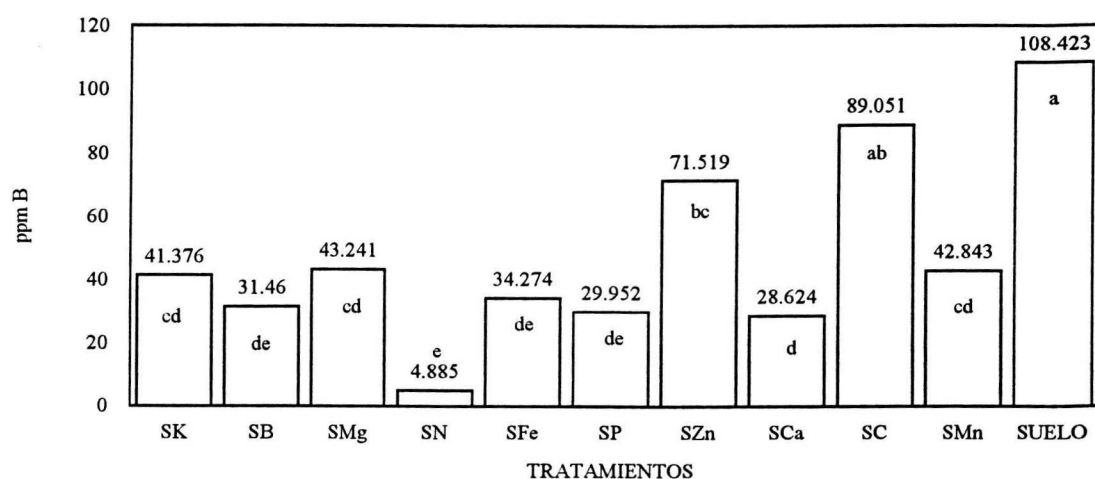


Figura 25. Extracción de boro (ppm) en pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth) sometida a deficiencias de nutrimentos.

V. CONCLUSIONES

Deficiencias de los macronutrientes N, P, K y Ca provocaron una reducción significativa en el crecimiento vegetativo de pitahaya en orden de mayor a menor efecto.

Las deficiencias de N y P en orden de mayor a menor efecto redujeron la emisión de brotes en pitahaya.

La deficiencia de N provocó síntoma visible de clorosis general de la planta, siendo más marcada en el tejido de mayor edad, en este tipo de tejido se presentó una capa corchosa que se empezó a manifestar en las orillas de las costillas y de ahí hacia el centro del tallo, los brotes que emitieron las plantas deficientes de N presentaron clorosis desde un inicio y presentaron poco crecimiento.

La deficiencia de P provocó síntoma visible de clorosis con aspecto de moteado, siendo más notoria en el tejido de mayor edad, los tallos emitidos fueron delgados y se formó una capa corchosa en el tejido de mayor edad, menos abundante que la que se presentó ante deficiencia de N.

La deficiencia de Ca provocó síntoma visible de clorosis en la parte terminal de los brotes.

Las deficiencias de N, P, K y Ca, redujeron significativamente la acumulación de biomasa de la parte aérea en pitahaya; resultando los cuatro macronutrientes igual de importantes en el desarrollo vegetativo de la pitahaya.

Las deficiencias de N, P, K, Fe, Mn y Ca redujeron significativamente la acumulación de biomasa del sistema radical de pitahaya en orden de mayor a menor efecto.

La falta de N y P en la solución nutritiva disminuyó la absorción de N, P, K y Ca.

La falta de K en la solución nutritiva abatió la absorción de N, P, K y Ca, sólo que la planta absorbió una mayor cantidad de Ca para compensar la falta de K.

Ante la falta de Ca en la solución nutritiva se presentó un comportamiento similar al de la falta de K, sólo que la planta absorbió una mayor cantidad de K para compensar la falta de Ca.

La extracción de Mg disminuyó ante deficiencias de N, P y K.

La extracción de micronutrientes disminuyó principalmente ante la falta de N, P, K y Ca.

VI. LITERATURA CITADA

- Argüello P., E. y A. Jiménez A. 1997. Períodos prolongados de sequía en pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth). . Tesis Profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 60 p.
- Ashraf M. and Z. Zafar U. 1998. Pattern of accumulation of some major and trace elements in salt-tolerant and salt-sensitive lines of lentil under nitrogen deficiency. *Journal of Plant Nutrition*. 21(6)1067-1081.
- Baca C., G. A. 1990. Deficiencias nutrimentales inducidas en nopal proveniente de cultivo in vitro. In: J. López G y M Ayala O. (comp). El nopal su conocimiento y aprovechamiento. Memorias de la Tercera Reunión Nacional y 1ª Internacional. UAAAN. Coahuila, México. pp 155-163.
- Baeyens J. 1970. Nutrición de las plantas de cultivo (Fisiología aplicada a las plantas agrícolas). Editorial LEMOS. Madrid, España. 631 p.
- Bar Y., A. Apelbaum, U. Kafkafi and R. Goren. 1997. Relationship between chloride and nitrate and its effect on growth and mineral composition of avocado and citrus plants. *Journal of Plant Nutrition* 20(6)715-731.
- Barbeau, G. 1990. La pitahaya rouge, un nouveau fruit exotique. *Fruits* 45(2):141-147.
- Barber, S.A. and P.G. Ozanne. 1970. Autoradiographic evidence for the differential effect of four plants species in altering the calcium content of the rhizosphere soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34:635-637.
- Bárcenas A., P. 1994. Efecto de tres sustratos en el enraizamiento y desarrollo de pitahaya (*Hylocereus undatus*). Programa y Memorias de resúmenes de la XL

- Reunión Anual de la Interamerican Society for Tropical Horticulture (ISTH). Campeche, Camp. México. 124 p.
- Becerra O., L. 1986. El cultivo de la pitahaya. Federación Nacional de cafetaleros de Colombia. Bogotá, Colombia, 19 p.
- Benton J. J. Y A. Millis H. 1991. Plant Analysis hand book. Micrp-Macro Publishing Inc. USA. 213 p.
- Bidwell R., G. S. 1993. Fisiología vegetal. AGT Editor. México, D. F. 784 p.
- Bravo-Hollis H., H. Sánchez M. 1978. Las cactáceas de México Vol. I. 2ª. Edición. UNAM. México, D.F. 711 p.
- Brian E. And A. Hammer. 1998. Comparasion of hidroponic solutions for poinsettia nutritional studies. Journal of Plant Nutrition. 21(3)531-543.
- Britton N., L. And J. N., Rose. The cactaceae. Descriptions and illustrations of plants of the cactus family. Vol. I. Dover Publications Inc. New York. USA. 241 p.
- Bose, T. K., S. K. Mitra and M. Sadhu K. 1991. Tempeate fruits. Horticulture and Alied Publishers. Calcuta, India. 767 p.
- Bussi C. And J. Amiot M. 1998. Effects of nitrogen and potassium fertilization on the growth, yield and pitburn of apricot (cv. Bergeron). Journal of Hort. Sci. And Bio. 73(3):387-392.
- Cáliz D., H. 1996. Aspectos taxonómicos de la pitahaya. In: Castillo M.R. y H. Cáliz D. (comp.). Primer curso teórico-práctico sobre el cultivo de la pitahaya. División de Ciencias e Ingeniería. Universidad de Quintana Roo. Quintana Roo, México. pp 35-48.

- Castillo M., R. y Y. Ortiz H. 1994. Floración y fructificación de pitahaya en Zaachila, Oaxaca.. Rev. Fitotecnia Mexicana 17:12-19.
- _____, H. Cáliz de D., A., Rodríguez C. 1996. Guía técnica para el cultivo de pitahaya. CONACYT. U.Q.Roo. INIFAP, UACH. Quintana Roo, México. 158 p.
- Clark B., R. 1987. Respuesta de las plantas a la toxicidad y deficiencia de elementos minerales. In: Christiansen N.M., F. Lewis Ch. (comp.). Ed. LIMUSA. México D.F. 91-172 pp.
- Cordero I. F. J. 1997. Injertos de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth) sobre otras cactáceas. Tesis Profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 51 p.
- Cruz C., M. 1996. Costo de establecimiento de plantaciones de pitahaya. In: Castillo M.R. y H. Cáliz D. (comp.). Primer curso teórico-práctico sobre el cultivo de la pitahaya. División de Ciencias e Ingeniería. Universidad de Quintana Roo. Quintana Roo, México. pp 59-83.
- Cruz H., J.P. 1990. Inducción de deficiencias de macronutrientes y Fe en nopal tunero (*Opuntia amyclaea* T). In: J. López G y M Ayala O. (comp). El nopal su conocimiento y aprovechamiento. Memorias de la Tercera Reunión Nacional y 1ª Internacional. UAAAN. Coahuila, México. pp 215-224.
- _____. 1994. Fisiología de la pitahaya. In: Memorias del Primer encuentro Nacional del cultivo de la pitaya. San Marcos Nicaragua. 14 pp.
- _____. 1997. Otras cactáceas de importancia económica en México por su producción de frutos comestibles. In: Vázquez A. R., C. Gallegos V., N. Treviño H., Y. Díaz T (comp). Conocimiento y aprovechamiento del nopal. VII Congreso Nacional y V Congreso Internacional. Monterrey N.L. México. 70-80 pp.

- Delgado R., M. A. 1997. Inducción de deficiencias nutrimentales en pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth). Tesis Profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 70 p.
- Estevez G., M. 1995. Caracterización del sistema radical de la pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth). Tesis Profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 91 p.
- Epstein, E. 1972. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. Wiley, New York, USA. 412 p.
- Fageria K., N., V. Baligar C., C. Allan J. 1991. Growth and mineral nutrition of field crops. Marcel Dekker, Inc. N.Y. USA. 476 P.
- Faust, M. and C. B. Shear. 1985. Nutritional ranges in deciduous tree fruits and nuts. Horticultural Reviews. 7:142-163.
- Ferguson, A. R. 1990. Kiwifruit management. In: Small fruit trees. John Wiley and sons. USA 95-97 pp.
- Ferguson, J.B. 1979. The movement of calcium in non-vascular tissue of plants. Commun. Soil. Sci. Plant. 97:217-224.
- Fouqué A. 1972. Espèces frutières d'Amérique Tropicale. Fruits. 27(3):200-218.
- García E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlos a las condiciones de la República Mexicana). 4ª edición. México, D. F. pp 130.
- Gibson, C.A. and P., S. Nobel. 1986. The cactus primer. Harvard University Press. London England. 286 p.

- Grande Z., S., y J. P. Cruz H. 1997. Contenido nutrimental en tallos de pitayo (*Stenocereus griseus*). In: Vázquez A. R., C. Gallegos V., N. Treviño H., Y. Díaz T (comp). Conocimiento y aprovechamiento del nopal. VII Congreso Nacional y V Congreso Internacional. Monterrey N.L. México. 249-250 pp.
- Guzmán B., R. 1994. Fertilización de pitahaya. En: Memorias del Primer encuentro Nacional del cultivo de la pitaya. San Marcos Nicaragua pp. 80-85.
- Haynes, R. J. 1986. Mineral nitrogen in the plant-soil system. Academic Press Inc. USA. 483 p.
- Infante G., S. 1996. Curso teórico-práctico sobre el cultivo de la pitahaya. Experiencias en colombia. In: Castillo M.R. y H. Cáliz D. (comp.). Primer curso teórico-práctico sobre el cultivo de la pitahaya. División de Ciencias e Ingeniería. Universidad de Quintana Roo. Quintana Roo, México. pp 17-31.
- Kirkby, A.E. and A. Knight H. 1977. Influence of the level of nitrate nutrition on ion uptake and assimilation, organic acid accumulation and cation-anion balance in whole tomato plants. *Plant Physiology*. 60:349-353.
- Kramer, P. J. And Kozlowski, T. T. 1979. *Physiology of woody plants*. Academic Press, Inc. USA. 811 p.
- Lauchli, A. 1976. Apoplastic transport in tissues. In: *Encyclopedia of plant physiology*. 23:197-218.
- Loué A. 1988. Los microelementos en agricultura. Versión en español de Domínguez V., A. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 354 p.

- Maltéz P., R. 1994. Caracterización de las variedades de pitahaya cultivada en Nicaragua. In: Memorias del Primer encuentro Nacional del cultivo de la pitaya. San Marcos Nicaragua. 21-32 pp.
- Manthey J. A. y E. Crowley D. 1997. Leaf and root responses to iron deficiency in avocado. *Journal of Plant Nutrition*. 20(6):683-693.
- Marschner, H. 1986. Mineral nutrition of higher plants. Institute of Plant nutrition. University of Hohenheim. Federal Republic of Germany. Academic Press Inc London. 694 p.
- Mengel K. Y S. A. Kirkby. 1982. Principles of plant nutrition. Ed. International Potash Institute.
- Menzel M.C., Haydon F. G. and Simpson R. 1995. Growth of lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) in sand culture under variable nitrogen supply. *Journal of Hort. Science*. 70(5):757-767.
- Mizrahi Y., A. Nerd and P. S. Nobel. 1996. Cacti as crops. *Hort. Rev.* 18:291-319.
- Nerd A. and Y. Mizrahi. 1997. Reproductive biology of cactus fruits crops. *Hort. Rev.* 18:321-346.
- Nerson H., M. Edelstein, R. Berdugo and Y. Ankorion. 1997. Monopotassium phosphate as a phosphorus and potassium source for greenhouse-winter-grown cucumber and muskmelon. *Journal of Plant Nutrition* 20(2 y 3):335-344.
- Nobel P. S. 1983. Nutrients levels in cacti-relation to nocturnal acid accumulation and growth. *American Journal of Botany*. 70:1244-1253.

- _____. 1988. Environmental biology of agaves and cacti. Cambridge University Press. USA. 270 p.
- _____, E. Russell C., P. Felker, J. Medina G. and E. Acuña. 1987. Nutrient relations and productivity of prickly pear cacti. *Agronomy Journal* 79:550-555.
- _____ and L. Hartsock t. 1984. Physiological responses of *Opuntia ficu-indica* to growth temperature. *Plant Physiol.* 60:98-105.
- _____. 1998. Los incomparables agaves y cactus. Editorial Trillas. México D. F. 211 p.
- Olsen R., S. 1983. Interacciones de los micronutrientes. In: Mortverdt J. J., P. Giordano M., y W. Lindsay L. (comp.). *Micronutrientes en agricultura*. AGT Editor S. A. México D. F. 267-290 pp.
- Ortíz H. Y., M. Livera M. Y J. Tirado T. 1994. El cultivo de la pitahaya (*Hylocereus* spp.) y sus perspectivas en México. In: *Frutales nativos e introducidos con demanda Nacional e Internacional*. Montecillo, México. pp 111-122.
- _____. 1995. Avances en el conocimiento ecofisiológico de la pitahaya (*Hylocereus undatus*). Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 159 p.
- Price C.A., H. Clark E. Y E. Funkhouser A. 1983. Funciones de los micronutrientes en las plantas. In: Mortverdt J.J., P. Giordano M. y W. Lindsay L (Comp.). *Micronutrientes en agricultura*. AGT Editor, S. A. México, D. F. 253-265 pp.
- Potash & Phosphate Institute. 1997. Manual Internacional de fertilidad de suelos. Querétaro, México.

- Ramírez M., F. J. 1995. Respuesta de la pitahaya (*Hylocereus undatus* Haw.) a la aspersión de fertilizante foliar. . Tesis Profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 60 p.
- Rodríguez C., A. 1996. Pitahayeros. Memorias del primer encuentro de productores de pitahaya de Yucatán. Centro Regional Universitario Península de Yucatán. UACH. Yucatán, México. 53 p.
- _____. 1997. Guía técnica para la producción de plantas de pitahaya en viveros. Centro Regional Universitario Península de Yucatán. UACH. Yucatán. México. 70 p.
- _____. 1998. Perspectivas de comercialización de pitahayas. In: Curso de actualización "Producción de frutales tropicales alternativos". Instituto Tecnológico Agropecuario No. 2. Yucatán, México. 21 p.
- Rodríguez S., F. 1992. Fertilizantes. Nutrición vegetal. AGT Editor, S.A. México D. F. 157 p.
- Ryugo, K. 1993. Fruticultura ciencia y arte. AGT Editor. México, D. F. 460 p.
- Salisbury F., B. Y C. Ross W. 1996. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica S. A. de C. V. México D. F. 759 p.
- Sánchez del C., F. Y E. Escalante R. 1989. Hidroponia. 3ª edición. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 194 p.
- Stefanis J., P. and W. Langhans R. 1980. Factor influencing the culture and propagation of xerophytic succulent species. HorScience. 15:504-505.

- Tanaka T., M. Rikitoku and K. Gomi. 1983. The effects of N, P and K on growth and chemical composition of cactus (*Echinocactus grusonii* Hildm). Horticultural Abstracts. 53:855.
- Tewolde T. And C. Fernandez J. 1997. Vegetative and reproductive dry weight inhibition of nitrogen and phosphorus deficient pima cotton. Journal of Plant Nutrition. 20 (2 y 3):219-232.
- Thompson L., M. 1952. Soils and soil fertility. McGraw-Hill book company Inc. USA. 326 p.
- Tiscornia J. Cactus y otras plantas de ornamento. Editorial Albatros. Buenos Aires. Argentina 122 p.
- Touria E. And Douglas A. 1998. Manganese toxicity in plants. Journal of Plant Nutrition. 21(2):353-386.
- Trocme S. Y R. Gras. 1979. Suelo y fertilización en fruticultura. 2ª. Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 388 p.
- Vizzotto G., I. Matosevic, R. Pinton, Z. Varanini, G. Costa. 1997. Iron deficiency responses in roots of kiwi. Journal of Plant Nutrition. 20(2 y 3)327-334.
- Westwood N., M. 1982. Fruticultura de zonas templadas. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 461 p.
- Zhang M., A. Alva and Li C. 1998. Fertilizer rates change root distribution of grapefruit trees on a poorly drained soil. . Journal of Plant Nutrition. 21(1)1-11.

Zhonggui L., H. Singh G. and R. Graham D. 1998. Dry matter production and uptake of zinc and phosphorus in two oilseed rape genotypes under differential rates of zinc and phosphorus supply. *Journal of Plant Nutrition*. 21(1)25-38.

VII. APÉNDICE

Cuadro A1. Análisis de varianza ($\alpha = 0.05$) para la variable crecimiento acumulado (cm) en los diferentes muestreos.

FECHA	TRATAMIENTO			BLOQUE		E.E.		R ²	C.V.
	GL	F _c	NSO	GL	C.M.	G.L.	C.M.		
13/OCT/97	10	18.02	0.0001	5	2690.0783	50	2017.2237	0.789	27.63
17/ABR/98	10	20.15	0.0001	5	5015.4446	50	1978.5778	0.811	25.35
17/MAY/98	10	24.01	0.0001	5	5050.9385	50	1959.9440	0.835	23.91
16/JUN/98	10	29.40	0.0001	5	1557.4360	50	2790.5688	0.856	24.81
01/JUL/98	10	20.70	0.0001	5	2988.350	50	5890.7960	0.807	30.15
01/AGO/98	10	14.82	0.0001	5	9350.726	50	13263.610	0.752	34.87
01/SEP/98	10	16.48	0.0001	5	5144.243	50	1411.000	0.769	33.18
16/OCT/98	10	14.21	0.0001	5	18489.770	50	23324.427	0.745	33.04
15/NOV/98	10	14.62	0.0001	5	17320.602	50	22997.793	0.750	31.77
18/DIC/98	10	16.18	0.0001	5	11423.783	50	22186.349	0.767	28.75
15/ENE/99	10	18.54	0.0001	5	9739.642	50	2064.069	0.790	26.44
14/FEB/99	10	19.50	0.0001	5	6987.152	50	22185.946	0.797	25.58

G.L. = Grados de libertad, F_c = F calculada, NSO = Nivel de significancia observado, CM = Cuadrado medio, E.E. = Error experimental, R² = Coeficiente de determinación, C.V. = Coeficiente de variación.

Cuadro A2. Análisis de varianza ($\alpha = 0.05$) para las variables número de brotes (NB), número de yemas florales (NYF1 y NYF2), uso consuntivo (ml) (UC1, UC2 y UC3), peso fresco (g) parte aérea (PFPA), peso seco (g) parte aérea (PSPA), peso fresco (g) de raíz (PFR) y peso seco (g) de raíz (PSR).

VARIABLE	TRATAMIENTO			BLOQUE		E.E.		R ²	C.V.
	G.L.	F _c	NSO	G.L.	C.M.	G.L.	C.M.		
NB	10	5.56	0.0001	5	3.7363636	50	6.4163636	0.539	38.43
NYF1	10	2.05	0.0474	5	47.9545455	50	18.0545455	0.403	158.44
NYF2	10	2.25	0.0294	5	88.1227273	50	31.1060610	0.423	147.82
UC1	9	5.84	0.0002	3	235212.225	27	85922.688	0.692	28.38
UC2	9	3.44	0.0061	3	160387.292	27	82357.662	0.577	29.70
UC3	9	15.15	0.0001	3	151952.292	27	69364.792	0.841	19.98
PFPA	10	20.15	0.0001	3	2365.499	30	30107.123	0.871	21.97
PSPA	10	19.94	0.0001	3	174.5451	30	770.7429	0.870	23.17
PFR	10	12.40	0.0001	3	74.91417	30	140.44850	0.807	21.18
PSR	10	15.14	0.0001	3	0.7602273	30	4.7015606	0.835	19.82

G.L. = Grados de libertad, F_c = F calculada, NSO = Nivel de significancia observado, CM = Cuadrado medio, E.E. = Error experimental, R² = Coeficiente de determinación, C.V. = Coeficiente de variación.

Cuadro A3. Análisis de varianza ($\alpha = 0.05$) para la variable contenido nutrimental.

VARIABLE	TRATAMIENTO			BLOQUE		E.E.		R ²	C.V.
	G.L.	F _c	NSO	G.L.	C.M.	G.L.	C.M.		
CN	10	25.83	0.0001	3	0.01041818	30	0.01615985	0.897	11.93
CP	10	12.73	0.0001	3	0.00069394	30	0.00210894	0.810	15.47
CK	10	5.89	0.0001	3	0.06572121	30	0.30084788	0.665	17.67
CCa	10	13.30	0.0001	3	0.00154773	30	0.02563606	0.816	16.70
CCu	10	14.18	0.0001	3	8.26745200	30	25.724663	0.826	12.18
CFe	10	5.03	0.0003	3	27.0864790	30	89.853232	0.631	17.05
CMg	10	8.33	0.0001	3	0.00036970	30	0.01899303	0.735	14.75
CMn	10	8.65	0.0001	3	564.123800	30	996.504230	0.746	34.76
CZn	10	9.04	0.0001	3	86.3512390	30	56.651063	0.760	12.82
CB	10	24.37	0.0001	3	79.5454550	30	34.128788	0.893	14.36

G.L. = Grados de libertad, F_c = F calculada, NSO = Nivel de significancia observado, CM = Cuadrado medio, E.E. = Error experimental, R² = Coeficiente de determinación, C.V. = Coeficiente de variación.

Cuadro A4. Concentraciones de nutrimentos en el clorénquima de agaves y cactus (Fuente: Nobel, 1988).

ESPECIE	% (PROMEDIO EN VARIAS ESPECIES)						ppm (PROMEDIO EN VARIAS ESPECIES)				
	N	P	K	Na	Ca	Mg	Mn	Cu	Zn	Fe	B
Agaves	1.15	0.21	1.81	0.004	3.7	0.66	26	4	26	77	24
Cactáceas	1.67	0.17	1.63	0.020	4.44	1.14	179	7	28	136	39
Plantas cultivadas	2.00	0.30	2.00	0.100	2.00	0.70	70	8	40	150	30
<i>Hylocereus undatus</i> *	3.07	0.30	4.17	-	0.32	0.66	21	-	28	125	33

* Fuente: Delgado, 1997.

Cuadro A5. Análisis de varianza ($\alpha = 0.05$) para la variable extracción nutricional.

VARIABLE	TRATAMIENTO			BLOQUE		E.E.		R ²	C.V.
	G.L.	F _c	NSO	G.L.	C.M.	G.L.	C.M.		
EN	10	20.60	0.0001	3	0.04042142	30	0.12578347	0.873	26.03
EP	10	15.30	0.0001	3	0.00155639	30	0.00721807	0.837	25.47
EK	10	13.03	0.0001	3	0.3319717	30	1.4482731	0.814	32.41
ECa	10	19.20	0.0001	3	0.03688242	30	0.08722356	0.866	27.45
ECu	10	15.54	0.0001	3	60.39444	30	166.61467	0.839	26.82
EFe	10	10.34	0.0003	3	30.28862	30	499.48592	0.775	34.17
EMg	10	15.80	0.0001	3	0.02215570	30	0.04484303	0.842	20.77
EMn	10	11.50	0.0001	3	3244.0388	30	4851.2284	0.796	61.10
EZn	10	11.99	0.0001	3	165.31655	30	316.65654	0.802	26.96
EB	10	21.91	0.0001	3	166.05917	30	164.38061	0.881	26.83

G.L. = Grados de libertad, F_c = F calculada, NSO = Nivel de significancia observado, CM = Cuadrado medio, E.E. = Error experimental, R² = Coeficiente de determinación, C.V. = Coeficiente de variación.

Cuadro A6. Composición química de las soluciones nutritivas.

REACTIVO	SOLUCIONES (me L ⁻¹ DE LAS SUBSTANCIAS)									
	COMPLETA	SN	SP	SK	SCa	SMg	SFe	SMn	SZn	SB
NH ₄ PO ₄	1						1	1	1	1
KNO ₃	6		6		5	6	6	6	6	6
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	8		8	10		8	8	8	8	8
MgSO ₄ ·7H ₂ O	4	4	4	4	4		4	4	4	4
K ₂ SO ₄		5				3				
Ca(H ₂ PO ₄) ₂ ·H ₂ O		1		1						
CaSO ₄ ·2H ₂ O		4								
KH ₂ PO ₄					1	1				
	ppm									
FeSO ₄ ·7H ₂ O	4 (Fe)	4 (Fe)	4 (Fe)	4 (Fe)	4 (Fe)	4 (Fe)		4 (Fe)	4 (Fe)	4 (Fe)
H ₃ BO ₃ 96%	0.5 (B)	0.5 (B)	0.5 (B)	0.5 (B)	0.5 (B)	0.5 (B)	0.5 (B)	0.5 (B)	0.5 (B)	
MnSO ₄ ·H ₂ O	0.5 (Mn)	0.5 (Mn)	0.5 (Mn)	0.5 (Mn)	0.5 (Mn)	0.5 (Mn)	0.5 (Mn)		0.5 (Mn)	0.5 (Mn)
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.05 (Zn)	0.05 (Zn)	0.05 (Zn)	0.05 (Zn)	0.05 (Zn)	0.05 (Zn)	0.05 (Zn)	0.05 (Zn)		0.05 (Zn)
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.02 (Cu)	0.02 (Cu)	0.02 (Cu)	0.02 (Cu)	0.02 (Cu)	0.02 (Cu)	0.02 (Cu)	0.02 (Cu)	0.02 (Cu)	0.02 (Cu)
H ₂ MoO ₄ 85%	0.01 (Mo)	0.01 (Mo)	0.01 (Mo)	0.01 (Mo)	0.01 (Mo)	0.01 (Mo)	0.01 (Mo)	0.01 (Mo)	0.01 (Mo)	0.01 (Mo)