

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO



DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

INSTITUTO DE HORTICULTURA

**CRECIMIENTO Y EXTRACCIÓN DE
MACRONUTRIMENTOS DEL CHILE DE AGUA
(*Capsicum annuum* L.)**

TESIS

Como requisito parcial para
obtener el grado de



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

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA

MARÍA CELEDONIA VALENTÍN MIGUEL

Chapingo, México. Junio de 2011



CRECIMIENTO Y EXTRACCIÓN DE MACRONUTRIMENTOS DEL CHILE DE AGUA
(*Capsicum annuum* L.)

A Dios por darme una bendición más y la oportunidad de concluir esta etapa de mi formación profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca que me otorgo

Tesis realizada por MARÍA CELEDONIA VALENTÍN MIGUEL, bajo la dirección del comité asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

Al Dr. Rogelio Castro Brindis por su humildad, sencillez y calidez como persona y profesionalista al acordar sus conocimientos para dirigir esta investigación.

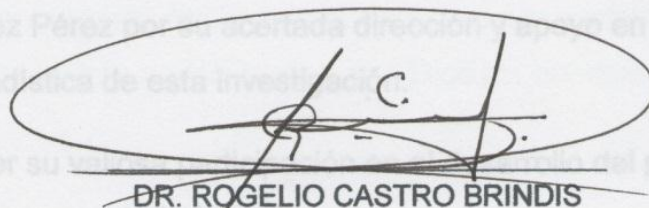
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

Al Dr. Juan Enrique Rodríguez Pérez por su acertada dirección y apoyo en la parte estadística de esta investigación.

Al Dr. Mario Pérez Grajales por su valioso aporte al presente trabajo.

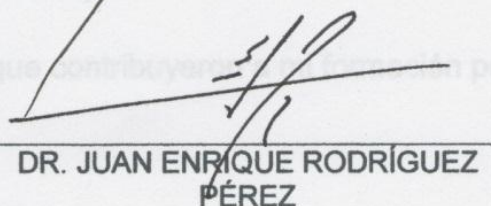
A todos los profesores y personas que contribuyeron a mi formación profesional.

DIRECTOR:



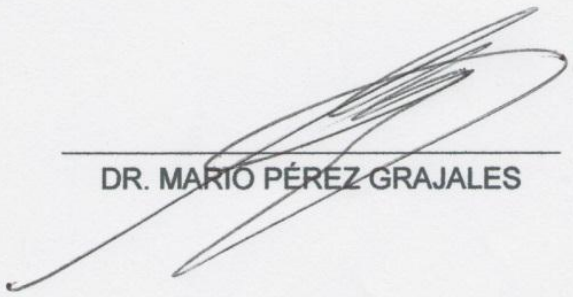
DR. ROGELIO CASTRO BRINDIS

ASESOR:



DR. JUAN ENRIQUE RODRÍGUEZ
PÉREZ

ASESOR:



DR. MARIO PÉREZ GRAJALES

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme una bendición más y la oportunidad de concluir esta etapa de mi formación profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca que me otorgo para realizar mis estudios de Maestría.

Al Instituto de Horticultura del Departamento de Fitotecnia por todo el apoyo brindado y por darme el privilegio de formar parte de sus alumnos.

Al Dr. Rogelio Castro Brindis por su humildad, sencillez y calidez como persona y profesionalista al compartir sus conocimientos para dirigir esta investigación.

Al Dr. Juan Enrique Rodríguez Pérez por su acertada dirección y apoyo en la parte estadística de esta investigación.

Al Dr Mario Pérez Grajales por su valiosa participación en el desarrollo del presente trabajo.

A todos los profesores y personas que contribuyeron a mi formación profesional.

DEDICATORIA

A Dios que ha sido mi mayor fortaleza en cada momento de mi vida.

A mis padres y hermano.

A mis amigos (as), familia, compañeros (as) y demás personas por confiar en mí,
alentándome a seguir adelante en mis metas, que Dios los bendiga.

DATOS BIOGRÁFICOS

El autor de la presente tesis, nació en la comunidad de San Pedro Tidaá Oaxaca, el 28 de diciembre de 1985. En el mismo municipio realizó sus estudios de primaria en la escuela “Emiliano Zapata”, Escuela Telesecundaria y en el Telebachillerato núm. “19 TIDAÁ”. En 2003 ingresó a la Universidad Autónoma Chapingo donde realizó sus estudios de licenciatura, en 2008 obtuvo el Título de Ingeniero Agrónomo Especialista en Parasitología Agrícola. En 2009 ingresó al Instituto de horticultura del Departamento de fitotecnia de la misma universidad donde realizó sus estudios de Maestría en Ciencias en Horticultura.

TABLA DE CONTENIDO

.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIA	iv
DATOS BIOGRÁFICOS	v
TABLA DE CONTENIDO	vi
LISTA DE CUADROS	ix
LISTA DE FIGURAS	xi
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1 OBJETIVOS GENERALES	2
1.2 REVISIÓN DE LITERATURA GENERAL	3
1.3 LITERATURA CITADA	6
CAPÍTULO 2. CRECIMIENTO DEL CHILE DE AGUA.	12
RESUMEN.....	13
ABSTRACT	13
2.1 INTRODUCCIÓN.....	14
2.1.1 OBJETIVOS	14
2.2 REVISIÓN DE LITERATURA	15
2.3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
2.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
2.4.1 Etapas fenológicas	24
2.4.2 Análisis de crecimiento	24

2.4.2.1	Diámetro del tallo, altura de planta y número de bifurcaciones.....	24
2.4.2.2	Número de hojas y área foliar	28
2.4.3	Rendimiento	31
2.4.3.1	Número de frutos.....	31
2.4.3.2	Rendimiento de frutos	31
2.4.4	Distribución de materia seca.	34
2.4.4.1	Distribución de materia seca por tratamiento.	34
2.4.4.2	Distribución relativa de materia seca por órgano.....	39
2.4.5	Índices de eficiencia fisiológica.	43
2.4.5.1	Tasa absoluta de crecimiento (TAC).....	43
2.4.5.2	Tasa relativa de crecimiento (TRC).....	43
2.4.5.3	Tasa de asimilación neta (TAN).....	44
2.4.5.4	Razón de área foliar (RAF).....	45
2.5	CONCLUSIONES.....	47
2.6	LITERATURA CITADA	48
CAPÍTULO 3. EXTRACCIÓN DE MACRONUTRIMENTOS DE CHILE DE AGUA.....		52
RESUMEN.....		53
ABSTRACT		53
3.1	INTRODUCCIÓN.....	54
3.1.1	OBJETIVOS.....	55
3.1.2	HIPÓTESIS.....	55
3.2	REVISIÓN DE LITERATURA	56
3.3	MATERIALES Y MÉTODOS.....	62

3.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	64
3.4.1 NITRÓGENO.....	65
3.4.2 FÓSFORO	68
3.4.3 POTASIO	71
3.4.4 CALCIO	74
3.4.5 MAGNESIO	77
3.5 CONCLUSIONES.....	80
3.6 LITERATURA CITADA	81
4. DISCUSIÓN GENERAL.....	89
5. CONCLUSIONES GENERALES.....	91
6. LITERATURA CITADA GENERAL	92

LISTA DE CUADROS

CAPÍTULO 2. CRECIMIENTO DEL CHILE DE AGUA.

Cuadro 1. Concentración de nutrimentos de la solución nutritiva de Steiner (1984) utilizadas en el experimento.	22
Cuadro 2. Etapas fenológicas registradas en el ciclo de cultivo de chile de agua bajo invernadero en Chapingo, México. 2009.	24
Cuadro 3. Comparación de medias de diámetro de tallo, altura de planta y número de bifurcaciones del tallo principal, durante el ciclo de cultivo de chile de agua bajo cinco concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México. 2009.	26
Cuadro 4. Comparación de medias del número de hojas y área foliar por planta, durante el ciclo de cultivo de chile de agua bajo cinco concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México. 2009.	29
Cuadro 5. Comparación de medias de número de frutos, peso total, peso promedio de frutos, índice de cosecha biológico e índice de cosecha comercial por planta, obtenido en el cultivo de chile de agua en cinco concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México. 2009.	33
Cuadro 6. Comparación de medias de acumulación de materia seca en raíz, tallo, hoja, fruto y total durante el ciclo de cultivo de chile de agua bajo cinco concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México. 2009.	36
Cuadro 7. Comparación de medias de acumulación de materia seca total durante el ciclo de cultivo de chile de agua bajo cinco concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México. 2009.	37
Cuadro 8. Distribución relativa de la materia seca total por órgano a 45 y 150 días después de trasplante, durante el ciclo de cultivo de chile de agua bajo cinco concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México. 2009.	40

CAPÍTULO 3. EXTRACCIÓN DE MACRONUTRIMENTOS DEL CHILE DE AGUA.

Cuadro 1. Intervalos óptimos y concentración en hojas y peciolo de macronutrientes en diferentes especies de chile.....	61
Cuadro 2. Efecto de cinco concentraciones de la solución nutritiva de Steiner en el rendimiento del chile de agua. Chapingo, México. 2009.	62
Cuadro 3. Cantidad de nutriente requerido para producir una tonelada de fruto en el cultivo de chile de agua. Chapingo, México. 2009... ¡Error! Marcador no definido.	
Cuadro 4. Comparación de medias del contenido y extracción de Nitrógeno (N) en la planta durante el ciclo de cultivo de chile de agua en dos concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México. 2009.	67
Cuadro 5. Comparación de medias del contenido y extracción de Fósforo (P) en la planta durante el ciclo de cultivo de chile de agua en dos concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México. 2009.	70
Cuadro 6. Comparación de medias del contenido y extracción de Potasio (K) en la planta durante el ciclo de cultivo de chile de agua en dos concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México. 2009.	73
Cuadro 7. Comparación de medias del contenido y extracción de Calcio (Ca) en la planta durante el ciclo de cultivo de chile de agua en dos concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México. 2009.	76
Cuadro 8. Comparación de medias del contenido y extracción de Magnesio (Mg) en la planta durante el ciclo de cultivo de chile de agua en dos concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México. 2009.	79

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2. CRECIMIENTO DEL CHILE DE AGUA.

Figura 1. a) Diámetro de tallo, b) Altura de planta, c) Número de bifurcaciones del tallo principal durante el ciclo de cultivo de chile de agua. A: Bifurcación de tallo Principal; B: Floración; C: Formación de fruto; D: Maduración de fruto y D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7: Cortes de fruto. Chapingo, México. 2009.....	27
Figura 2. a) Número de hojas y b) Área foliar durante el ciclo de cultivo de chile de agua. A: Bifurcación de tallo Principal; B: Floración; C: Formación de fruto; D: Maduración de fruto y D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7: Cortes de fruto. Chapingo, México. 2009.	30
Figura 4. Acumulación de materia seca en: a) Raíz, b) Tallo, c) Hoja y d) Fruto, durante el ciclo de cultivo de chile de agua bajo cinco concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. A: Bifurcación de tallo Principal; B: Floración; C: Formación de fruto; D: Maduración de fruto y D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7: Cortes de fruto. Chapingo, México. 2009	38
Figura 5. Acumulación de materia seca total durante el ciclo de cultivo de chile de agua bajo cinco concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. A: Bifurcación de tallo Principal; B: Floración; C: Formación de fruto; D: Maduración de fruto y D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7: Cortes de fruto. Chapingo, México. 2009.....	39
Figura 6. Distribución relativa de materia seca en cada órgano de la planta de chile de agua fertirrigada con 25 % de concentración de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México. 2009.....	41
Figura 7. Distribución relativa de materia seca en cada órgano de la planta de chile de agua fertirrigada con a) 50 %, b) 75 %, c) 100 % y d) 125 %de concentración de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México. 2009.....	42
Figura 8. a)Tasa Absoluta de Crecimiento (TAC), b) Tasa Relativa de Crecimiento (TRC), c) Tasa de Asimilación Neta (TAN) y d) Relación de Área Foliar (RAF) durante el ciclo de cultivo de chile de agua bajo cinco concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. A: Bifurcación de tallo Principal; B: Floración; C: Formación de fruto; D: Maduración de fruto y D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7: Cortes de fruto. Chapingo, México. 2009.	46

CAPÍTULO 3. EXTRACCIÓN DE MACRONUTRIMENTOS DEL CHILE DE AGUA.

Figura 1. a) Contenido y Extracción de N, b) Tasa de absorción durante el ciclo de cultivo de chile de agua en dos concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. A: Bifurcación de tallo principal; B: Floración; C: Formación de fruto; D: Maduración de fruto y D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7: Cortes. Chapingo, México. 2009.	67
Figura 2. a) Contenido y Extracción de P, b) Tasa de absorción durante el ciclo de cultivo de chile de agua en dos concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. A: Bifurcación de tallo principal; B: Floración; C: Formación de fruto; D: Maduración de fruto y D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7: Cortes. Chapingo, México. 2009.	70
Figura 3. a) Contenido y Extracción de K, b) Tasa de absorción durante el ciclo de cultivo de chile de agua en dos concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. A: Bifurcación de tallo principal; B: Floración; C: Formación de fruto; D: Maduración de fruto y D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7: Cortes. Chapingo, México. 2009.	73
Figura 4. a) Contenido y Extracción de Ca, b) Tasa de absorción durante el ciclo de cultivo de chile de agua en dos concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. A: Bifurcación de tallo principal; B: Floración; C: Formación de fruto; D: Maduración de fruto y D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7: Cortes. Chapingo, México. 2009.	76
Figura 5. a) Contenido y Extracción de Mg, b) Tasa de absorción durante el ciclo de cultivo de chile de agua en dos concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. A: Bifurcación de tallo principal; B: Floración; C: Formación de fruto; D: Maduración de fruto y D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7: Cortes. Chapingo, México. 2009.	79

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

México es considerado centro de origen del chile (*Capsicum annuum* L.) (ASERCA, 1998), el cual se encuentra ampliamente distribuido en toda la República Mexicana. La gran diversidad de esta especie tanto en forma, tamaño, color, sabor, grado de pungencia ó picor ha generado variación en usos y procesos asociados a las diferentes regiones de producción.

En el estado de Oaxaca se establecen anualmente alrededor de 1,000 hectáreas de chile destacando los tipos: De agua, Jalapeño, Taviche, Soledad, Costeño, Tusta, Pasilla y Huacle.

El chile de agua es el más cultivado y preferido, principalmente en los Valles Centrales ya sea en campo abierto y algunos productores emplean cubiertas flotantes e incluso invernaderos. En estos últimos, el costo de producción es elevado debido a los precios de infraestructura e insumos aunque la calidad y volumen de producción hacen que este sistema sea altamente rentable.

La aplicación de nutrimentos a este cultivo mediante fertilizantes a través del sistema de riego permite planear la fertilización al cultivo en los momentos que éste lo requiera en proporciones y cantidades específicas de acuerdo con las diferentes etapas de desarrollo (plántula, crecimiento vegetativo, floración, formación de frutos).

Para lograr lo anterior y debido a la escasez de información en esta especie, es necesario realizar un análisis detallado del crecimiento con el fin de cuantificar aspectos sobre la fenología y distribución de asimilados en los diferentes órganos con el fin de aportar los requerimientos nutrimentales de forma suficiente y oportuna para incrementar el rendimiento y calidad de fruto o bien evitar uso excesivo de fertilizantes. Para ello la presente investigación se desarrolló en dos etapas. La primera es un análisis de crecimiento del chile de agua cultivado bajo cinco concentraciones de la solución nutritiva universal de Steiner (1984). En la

segunda se determinó la extracción nutrimental y la tasa absoluta de absorción de macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg) a través del desarrollo del cultivo del chile de agua en dos concentraciones (50 y 75 %) de la Solución Nutritiva de Steiner.

1.1 OBJETIVOS GENERALES

- a) Determinar el efecto de la concentración de nutrientes de la solución nutritiva en la fenología, desarrollo general de la planta, eficiencia de acumulación de materia seca y rendimiento en plantas de chile de agua en condiciones de hidroponía.
- b) Medir el contenido, determinar la extracción y la tasa absoluta de absorción de N, P, K, Ca y Mg en chile de agua en condiciones de hidroponía.

1.2 REVISIÓN DE LITERATURA GENERAL

Históricamente el chile a formado parte de la base, soporte y complemento principal de nuestra dieta alimenticia y junto con el maíz, frijol y tomate son especies arraigadas a la dieta de la población mexicana. Los diversos usos que se da a los frutos ya sea como condimento directo o procesado, han dado una gran importancia a este cultivo (Ledezma y Ruiz, 1995).

El estado de Oaxaca, en especial en los Valles centrales, se practica una agricultura de subsistencia de cultivos asociados (maíz, frijol, calabaza, chile, etc.) con bajos niveles tecnológicos y escasos recursos económicos.

El chile de agua (*Capsicum annuum* L.) es una hortaliza tradicional propia de los Valles Centrales de Oaxaca. Su cultivo se realiza durante todo el año, la comercialización generalmente se lleva a cabo en los mercados locales, principalmente en la “Central de Abastos” de la ciudad de Oaxaca. Se comercializa localmente en una unidad de medida, conocida como “carga”(cada carga tiene aproximadamente 1 000 chiles de primera y 60 Kg. de peso). Actualmente cada fruto en fresco cuesta entre \$2.00 y \$3.00.

Este cultivo es generador de un elevado número de empleo rural, utilizando de 120 a 150 jornales por hectárea, donde se emplea un alto porcentaje de mano de obra femenil e infantil; y es un cultivo altamente redituable constituyendo una importante fuente de ingresos para un gran número de familias campesinas, además, de que forma parte de la gastronomía típica regional (López y Castro, 2007). Por lo anterior, dicho cultivo cumple una función social y económica importante para los productores de la región (Vásquez, 2005).

La producción se lleva a cabo en campo abierto, cubiertas flotantes e incluso invernaderos; sin embargo, estos últimos representan altos costos de inversión inicial aunque el rendimiento aumenta considerablemente.

Las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero tales como pepino, tomate, pimiento y berenjena, se caracterizan en su mayoría, por un crecimiento indeterminado. Estas presentan solamente crecimiento vegetativo en una primera fase muy corta de desarrollo inicial. A continuación, los frutos inician su desarrollo, pasando a ser recolectados continuamente durante un largo período, en el cual los restantes órganos de la planta continúan su crecimiento.

Para estudiar los procesos de acumulación y distribución de biomasa, se dispone del análisis de crecimiento vegetal. Su ventaja radica en la facilidad de obtención de los datos en los cuales se basa, como son el peso seco de plantas completas o de sus partes (hojas, tallos, vástagos) y las dimensiones del aparato asimilatorio (área foliar, área de hojas y tallos, contenido de clorofila, etc.) (Marín, 1989; Kvet *et al.*, 1971) mediante índices de eficiencia fisiológica como tasa absoluta de crecimiento, tasa relativa de crecimiento, tasa de asimilación neta, tasa de crecimiento del cultivo, índice de área foliar, razón de área foliar entre otros. Para lograr una mejor comprensión de los procesos fisiológicos que definen la producción vegetal y seleccionar las mejores alternativas de manejo de cultivo en aspectos relacionados con la fertilización, riego, prácticas sanitarias, podas, orientación del cultivo y densidad de siembra, entre otros (Lambers y Poorter, 1992).

La importancia práctica de la fenología del cultivo radica en que el conocimiento de la tasa de absorción de nutrimentos y la dinámica de estos en el suelo, así como la producción de materia seca por planta, son de gran utilidad para la realización de los aportes de agua y nutrimentos de acuerdo a las exigencias nutrimentales del cultivo durante sus etapas fenológicas (Burgueño *et al.*, 1994). Son diversos los factores que influyen en los ritmos de absorción de nutrimentos por el cultivo, entre los que cabe señalar: material vegetal, condiciones ambientales, calidad del agua de riego y técnica de cultivo, de todos los órganos vegetales de la planta (Cadahía, 1988).

Los experimentos fisiológicos sobre nutrición han sido realizados para investigar la influencia de la amplia gama de composiciones de soluciones nutritivas sobre el

desarrollo y comportamiento de las plantas. Una de ellas es la solución nutritiva universal de Steiner (1984), se caracteriza por tener una relación mutua de aniones y cationes y una concentración total de solutos (macronutrientes) de $30 \text{ mole ion} \cdot \text{m}^{-3}$ que corresponde a un potencial osmótico de -0.072 Mpa , a un pH de 5.0 - 5.5. Esta solución nutritiva permite modificar las concentraciones de nutrientes en el medio de crecimiento y se ha utilizado como medio de estudio para trabajos similares en cultivos como jitomate (Hidalgo *et al.*, 1998; Lara, 1999; Armenta *et al.*, 2001; Villegas *et al.*, 2005; Castellanos *et al.*, 2009), melón (Preciado *et al.*, 2003; Preciado *et al.*, 2004), tomate (Castro *et al.*, 2000; Castro *et al.*, 2004; Magdaleno *et al.*, 2006), pepino (Parra *et al.*, 2004; Barraza, 2008), chile (Barraza, 2000; Zelaya, 2002; Gasga, 2006; Martínez, 2006; Ramos y Luna, 2006; Mata *et al.*, 2007; Preciado *et al.*, 2008; Valle, 2010) frijol (García *et al.*, 2003), fresa (Juárez *et al.*, 2007), frambuesa (Campos *et al.*, 2004), cítricos (Maldonado *et al.*, 2010), crisantemo (Bugarín *et al.*, 1998; Flores *et al.*, 2009; Carrillo, 2009), *Lilium* (Fuentes, 2004) y hierbas aromáticas (Rodríguez *et al.*, 2009).

1.3 LITERATURA CITADA

- Armenta B., A. D.; Baca C., G. A.; Alcántar G., G.; Kohashi S., J.; Valenzuela-U., J. G.; Martínez G., A. 2001. Relaciones de nitratos y potasio en fertirriego sobre la producción, calidad y absorción nutrimental de tomate. Revista Chapingo Serie Horticultura 7(1): 61-75.
- ASERCA. 1998. Chile verde. Revista Claridades Agropecuarias. N° 56. pp. 1-16.
- Barraza, A. F. V. 2000. Crecimiento del chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.) en cuatro soluciones nutritivas bajo invernadero. Tesis de Maestría. Instituto de Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo, México. 142 p.
- Barraza, A. F. V. 2008. Análisis del crecimiento y extracción nutrimental del cultivo del pepino (*Cucumis sativus* L.). Tesis de Doctor en Ciencias. Instituto de Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo, México. 76 p.
- Bugarin M., R.; Baca C., G. A.; Martínez H., J. J.; Tirado T. J. L.; Martínez G., A. 1998. Amonio/nitrato y concentración iónica total de la solución nutritiva en crisantemo. II. Extracción nutrimental de hojas. TERRA latinoamericana 16(2):125-134.
- Burgueño H.; Uribe F.; Valenzuela M. 1994. La fertirrigación de cultivos hortícolas con acolchado plástico. Vol.1 Bursag S.A de C.V. Sinaloa, México. 46 p.
- Cadahía L., C. 1988. Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales. Ed. Mundi-prensa. Madrid, España. 435 p.

- Campos M., L.; Baca C., G. A.; Jaén C., D.; Muratalla L., A.; Acosta H., R. 2004. Fertirriego y micorriza en frambuesa roja cultivada en tepetate. *Agrociencia* 38(1): 75-83.
- Castellanos R., J. Z.; Godoy H., H.; Alcántar G., G.; Sandoval V., M.; Muñoz R., J. J. 2009. Efecto del injerto y nutrición de tomate sobre rendimiento, materia seca y extracción de nutrimentos. *TERRA Latinoamericana* 27(1): 1-11.
- Castro B., R.; Sanchez G., P.; Peña L., A.; Alcantar G., G.; Baca C., G.; López R., R. M. 2000. Niveles críticos de suficiencia y toxicidad de N-NO₃ en el extracto celular de peciolo de tomate de cáscara. *TERRA* 18(2): 141-145.
- Castro B., R.; Galvis S., A.; Sánchez G., P.; Peña L., A.; Sandoval V., M.; Alcantar G., G. 2004. Demanda de nitrógeno en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 10(2): 147-152.
- Carrillo L., L. M. 2009. Efecto de la solución nutritiva de Steiner en la vida de florero de crisantemo. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 98 p.
- Flores R., J. S.; Becerril R., A. E.; González H., V. A.; Tijerina C., L.; Vásquez R., T. 2005. Crecimiento vegetativo y floral del crisantemo [*dendranthema x grandiflorum* (ramat) kitamura] en respuesta a la presión osmótica de la solución nutritiva. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 11(2): 241-249.
- Fuentes L., S. F. 2004. Estudio de la solución nutritiva STEINER modificando la concentración de fósforo en liliom (*Lilium* sp.) híbrido. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo, México. 63 p.

- Gasga P., R. 2006. Análisis de crecimiento y dinámica nutrimental del chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.) Tesis de Maestría. Instituto de Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo, México. 62 p.
- García E., A.; Kohashi S., J.; Baca C., G. A.; Escalante E., J. A. S. 2003. Rendimiento y asignación de materia seca de una variedad de frijol en un sistema hidropónico y suelo. TERRA 21(4): 471-480.
- Hidalgo G., J. C.; Alcantar G., G.; Baca C., G. A.; Sanchez G., P.; Escalante E., J. A. 1998. Efecto de la condición nutrimental de las plantas y de la composición, concentración y pH del fertilizante foliar, sobre el rendimiento y calidad en tomate. TERRA Latinoamericana 16(2): 143-148.
- Juárez R., C. R.; Rodríguez M., M. N.; Sandoval V., M.; Muratalla L., A. 2007. Comparación de tres sistemas de producción de fresa en invernadero. TERRA Latinoamericana 25(1): 17-23.
- Kvet, J.; J. Ondok; J. Necas Y P. Jarvis. 1971. Methods of growth análisis. Plant photosynthetic production. Manual of methods. W. Junk Publishers, The Hague, The Netherlands.
- Lambers, H. Y H. Poorter. 1992. Inherent variation in growth rate between higher plants: A search for physiological causes and ecological consequences. Adv. Ecol. Res. 23: 187-261.
- Lara H., A. 1999. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. TERRA 17(3): 221-229.
- Ledezma M., J. A.; Ruiz C., R. 1995. El sistema producto chile seco en México. Problemática económico-productiva y alternativas de solución.

Avances de investigación. CRUCEN. Dirección de centros regionales. UACH, Zacatecas, México. 146 p.

López L., P.; Castro G., H. 2007. La diversidad genética del chile (*Capsicum spp*). INIFAP-CRUSO. Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Libro técnico Núm. 1. Oaxaca, México. 36 p.

Magdaleno V., J. J.; Peña L., A.; Castro B., R.; Castillo G., A. M.; Galvis S., A.; Ramírez P., F.; Hernández H., B. 2006. Efecto de soluciones nutritivas sobre el desarrollo de plántulas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Revista Chapingo Serie Horticultura 12(2): 223-229.

Maldonado P., M. A. 2010. Desarrollo de plántulas de portainjertos cítricos, en tubetes con diferentes sustratos y soluciones nutritivas. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 75 p.

Marín, D. 1986. Rendimiento en granos en *Canavalia ensiformis* (L.) DC. bajo diferentes arreglos espaciales, épocas y densidades de siembra. Rev. Fac. Agron. 14: 205-219.

Martínez A., N. 2006. Análisis de crecimiento y dinámica nutrimental del chile poblano (*Capsicum annum* L. var. Grossum sendt), en cuatro soluciones nutritivas bajo invernadero. Tesis de Maestría. Instituto de horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 90 p.

Mata V., H.; Núñez E., R.; Aguilar A., J. L.; Vázquez G., E.; Sánchez G., P. 2007. Absorción de nitrógeno en chile serrano desarrollado en hidroponía. pp. 211-215. In: Fourth World Pepper Convention. Querétaro, México. 14-16 agosto de 2007. Querétaro, Qro, México.

- Parra T., S.; Baca C., G. A.; Carrillo G., R.; Kohashi S., J.; Martínez G., A.; Trejo L., C. 2004. Silicio y potencial osmótico de la solución nutritiva en el crecimiento de pepino. *TERRA Latinoamericana* 22 (4): 467-473.
- Preciado R., P.; Baca C., G. A.; Tirado T., J. L.; Kohashi S., J.; Tijerina C., L.; Martínez G., Á. 2003. Presión osmótica de la solución nutritiva y la producción de plántulas de melón. *TERRA* 21(4): 461-470.
- Preciado R., P.; Baca C., G. A.; Tirado T., J. L.; Kohashi S., J.; Tijerina C., L.; Martínez G., Á. 2004. Fertirrigación nitrogenada, fosfórica y programa de riego y sus efectos en melón y suelo. *TERRA Latinoamericana* 22(2): 175-186.
- Preciado R., P.; Lara H., A.; Segura C., M. Á.; Rueda P., E. O.; Orozco V., J. A.; Yescas C., P.; Montemayor T., J. A. 2008. Amonio y fosfato en el crecimiento de plántulas de chile jalapeño. *TERRA Latinoamericana* 26(1): 37-42.
- Ramos G., F. Luna J., A. 2006. Evaluación de tres variedades de chile (*capsicum annuum* L.) en cuatro concentraciones de una solución hidropónica bajo invernadero. *Folleto* 34:6-11.
- Rodríguez M., M. N.; González G., J. L.; Sánchez G., P.; Gaytán A., E. A. 2009. Relación amonio/nitrato en la producción de hierbas aromáticas en hidroponía. *Agric. Téc. Méx* 35(1): 5-11.
- Steiner, A. A. 1984. The universal solution. *Proceedings of 6th International Congress on Soilless Culture*. ISOSC. Lunteren, The Netherlands. pp. 633-649.
- Valle M., J. C. 2010. Acumulación de biomasa, crecimiento y extracción nutrimental (*Capsicum annuum* L.) Tesis de Maestría. Instituto de horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 90 p.

- Vázquez M., S. T. 2005. Fisiotecnia, bromatología y contenido de capsaicinoides en chile de agua (*Capsicum annuum* L.) Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo, México. 92 p.
- Villegas T., O. G.; Sánchez G., P.; Baca C., G. A.; Rodríguez M., M. N.; Trejo, C.; Sandoval V., M.; Cárdenas S., E. 2005. Crecimiento y estado nutrimental de plántulas de tomate en soluciones nutritivas con diferente concentración de calcio y potencial osmótico. TERRA Latinoamericana 23(1): 49-56.
- Zelaya, M., L. X. 2002. Dinámica de la extracción nutrimental del chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P). Tesis de Maestría. Instituto de horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 200 p.

CAPÍTULO 2. CRECIMIENTO DEL CHILE DE AGUA.

ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DEL CHILE DE AGUA.

AN ANALYSIS OF 'CHILE DE AGUA' GROWTH.

M.C. Valentín-Miguel^{1†}; R. Castro-Brindis²; J. E. Rodríguez-Pérez²; M. Pérez-Grajales²

RESUMEN

Con el objetivo de generar información que contribuya al conocimiento de la fenología del 'Chile de agua' (*Capsicum annuum* L.) se realizó un análisis de crecimiento bajo cinco concentraciones (25 %, 50 %, 75 %, 100 % y 125 %) de la solución nutritiva universal de Steiner (1984) en condiciones de hidroponía e invernadero. Se empleó un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones, considerando una planta como unidad experimental. El crecimiento se analizó durante un ciclo de cultivo, de mayo a octubre de 2009. La concentración de la solución nutritiva si afectó el diámetro, altura, número de hojas, área foliar y acumulación de materia seca en cada órgano de la planta. En todas las concentraciones la mayor materia seca se acumuló en los frutos (60 %). Se obtuvo el mismo rendimiento ($\alpha < 0.05$) por planta en 50 y 100 %, y en 75 y 125 % de concentración de la solución nutritiva. En 75 y 100 % se obtuvo la máxima tasa absoluta de crecimiento (103 ddt) y tasa de asimilación neta (90 ddt). La tasa relativa de crecimiento mostró la misma tendencia en las cinco concentraciones. La razón de área foliar aumentó con la solución nutritiva de menor concentración. De acuerdo a lo anterior, se concluye que aumentar la concentración (mayor a 75 %) de la solución nutritiva no incrementa de forma significativa el rendimiento.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: *Capsicum annuum* L., materia seca, área foliar, tasa de crecimiento.

ABSTRACT

In order to generate information that contributes to the study of 'chile de agua' (*Capsicum annuum* L.) phenology, a growth analysis of the plant was conducted using five concentrations (25 %, 50 %, 75 %, 100 % and 125%) of Steiner's universal nutrient solution in greenhouse and hydroponic conditions. A completely randomized experimental design with three replications was used; a plant was considered as the experimental unit. Growth was analyzed over a growing season, from May to October 2009. The nutrient solution concentration affected the diameter, height, leaf number, leaf area and accumulation of dry matter in each plant organ. In all concentrations the most dry matter accumulated in the fruits (60 %). The same yield ($\alpha < 0.05$) per plant was obtained at 50 and 100 %, and at 75 and 125 % nutrient solution concentrations. Differences were found in physiological efficiency indexes (except for RGR). At 75 and 100 %, the maximum absolute growth rate (103 dat) and net assimilation rate (90 dat) were obtained. The leaf area ratio increased with the lowest nutrient solution concentration. Based on the above, it is concluded that increasing the nutrient solution concentration to 75 % does not significantly increase yield.

ADDITIONAL KEY WORDS: *Capsicum annuum* L., dry matter, leaf area, growth rate.

¹ Estudiante de Maestría en Ciencias en Horticultura ² Profesor-Investigador. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México. C. P. 56230. MÉXICO.

2.1 INTRODUCCIÓN

El chile de agua (*Capsicum annuum* L.) es una variedad cultivada en los valles centrales de Oaxaca, México; con amplia preferencia en su consumo y rentabilidad, sobresaliente en producción bajo invernadero; sin embargo dentro de la información disponible para su producción no existen estudios documentados que expliquen su comportamiento en crecimiento, fenología, fisiología y otras variables fisiotécnicas que permitan mejorar el proceso productivo, por lo que es necesario realizar un análisis de crecimiento con el fin de lograr una mejor comprensión de los procesos fisiológicos que definen la producción vegetal y seleccionar las mejores alternativas de manejo del cultivo en aspectos relacionados con la fertilización, entre otros.

2.1.1 OBJETIVOS

- a) Determinar el comportamiento fenológico, eficiencia de acumulación de materia seca y rendimiento de la planta de chile de agua en cinco concentraciones de solución nutritiva.
- b) Obtener los índices de eficiencia fisiológica en la planta completa en cinco concentraciones de solución nutritiva.

2.2 REVISIÓN DE LITERATURA

El análisis de crecimiento es el análisis cuantitativo del ciclo de vida de un organismo o de ciertas fases fenológicas y su correlación con factores ambientales; permite obtener conocimiento sobre el proceso de acumulación y distribución de biomasa a lo largo del ciclo o en una etapa específica de su desarrollo, tanto en la planta completa como en sus diferentes órganos, de modo que permite conocer la relación entre la fuente y la demanda (Roberts *et al.*, 1985).

El crecimiento puede ser evaluado mediante el análisis de la variación de peso seco y el área foliar, en función del tiempo; pero también mediante curvas de crecimiento que según Hunt (1982), son la expresión gráfica de una función matemática que describe el comportamiento del crecimiento de un organismo o población. Con materia seca y área foliar se calculan los índices cuya interpretación sirve para describir el crecimiento de las plantas y sus partes, así como las relaciones entre el aparato asimilatorio y la producción de biomasa (Evans, 1972). Al graficar esta información generalmente se obtiene una curva sigmoide en la que se reconocen tres fases: a) fase exponencial que va desde la germinación hasta parte de la etapa juvenil, b) fase lineal donde el crecimiento vegetativo es más rápido y se tiene la mayor demanda de agua y nutrientes, y c) la fase del estado constante o final donde se acumula la mayor cantidad de

materia seca y disminuye la demanda de agua y nutrimentos (Brown y Scott, 1986).

El análisis de crecimiento mediante el método funcional, en donde los datos provienen de plantas con un bajo número de repeticiones pero con intervalos de tiempo cortos, consiste en seleccionar una función matemática adecuada que ajusta los valores registrados de área foliar y de biomasa acumulada total o de algunos órganos de manera que se aproxime a la curva real de crecimiento (Hunt, 1982). Con estos datos se puede calcular los índices de eficiencia fisiológica como: Tasa Absoluta de Crecimiento (TAC), Tasa Relativa de Crecimiento (TRC), Tasa de Asimilación Neta (TAN), Razón de Área Foliar (RAF), e Índice de Área Foliar (IAF).

La tasa absoluta de crecimiento es la medición de la velocidad de incremento en peso seco de la planta por unidad de tiempo, expresado en $\text{g} \cdot \text{día}^{-1}$ (Hunt, 1982); al principio su comportamiento es ascendente hasta llegar a un punto máximo y luego comienza a disminuir, debido a la senescencia de las hojas es mayor respecto al crecimiento nuevo (Milthorpe y Moorby, 1982). La tasa relativa de crecimiento representa la eficiencia de la planta para producir nuevo material en un tiempo determinado ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$) (Hunt, 1982); se considera como un índice de eficiencia en la producción de peso seco y disminuye a medida que aumenta la edad de la planta (Sivori y Montaldi, 1980). La tasa de asimilación neta expresa el aumento en peso seco total de la planta por unidad de tiempo y por unidad de superficie foliar ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$) (Sivori y Montaldi, 1980). La razón de área foliar (RAF) es la relación que existe entre el área foliar total y el peso seco total o por órgano

de la planta ($\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$) (Hunt, 1982). El índice de área foliar (IAF) expresa la relación entre la superficie de las hojas (solamente de un lado) y el área de terreno ocupada por la planta ($\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$) (Gardner *et al.*, 1985).

Al emplear tasas e índices en el análisis de crecimiento de diferentes genotipos, se tiene una idea más precisa de la interacción planta-tiempo-ambiente (Hunt, 1982) por lo que es importante tomar en consideración la etapa fenológica del cultivo para la fertilización; ya que la tasa de absorción de nutrimentos por el cultivo, e incluso para cada órgano en particular varía en función del tiempo (Burgueño *et al.*, 1994).

Algunos de los estudios de análisis de crecimiento realizados en *Capsicum* spp., son: en pimiento en un ciclo de 165 días después del trasplante (ddt) a 3.3 plantas·m⁻² conducido 2 tallos las plantas presentaron un rendimiento de 14.75 kg de fruto·m⁻² y producción de materia seca de 333, 306 y 86 g·m⁻² en fruto, hoja y tallo, respectivamente (Klaring, 1999).

En pimiento var. Elisa cultivado en invernadero a los 100 ddt se acumuló el 54.2 % de materia seca en frutos, 20.4 % en hoja, 16.7 % en tallo y 8.6 % en raíz; al final del ciclo de cultivo (140 ddt) la planta acumuló 30.3 %, 22.9 %, 28.2 % y 18.7 % en fruto, hoja, tallo y raíz, respectivamente. La tasa absoluta de crecimiento decreció en el intervalo de 100 a 120 ddt y se incrementó de los 120 a 140 ddt (Marcussi *et al.*, 2004). Otro estudio con la misma variedad fue realizado por Fontes *et al.* (2005) en campo abierto en un ciclo de 224 ddt, Al final del ciclo la planta presentó 189, 79, 109 y 368.1 g·planta⁻¹ de materia seca en fruto, tallo, hoja y total. La máxima tasa absoluta de crecimiento se alcanzó a los 224 ddt, la tasa

relativa de crecimiento fue mayor a 28 ddt después disminuyó progresivamente, la tasa de asimilación neta alcanzó su máximo valor a los 56 ddt, la razón de área foliar decreció de los 28 a 182 ddt. El rendimiento obtenido fue 3117 g·planta⁻¹.

En chile morrón var. Ariane en tres densidades 3.3, 8 y 14 plantas·m⁻² en un ciclo de 158 ddt. La densidad de población más baja acumuló más materia seca debido a su mayor área foliar, las otras densidades produjeron mayor índice de área foliar que se correlacionó directamente con mayores cantidades de biomasa y rendimiento de frutos·m⁻². La tasa de asimilación neta (TAN) se incrementó en 24 % en el periodo de amarre de los primeros frutos (Cruz *et al.*, 2005).

En pimiento var. Lesley bajo concentraciones de 25, 75, 125 y 175 % de solución nutritiva de Steiner (1984) e invernadero. Las plantas presentaron crecimiento tipo doble sigmoide y las que crecieron en la solución nutritiva de 25 % tuvieron menor crecimiento y rendimiento. No hubo diferencias significativas en el resto de las concentraciones. Aunque estadísticamente no fue el más alto, el rendimiento obtenido en las plantas desarrolladas en la concentración a 75 % fue aceptable (1967.2 g·planta⁻¹), la máxima tasa absoluta de crecimiento se observó a 85 ddt, la máxima tasa de asimilación neta a los 65 ddt; al final del ciclo el índice de cosecha fue 0.65 (Valle, 2010).

Plantas de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L. cv. Hot) presentaron crecimiento sigmoidal, la producción de frutos se inició 84 días después de la siembra (dds). El peso seco total de la planta fue 117.86 g distribuidos de la siguiente manera: 5 % en raíz, 41 % en parte aérea (hojas y tallos) y 54 % en fruto. El máximo índice de crecimiento relativo fue a los 40 dds, el mayor índice de asimilación neta fue

durante el crecimiento vegetativo y de fruto, la razón de área foliar fue mayor al inicio del desarrollo de la planta (Azofeifa y Moreira, 2004).

En chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) en condiciones de hidroponía con la solución nutritiva de Steiner al 100 % de concentración, a los 176 ddt la materia seca se distribuyó de la siguiente manera: 24 % en tallos, 16 % en hojas y 60 % en frutos (Gasga, 2006). Barraza (2000) encontró que al aumentar la concentración de la solución nutritiva se incrementa el rendimiento.

En chile poblano bajo invernadero en cuatro concentraciones de solución nutritiva de Steiner (50, 75, 100 y 125 %) en un ciclo de 135 ddt. Se obtuvo mayor rendimiento de fruto (39 frutos y 2.4 kg por planta) y mayor eficiencia fisiológica con solución nutritiva al 125 % (Martínez, 2006).

En chile mirador (*Capsicum annuum* L.) bajo invernadero a 188 dds se obtuvo la máxima tasa de asimilación neta, tasa relativa de crecimiento y tasa absoluta de crecimiento en el intervalo de 118 a 132 dds, la razón de área foliar fue mayor en la etapa inicial del ciclo de cultivo (Antonio, 2000).

Vásquez (2005) indica que la planta de chile de agua presenta crecimiento simple sigmoide. La máxima acumulación de materia seca en frutos ocurrió 135 dds. La máxima tasa absoluta de crecimiento fue a 105 dds, la tasa relativa de crecimiento fue máximo al inicio del ciclo biológico y disminuyó a medida que aumentó la edad de la planta, la tasa de asimilación neta máxima fue a los 70 dds. El índice de cosecha fue 44.5 % a 135 dds. En una colecta de materiales de chile de agua sembradas en invernadero e irrigadas con 100 % de concentración de solución

nutritiva de Steiner (1984) se obtuvo 21.55, 15.90, 17.97, 58.79 g de materia seca en tallo, hoja, fruto y total, respectivamente; la tasa absoluta de crecimiento fue máxima a 87 ddt y la máxima tasa relativa de crecimiento se presentó de 0 a 45 ddt (Martínez, 2010).

2.3 MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en un invernadero de estructura metálica y cubierta de polietileno del Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicado geográficamente a 19° 29' de latitud norte y 98° 53' longitud oeste, a una altitud de 2240 msnm. El clima es Cb (wo) (w) (í) g (García, 1988).

El material vegetal utilizado fue 'Ocotlan' procedente de los Valles Centrales del Estado de Oaxaca, que ha sido evaluado y descrito dentro del proyecto de mejoramiento genético de chiles de la Universidad Autónoma Chapingo. Este material fue seleccionado por su precocidad, tamaño, peso de fruto y grosor de pericarpio.

La siembra se realizó en charolas de unicel de 200 cavidades, se utilizó sustrato a base de turba. Cada tercer día se aplicaron riegos ligeros con agua y 10 días posteriores de la emergencia y hasta el momento del trasplante se proporcionó riego con solución nutritiva de Steiner (1984) a 25 % de su concentración. Posteriormente durante el experimento se empleó la solución nutritiva antes mencionada en cinco concentraciones (Cuadro 1).

El trasplante se realizó el 23 de mayo de 2009 (50 dds) en macetas de plástico negro de diez litros de capacidad, colocadas a 0.90 m entre hileras y 0.5 m entre macetas. Como sustrato se empleó arena volcánica (tezontle rojo) y se aplicó al sustrato imidacloprid 0.2 mL L⁻¹ para evitar daños causados por mosquita blanca y trips.

Cuadro 1. Concentración de nutrientes de la solución nutritiva de Steiner (1984) utilizadas en el experimento.

Concentración	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	P.O.*
				(meq·L ⁻¹)			(MPa)
25%	3	0.25	1.75	2.25	1.0	1.75	0.018
50%	6	0.50	3.5	4.5	2.0	3.5	0.036
75%	9	0.75	5.25	6.75	3.0	5.25	0.054
100%	12	1.0	7.0	9.0	4.0	7.0	0.072
125%	15	1.25	8.75	11.25	5.0	8.75	0.090

*P.O.: Presión osmótica

Los tratamientos estudiados fuer cinco concentraciones de solución nutritiva (Cuadro 1) para su preparación se emplearon las siguientes fuentes de macronutrientes: Nitrato de calcio (2N), Nitrato de potasio (1N), Sulfato de potasio (1N), Sulfato de magnesio (1N) y Fosfato monopotásico (0.5N). Los micronutrientes fueron Fe 0.6 ppm, Mn 0.3 ppm, Zn 0.08 ppm, Cu 0.06 ppm, Mo 0.05 ppm, B 0.9 ppm.

Siete días después del transplante (ddt) se aplicó Imidacloprid + Betacyflutrin a razón de 3 mL L⁻¹ de agua para prevenir mosquita blanca. A los 20 ddt el cultivo fue tutorado con cordones de rafia. Se eliminaron las hojas y pequeños brotes anteriores a la primera bifurcación a los 37 ddt.

A los 61 ddt se aplicó Procloraz (2 mL L⁻¹) en forma preventiva contra *Botrytis* y una semana después se aplicó quintoseno y thiram 3 g·L⁻¹ para prevenir *Fusarium sp*, *Pythium sp* y *Rhizoctonia solani*. A los 74 ddt, se hicieron aplicaciones preventivas con Bio-die contra larvas de lepidópteros e insectos adultos.

Se utilizó el diseño experimental completamente al azar con cinco tratamientos y tres repeticiones; la unidad experimental estuvo conformada por una planta establecida en una maceta de 12 litros de capacidad, de los cuales 10 fueron ocupados por el sustrato. Se realizaron 10 muestreos destructivos cada 15 días a partir del trasplante y hasta 150 ddt que correspondieron a una planta completa la cual se fraccionó en sus diferentes órganos (raíz, tallo, hojas, flores y frutos).

Las variables evaluadas en cada muestreo fueron: altura de planta (cm) desde el nudo cotiledonar al meristemo apical más alto, diámetro del tallo principal (cm) en el nudo cotiledonar, número de bifurcaciones del tallo principal, número de hojas totalmente expandidas, área foliar (m²) con integrador Delta-TMK2, número de frutos y rendimiento por planta a partir de siete muestreos, los cuales se iniciaron a los 61 ddt hasta 132 ddt, con intervalos de 10 días. Materia seca (g) de raíz, tallos, hojas y frutos mediante deshidratación del material vegetal a 70° C durante 72 horas. El índice de cosecha se obtuvo al considerar el peso seco de los frutos respecto a la materia seca aérea total.

Se realizaron análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Tukey ($P < 0.05$). Para realizar el análisis de crecimiento se aplicó el programa de cómputo para la estimación de parámetros de modelos no lineales, basado en la regresión no lineal con el modelo logístico con la propuesta de Rodríguez *et al.* (2006).

2.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.4.1 Etapas fenológicas

En el Cuadro 2 se describen las etapas fenológicas observadas en el cultivo de chile de agua en invernadero y los días transcurridos después del trasplante; en general se observó que no hubo efecto de la concentración de la solución nutritiva sobre el desarrollo fenológico.

Cuadro 2. Etapas fenológicas registradas en el ciclo de cultivo de chile de agua bajo invernadero en Chapingo, México. 2009.

Etapa fenológica	Clave	ddt
Trasplante		0
1. Bifurcación de tallo principal	A	15
2. Floración	B	40
3. Formación de fruto	C	45
4. Maduración de fruto	D	61

Tomado de Feller *et al.*, 1995. ddt: días después del transplante.

2.4.2 Análisis de crecimiento

2.4.2.1 Diámetro del tallo, altura de planta y número de bifurcaciones.

De acuerdo con la comparación de medias (Cuadro 3); a partir de los 45 ddt se observó diferencias ($\alpha < 0.05$) entre tratamientos. Las plantas tratadas con solución nutritiva a 25 % de concentración presentaron menor diámetro de tallo (Figura 1a) y menor altura (Figura 1b), debido a la baja disponibilidad de nutrimentos en esta solución nutritiva mientras que las plantas irrigadas con solución nutritiva a 75 % tuvieron mayor altura. Las plantas con tallo grueso tienen mayor capacidad de sostener a las estructuras reproductivas sin que se doble o quiebre, también se

relaciona con mayor área transversal del floema que permite mayor flujo de asimilados hacia los frutos. Probablemente lo anterior, permitió que las plantas de las concentraciones 75 y 125 % hayan acumulado 66.24 y 65.44 % de la materia seca en frutos, respectivamente.

La concentración de nutrimentos en la solución nutritiva no influyó sobre número de bifurcaciones (Figura 1c), la misma respuesta se obtuvo en chile manzano (Barraza, 2000), chile poblano (Martínez, 2006) y pimiento (Valle, 2010); este parámetro no es modificado por un factor externo ya que está determinado genéticamente.

Cuadro 3. Comparación de medias de diámetro de tallo, altura de planta y número de bifurcaciones del tallo principal, durante el ciclo de cultivo de chile de agua bajo cinco concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México. 2009.

Conc.	Días después del transplante (ddt)									
	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
DIAMETRO (cm)										
25%	0.35 a ^z	0.43 a	0.57 b	0.77 b	0.97 a	0.90 b	1.10 b	1.10 b	1.18 b	1.27 b
50%	0.37 a	0.53 a	0.70 ab	0.93 ab	1.00 a	1.17 a	1.33 ab	1.47 ab	1.53 ab	1.53 ab
75%	0.37 a	0.48 a	0.80 a	1.00 ab	1.10 a	1.27 a	1.43 ab	1.53 a	1.67 a	1.80 a
100%	0.43 a	0.52 a	0.80 a	1.00 ab	1.20 a	1.20 a	1.53 a	1.60 a	1.63 a	1.57 ab
125%	0.47 a	0.50 a	0.80 a	1.07 a	1.23 a	1.37 a	1.50 ab	1.63 a	1.60 a	1.83 a
DMS	0.19	0.14	0.14	0.27	0.33	0.21	0.42	0.40	0.37	0.46
ALTURA (cm)										
25%	12.90 a	19.33 a	33.00 b	42.33 bc	50.33 a	52.67 c	55.00 b	56.33 c	58.00 c	63.67 b
50%	13.37 a	23.67 a	33.33 b	51.00 a	53.17 a	55.33 bc	56.00 b	55.67 c	56.67 c	64.67 b
75%	13.93 a	21.77 a	45.33 a	47.67 a	49.67 a	61.17 a	65.33 a	67.00 a	71.67 a	73.33 a
100%	13.33 a	23.20 a	35.00 b	46.50 ab	50.33 a	51.67 c	55.33 b	61.33 b	66.33 ab	68.33 ab
125%	13.83 a	23.33 a	33.17 b	41.33 c	51.33 a	59.00 ab	59.00 b	60.00 b	64.33 b	65.67 b
DMS	4.50	5.00	4.84	4.99	5.94	4.35	4.48	3.40	6.05	5.33
NUM. DE BIFURCACIONES										
25%	-	1.67 a	2.67 a	3.67 a	7.33 a	8.00 a	9.67 a	10.00 a	10.67 ab	11.67 a
50%	-	1.67 a	2.67 a	3.67 a	6.33 a	7.33 a	8.67 a	9.33 a	10.00 b	11.00 a
75%	-	1.67 a	3.00 a	4.00 a	7.00 a	8.00 a	9.33 a	10.33 a	11.33 ab	12.33 a
100%	-	1.67 a	3.00 a	4.00 a	7.33 a	8.33 a	9.67 a	11.00 a	12.00 a	12.67 a
125%	-	2.00 a	3.00 a	4.00 a	7.33 a	8.33 a	9.33 a	10.67 a	11.67 ab	12.67 a
DMS		1.39	0.98	0.98	1.39	1.20	1.55	1.70	1.70	2.19

DMS: Diferencia mínima significativa; ^zValores que comparten la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

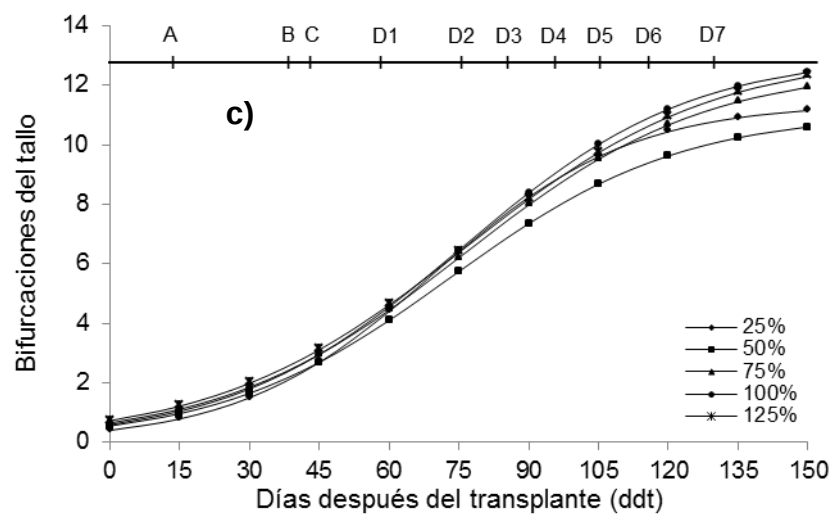
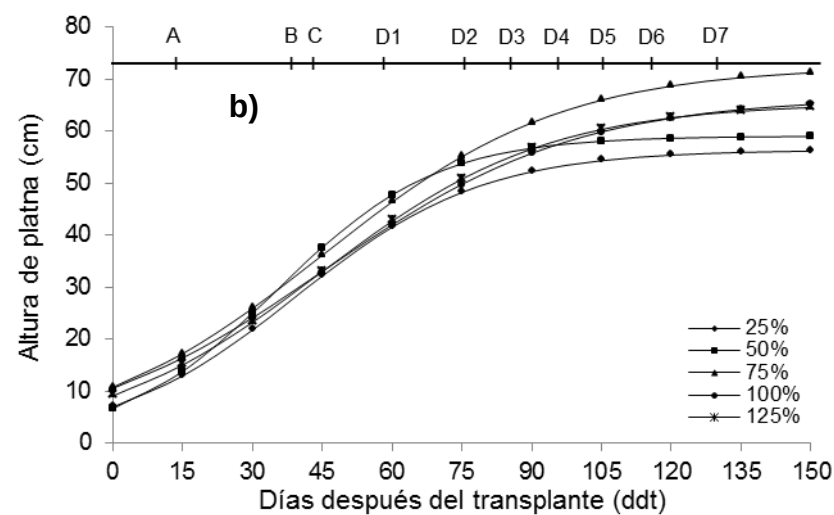
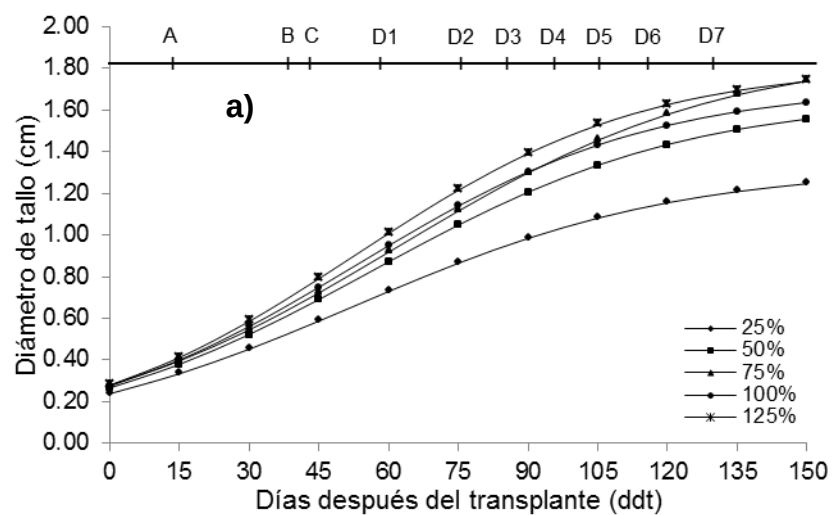


Figura 1. a) Diámetro de tallo, b) Altura de planta, c) Número de bifurcaciones del tallo principal durante el ciclo de cultivo de chile de agua. A: Bifurcación de tallo Principal; B: Floración; C: Formación de fruto; D: Maduración de fruto y D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7: Cortes de fruto. Chapingo, México. 2009.

2.4.2.2 Número de hojas y área foliar.

De acuerdo con el análisis de varianza (Cuadro 4), las plantas con 75 % de concentración de la solución nutritiva tuvieron mayor número de hojas desde el trasplante hasta 105 ddt, posteriormente y hasta el final del ciclo se observó mayor cantidad en las plantas de 100 y 125 % (Figura 2a).

Las plantas que crecieron en 125 % tuvieron muchas hojas y en consecuencia aumentó el área foliar a partir de 90 ddt hasta el final del cultivo (Figura 2b), debido a la alta concentración de nitrógeno en la solución lo que produjo mayor cantidad de fotoasimilados que fueron transportados a los órganos demandantes (frutos) que se manifestó en mayor peso seco total, número y peso de frutos.

Al final del cultivo el número de hojas fue mayor ($\alpha < 0.05$) en 100 y 125 %; sin embargo, el área foliar fue mayor ($\alpha < 0.05$) en 75, 100 y 125 % de concentración de la solución nutritiva, por lo que se puede observar que la concentración no solo afecta el número de hojas sino también el tamaño de las mismas y en consecuencia el área foliar.

Cuadro 4. Comparación de medias del número de hojas y área foliar por planta, durante el ciclo de cultivo de chile de agua bajo cinco concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México. 2009.

Conc.	Días después del transplante (ddt)									
	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
NÚMERO DE HOJAS										
25%	11.33 a ^z	33.67 b	89.33 c	137.00 b	333.67 b	266.00 d	384.33 c	432.33 d	535.67 d	610.33 c
50%	13.00 a	67.33 a	116.67 ab	186.00 b	337.67 b	483.67 b	540.67 b	633.00 c	821.00 bc	888.67 b
75%	13.67 a	65.67 a	137.67 ab	258.33 a	452.00 a	559.33 a	633.67 a	703.00 bc	711.67 c	865.00 b
100%	13.33 a	35.67 b	143.33 a	267.33 a	381.67 b	418.00 c	642.00 a	742.33 ab	837.33 b	1147.0 a
125%	12.33 a	65.67 a	113.67 bc	266.67 a	345.33 b	536.00 ab	700.33 a	825.00 a	978.67 a	1169.0 a
DMS	3.25	12.35	26.84	68.10	68.13	60.98	81.49	96.60	116.43	122.63
ÁREA FOLIAR										
25%	0.005 bc	0.039 b	0.049 d	0.140 c	0.370 b	0.448 cd	0.519 c	0.560 c	0.662 c	0.746 b
50%	0.005 c	0.050 a	0.109 c	0.231 c	0.326 b	0.365 d	0.468 c	0.576 c	0.656 c	0.752 b
75%	0.007 abc	0.049 a	0.166 a	0.273 a	0.365 b	0.591 b	0.763 b	0.810 b	0.937 b	1.221 a
100%	0.008 ab	0.048 ab	0.121 bc	0.241 b	0.342 b	0.511 cb	0.655 a	0.869 b	0.958 b	1.256 a
125%	0.009 a	0.043 ab	0.130 b	0.242 b	0.593 a	0.736 a	0.824 a	0.935 a	1.057 a	1.164 a
DMS	0.003	0.009	0.017	0.023	0.127	0.09	0.081	0.065	0.071	0.117

DMS: Diferencia mínima significativa; ^zValores que comparten la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

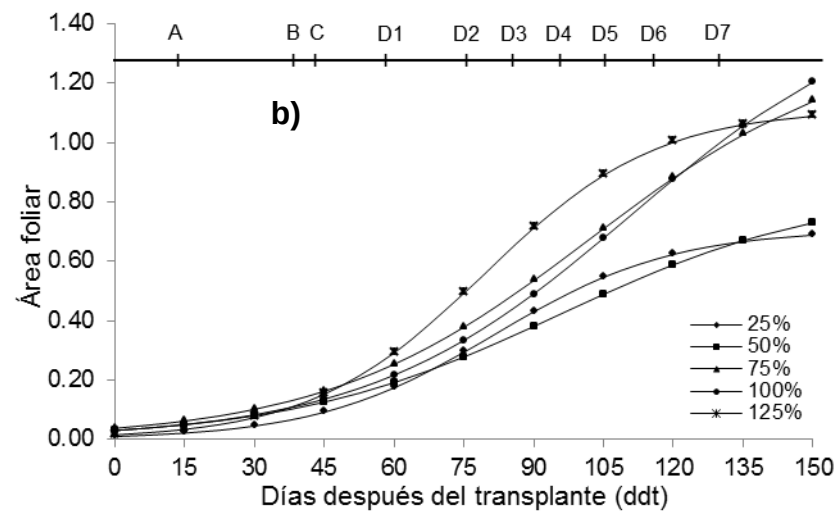
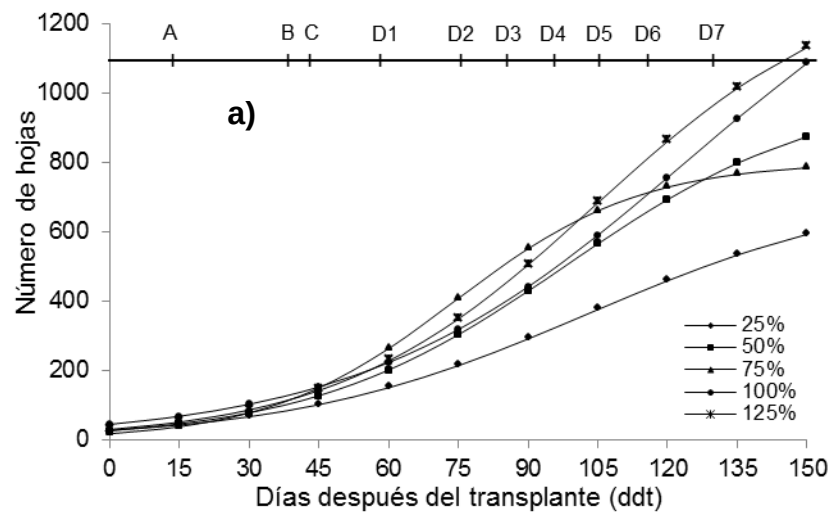


Figura 2. a) Número de hojas y b) Área foliar durante el ciclo de cultivo de chile de agua. A: Bifurcación de tallo Principal; B: Floración; C: Formación de fruto; D: Maduración de fruto y D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7: Cortes de fruto. Chapingo, México. 2009.

2.4.3 Rendimiento

Número, peso fresco total de frutos e índice de cosecha.

El índice de cosecha para los cinco tratamientos estuvo en el intervalo de 0.64 a 0.70, superior a lo obtenido por Vásquez (2005) que menciona un índice de cosecha de 0.45 para esta especie.

2.4.3.1 Número de frutos.

De acuerdo a la prueba de comparación de medias, en la plantas de la concentración de 75, 100 y 125 % produjeron estadísticamente el mayor número de frutos, el menor valor se encontró en las plantas de la solución nutritiva a 25 % (Cuadro 5).

2.4.3.2 Rendimiento de frutos.

De acuerdo a la prueba de comparación de medias, la mayor producción de fruto por planta se encontró en las concentraciones de 75, 100 y 125 %, el menor rendimiento se observó en plantas que crecieron en la concentración de 25 %. En relación con el peso promedio de fruto no se observó diferencia significativa por efecto de las concentraciones de solución nutritiva; es decir, el tamaño de fruto no fue afectado pero sí el número de frutos el cual varió de forma considerable (cuadro 5) y se reflejó en el rendimiento.

Con la concentración 25 % las plantas produjeron menor número de frutos y por lo tanto menor rendimiento; sin embargo, los frutos presentaron tamaño y color comercialmente aceptable. Aunque se tuvo igual número de bifurcaciones en

todas las concentraciones, el porcentaje de amarre de frutos en la de 25 %, fue de 34 % respecto a la concentración de 125 %, en las que hubo mayor amarre de frutos. Lo anterior fue resultado de la limitada disponibilidad nutrimental que ofreció al medio de crecimiento (sustrato) la concentración de 25 % (Cuadro 5).

En las concentraciones 75, 100 y 125 % el área foliar fue estadísticamente igual y resultó suficiente para suministrar a los frutos la cantidad de fotoasimilados necesarios para buen desarrollo y a pesar de que se incrementó la demanda ocasionada por el alto número de frutos, la superficie fotosintética de la planta tuvo el mismo valor en la etapa final de cultivo.

En las concentraciones 75, 100 y 125 % se obtuvo estadísticamente ($\alpha < 0.05$) el mismo rendimiento (Figura 3). Lo cual indica que las plantas que se desarrollaron en 75 % de concentración son más eficientes, ya que pueden alcanzar un rendimiento similar a lo obtenido en las soluciones nutritivas de más alta concentración. Además, si esto se analiza desde el punto de vista económico el sistema de producción resulta más redituable si se utilizan soluciones nutritivas con menor cantidad de fuentes de nutrimentos, ya que el costo en pesos por metro cúbico de solución nutritiva, al momento en que se realizó el experimento, fue de 21.27, 28.37 y 35.45, respectivamente.

Si se considera que el inicio de cosecha en este sistema (hidropónico) fue a los 61 ddt en un ciclo de cultivo de 150 ddt, en el que se realizaron siete cortes, representa la posibilidad de disponer de una más amplia ventana de mercado para ofrecer este producto, si se compara con la producción a campo abierto en donde la cosecha inicia 30 días después (90 ddt) y en la que solo es posible

realizar cuatro cortes (López y Castro, 2007). Esto significa que la producción en sistema hidropónico representa una alternativa tecnológica para el manejo de este cultivo.

Cuadro 5. Comparación de medias de número de frutos, peso total, peso promedio de frutos, índice de cosecha biológico e índice de cosecha comercial por planta, obtenido en el cultivo de chile de agua en cinco concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México. 2009.

Conc.	Frutos			IC	
	Número	Peso total (g)	Peso prom.(g)	biológico	comercial
25%	34.19 c ^z	991.70 c	30.33 a	0.64 a	0.27 a
50%	63.81 bc	1815.50 b	28.48 a	0.69 a	0.34 a
75%	82.02 ab	2192.90 ab	26.84 a	0.64 a	0.32 a
100%	68.87 ab	1896.90 b	27.96 a	0.69 a	0.29 a
125%	100.29 a	2601.50 a	25.95 a	0.65 a	0.36 a
CV	16.11	10.44	17.84	4.33	9.58
DMS	31.74	559.41	14.05	0.08	0.09

CV: Coeficiente de variación. DMS: Diferencia mínima significativa; ^zValores que comparten la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

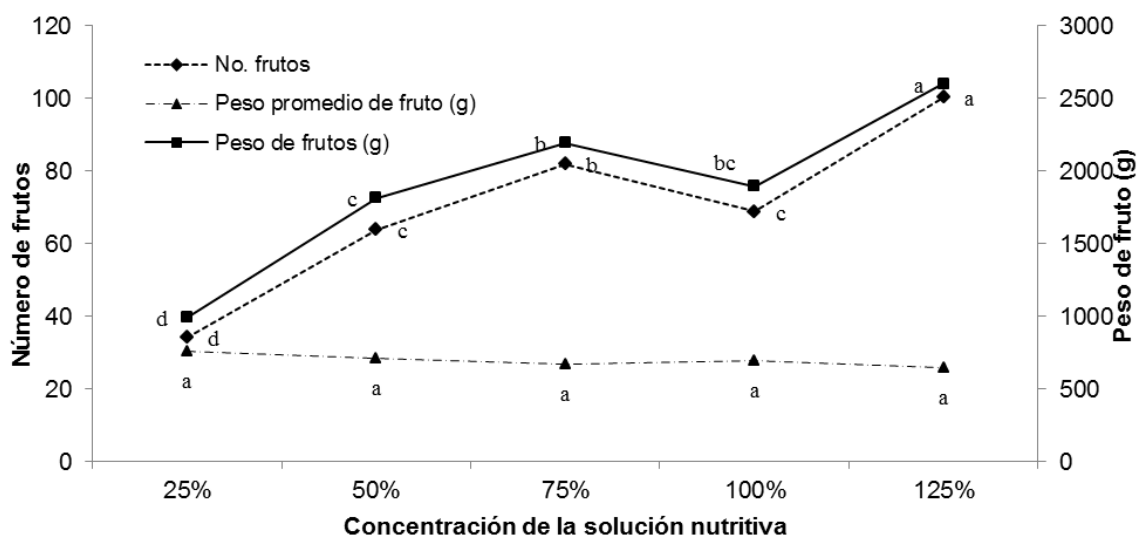


Figura 3. Comportamiento del número de frutos, peso total y peso promedio de fruto en diferentes concentraciones de solución nutritiva en un ciclo de cultivo de chile de agua. Chapingo, México. 2009.

2.4.4 Distribución de materia seca.

2.4.4.1 Distribución de materia seca por tratamiento.

Los análisis de varianza y comparación de medias muestran diferencias significativas en la acumulación de materia seca total y en cada órgano de la planta (Cuadros 6 y 7).

La acumulación de materia seca en raíz no presentó diferencias significativas entre concentraciones, desde trasplante hasta los 75ddt, periodo en que el número de órganos de demanda en la parte aérea de la planta era reducido. A partir de 90 ddt y hasta el final del ciclo de cultivo solo las plantas en la concentración 125 % presentaron mayor materia seca en su raíz (Figura 4a).

En tallo se observó diferencias significativas entre concentraciones a partir de 45 ddt, donde las plantas tratadas con 75 % de concentración de la solución nutritiva acumularon mayor cantidad de materia seca hasta el final del cultivo (150 ddt) (Figura 4b). En esta concentración las plantas fueron más altas. Esta especie se acumuló más materia seca que otras como chile poblano (Martínez, 2006) y chile manzano (Gasga, 2006) a pesar de que chile de agua de menor porte.

En hoja no se observó diferencias significativas entre las concentraciones 75, 100 y 125 % de solución nutritiva de los 45 a 90 ddt (Figura 4d). Posteriormente la concentración de 125 %, al disponer de mayor cantidad de nutrimentos acumuló mayor cantidad de materia seca durante el resto del ciclo de cultivo y por lo tanto mayor área foliar, lo que permitió sintetizar más carbohidratos que fueron

traslocados a los frutos; sin embargo, el rendimiento fue similar a lo obtenido en las concentraciones 75 y 100 %.

A los 45 ddt inició la acumulación de materia seca en frutos en todas las concentraciones. Después del primer corte de frutos (61 ddt), a los 75, 120 y 150 ddt no se observaron diferencias significativas de acumulación de materia seca en frutos, con excepción de lo acumulado en la menor concentración (Figura 4c). Lo anterior tiene su explicación en que dentro de los intervalos mencionados se realizaron cortes de fruto, lo cual implicó retirar de la planta punto fuertes de demanda que permitieron a la planta canalizar fotosintatos a los frutos pequeños en desarrollo acumulando por tanto mayor cantidad de materia seca en estas estructuras de la planta.

Al final del ciclo de cultivo no se observó diferencias significativas en la acumulación de materia seca en frutos en las concentraciones 50, 75, 100 y 125 %.

Con respecto a materia seca total no hubo diferencias significativas entre 75, 100 y 125 % de concentración desde 45 ddt hasta el final de ciclo de cultivo debido a la mayor disponibilidad de nutrimentos en comparación con las concentraciones 25 y 50 % (Figura 5).

Cuando se proporciona mayor cantidad de nutrimentos la planta tiene más posibilidades de acumular materia seca lo cual no necesariamente significa que ésta se acumule en los frutos o en las estructuras de interés.

Cuadro 6. Comparación de medias de acumulación de materia seca en raíz, tallo, hoja, fruto y total durante el ciclo de cultivo de chile de agua bajo cinco concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México. 2009.

Conc.	Días después del transplante (ddt)																				
	15		30		45		60		75		90		105		120		135		150		
	RAÍZ (g)																				
25%	0.10	b ^z	0.75	a	2.23	b	4.44	a	11.71	a	17.34	cb	18.42	b	21.85	b	23.94	cb	25.56	c	
50%	0.13	ab	0.88	a	3.06	ab	5.47	a	11.40	a	18.54	b	19.22	b	20.75	b	23.08	c	26.95	bc	
75%	0.17	ab	0.58	a	3.39	ab	5.27	a	11.17	a	18.89	b	21.06	b	22.50	b	26.45	bc	34.26	b	
100%	0.20	a	0.62	a	3.67	a	5.06	a	12.56	a	16.00	b	20.01	b	23.77	b	30.53	b	32.89	bc	
125%	0.20	a	0.82	a	2.58	ab	5.72	a	14.34	a	26.76	a	31.76	a	32.76	a	37.62	a	46.90	a	
DMS	0.10		0.41		1.25		3.05		3.50		1.94		3.32		3.39		4.83		8.06		
	TALLO (g)																				
25%	0.10	a	0.49	a	1.52	c	6.47	b	17.30	c	19.37	d	38.81	c	52.29	c	65.64	c	72.80	c	
50%	0.10	a	0.84	a	3.04	b	13.48	a	23.40	c	30.84	c	33.46	c	37.83	d	55.84	d	79.76	c	
75%	0.17	a	0.73	a	4.70	a	11.12	a	57.14	a	64.74	a	73.44	a	93.08	a	121.44	a	136.16	a	
100%	0.17	a	0.53	a	3.68	ab	15.23	a	52.62	a	65.27	a	80.01	a	89.46	a	96.15	b	104.39	b	
125%	0.17	a	0.73	a	3.27	b	13.52	a	34.21	b	45.68	b	55.45	b	75.95	b	90.85	b	138.55	a	
DMS	0.17		0.41		1.16		4.15		6.78		5.65		10.25		8.16		9.14		12.61		
	HOJA (g)																				
25%	0.23	b	0.76	c	2.46	b	6.60	c	12.21	b	17.59	c	17.08	c	21.98	c	27.90	c	35.13	d	
50%	0.23	b	1.38	a	5.07	a	9.85	b	16.79	b	29.06	b	36.68	b	47.01	ab	52.12	b	54.87	c	
75%	0.23	ab	0.98	bc	6.93	a	11.31	ab	27.49	a	32.26	ab	37.44	b	44.17	b	50.59	b	69.61	ab	
100%	0.43	a	0.74	c	6.16	a	13.45	a	25.63	a	31.73	ab	44.49	a	47.61	a	55.27	b	63.65	bc	
125%	0.47	a	1.14	ab	5.28	a	12.53	ab	27.19	a	37.20	a	44.49	a	56.06	a	69.80	a	75.90	a	
DMS	0.16		0.37		2.08		3.23		5.13		5.97		6.32		10.01		6.89		10.09		
	FRUTO (g)																				
25%	-		-		0.47	b	1.66	b	38.69	a	66.60	c	110.90	c	151.81	b	174.81	c	208.56	b	
50%	-		-		0.52	b	3.77	b	51.40	a	104.86	ab	145.13	b	223.42	a	245.93	b	318.24	a	
75%	-		-		0.78	b	2.72	b	45.40	a	101.36	ab	206.35	a	276.56	a	300.75	a	379.54	a	
100%	-		-		0.96	b	4.64	ab	45.70	a	92.74	b	189.09	a	274.35	a	323.69	a	384.29	a	
125%	-		-		2.94	a	7.47	a	53.47	a	120.98	a	193.62	a	261.87	a	338.51	a	402.71	a	
DMS					0.69		3.43		43.70		24.73		31.55		62.85		43.89		104.07		

DMS: Diferencia mínima significativa; ^zValores que comparten la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

Cuadro 7. Comparación de medias de acumulación de materia seca total durante el ciclo de cultivo de chile de agua bajo cinco concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México. 2009.

Conc.	Días después del transplante (ddt)									
	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
	TOTAL (g)									
25%	0.43 c ^z	1.99 bc	6.85 b	20.02 b	81.15 b	122.21 c	187.12 b	250.27 c	296.13 c	347.04 c
50%	0.47 bc	3.12 a	11.72 ab	34.57 a	107.60 ab	185.09 b	237.07 b	331.88 b	381.10 b	484.24 b
75%	0.70 ab	2.29 bc	16.08 a	31.65 a	143.39 a	220.22 ab	341.50 a	439.65 a	504.31 a	626.78 a
100%	0.80 a	1.83 c	14.43 a	39.52 a	138.79 a	208.44 b	336.45 a	438.65 a	510.60 a	591.41 a
125%	0.83 a	2.69 ab	13.85 a	40.03 a	130.89 a	245.90 a	336.83 a	419.11 a	530.57 a	667.40 a
DMS	0.24	0.79	13.85	9.01	41.98	35.23	61.50	61.28	53.58	97.19

DMS: Diferencia mínima significativa; ^zValores que comparten la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

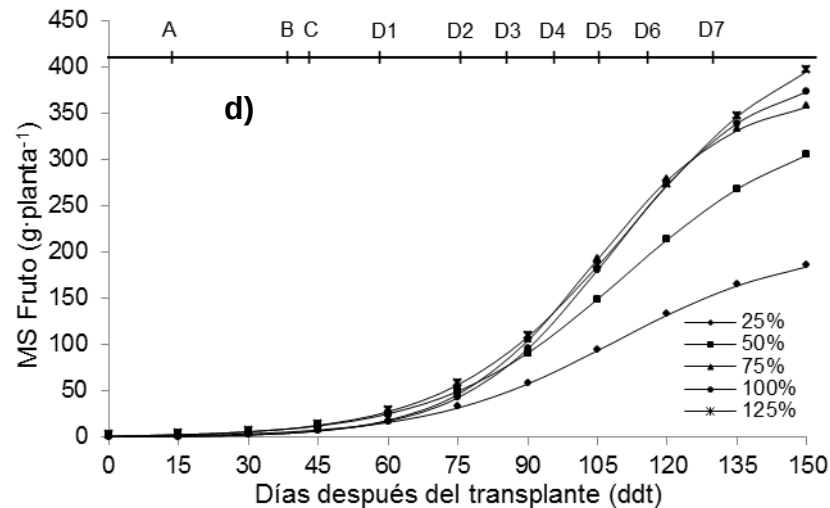
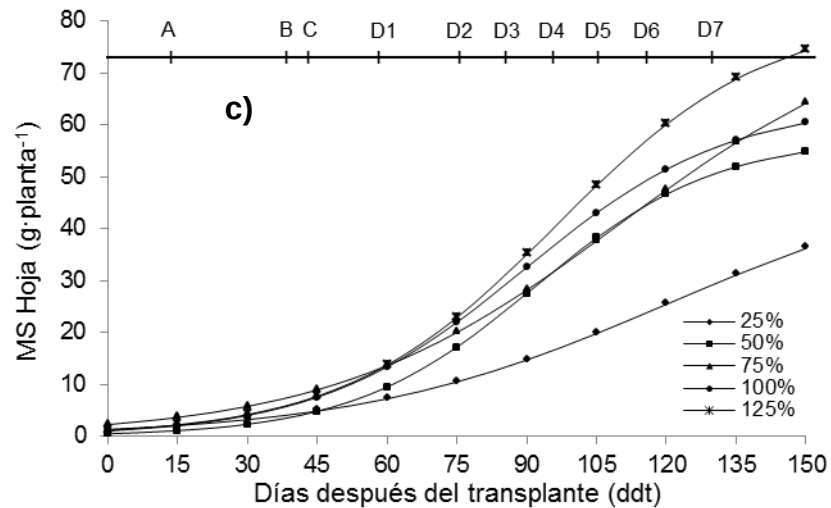
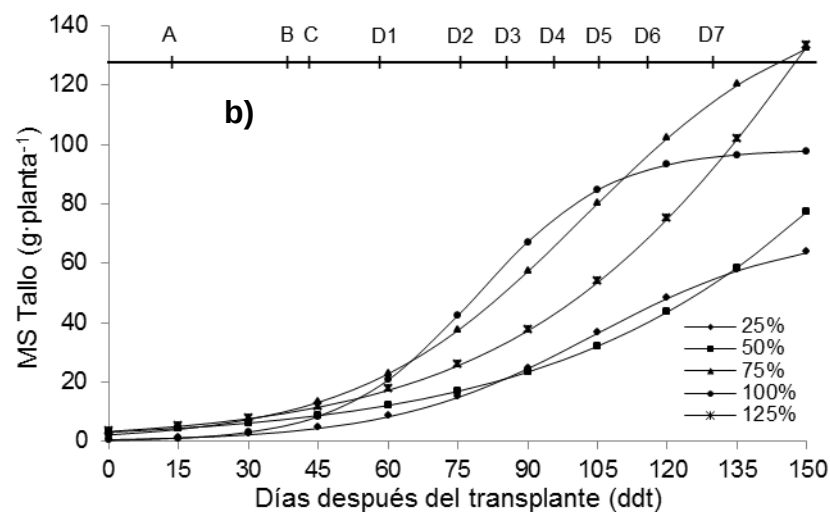
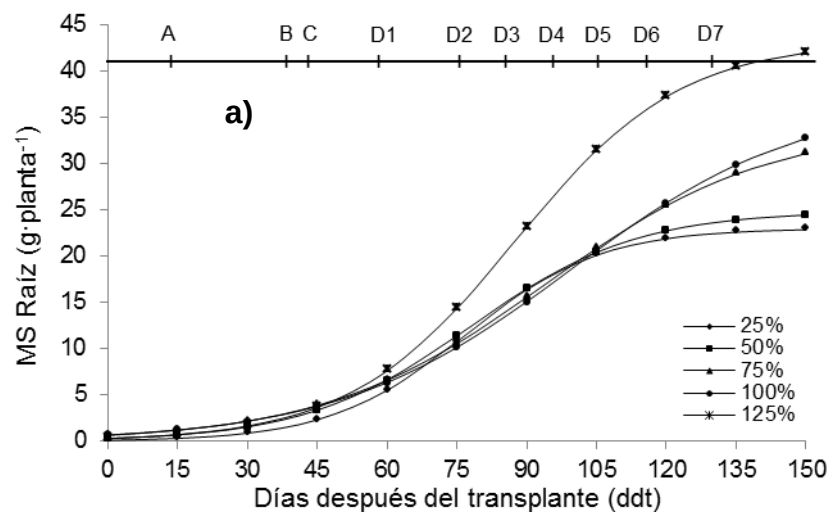


Figura 4. Acumulación de materia seca en: a) Raíz, b) Tallo, c) Hoja y d) Fruto, durante el ciclo de cultivo de chile de agua bajo cinco concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. A: Bifurcación de tallo Principal; B: Floración; C: Formación de fruto; D: Maduración de fruto y D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7: Cortes de fruto. Chapingo, México. 2009

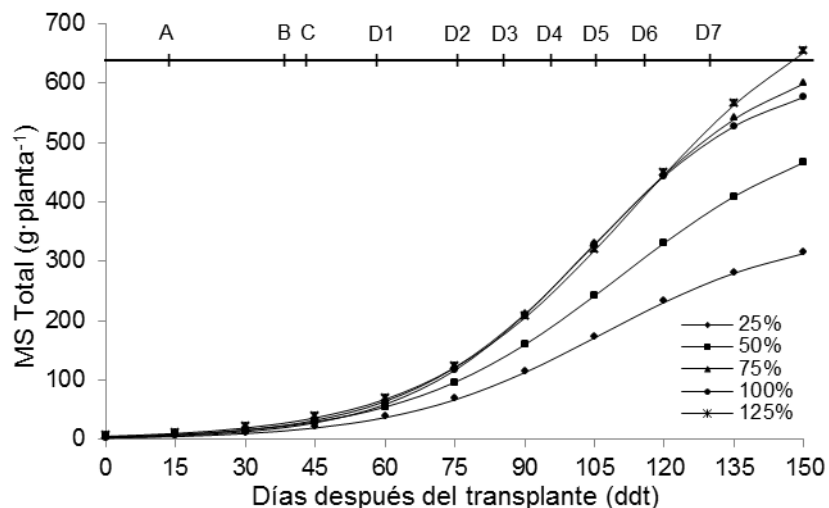


Figura 5. Acumulación de materia seca total durante el ciclo de cultivo de chile de agua bajo cinco concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. A: Bifurcación de tallo Principal; B: Floración; C: Formación de fruto; D: Maduración de fruto y D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7: Cortes de fruto. Chapingo, México. 2009.

2.4.4.2 Distribución relativa de materia seca por órgano

Se encontró que en la etapa que comprende de bifurcación del tallo principal (15 ddt) al inicio de la fase reproductiva (45 ddt), la mayor acumulación de materia seca fue en tallo y hojas (Figuras 6 y 7), después de esta etapa y hasta el final del ciclo del cultivo la mayor acumulación de materia seca fue en fruto (Cuadro 8).

La acumulación de materia seca fue lenta hasta 45 ddt y se incrementó al inicio de la fructificación (60 ddt), lo que coincide con lo observado por Moreno *et al.*, (2003); Marcussi *et al.*, (2004); Martínez (2006) y Gasga (2006) en otras especies de *Capsicum spp.*

Cuadro 8. Distribución relativa de la materia seca total por órgano a 45 y 150 días después de trasplante, durante el ciclo de cultivo de chile de agua bajo cinco concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México. 2009.

Variable	CONCENTRACIÓN DE SOLUCIÓN NUTRITIVA									
	25%		50%		75%		100%		125%	
	45ddt	150ddt	45ddt	150ddt	45ddt	150ddt	45ddt	150ddt	45ddt	150ddt
	% DE MATERIA SECA									
Raíz	33.30	7.45	26.43	5.65	21.41	5.52	26.13	5.69	20.15	7.07
Tallo	22.63	21.39	26.44	16.64	29.74	22.13	26.15	17.94	25.82	20.86
Hoja	37.11	10.33	44.26	11.48	43.92	11.29	43.54	10.93	40.92	11.44
Fruto	6.96	60.83	2.87	66.24	4.93	61.06	4.18	65.44	13.11	60.63
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

ddt: días después del trasplante.

Este comportamiento resulta de la baja tasa absoluta de crecimiento que muestran las plantas en la etapa inicial de crecimiento, ya que aunque en el medio subterráneo se encuentren condiciones favorables de disponibilidad de humedad, nutrimentos y oxígeno, el sistema de raíces poco desarrollado limita la superficie de contacto, responsable de la absorción, con respecto al sustrato y no le permite acceder a los recursos mencionados. En la medida que el sistema de raíces explora mayor volumen de sustrato tiene mejor acceso a la humedad, nutrimentos y oxígeno lo cual permite incrementar la tasa de crecimiento.

Después del trasplante, las plantas se mantienen en un periodo de adaptación durante los 15 ddt, durante el cual la materia seca es acumulada principalmente en las hojas. De los 15 a 60 ddt, se distribuye a los tallos, hojas y raíces, ampliando el sistema radical. La raíz representa el 5 % y 8% de materia seca en chile jalapeño y pimiento var. Elisa (Azofeifa y Moreira, 2004; Marcussi *et al.*, 2004). En la Figura 6 y 7 se muestra la distribución relativa de materia seca en raíz, tallo, hoja y fruto.

Desde la etapa de fructificación hasta el final del ciclo de cultivo (150 ddt), la materia seca acumulada en hojas y en otros órganos disminuyó, en el caso particular de las hojas después de constituir alrededor de 40 % de la biomasa total terminó en aproximadamente 11 %. Esto indica que después de que aparecen los frutos se constituyen en el órgano más importante de acumulación de biomasa, en detrimento de la acumulación de ésta en los demás órganos de la planta (Cuadro 8). En plantas del género *Capsicum* spp., se ha reportado valores de 15 a 30 % de materia seca en hoja al final del ciclo de cultivo (Antonio, 2000; Marcussi *et al.*, 2004; Azofeifa y Moreira, 2004; Martínez, 2006).

El rendimiento de un cultivo viene dado por la capacidad de acumular biomasa en los órganos que se destinan a la cosecha y un incremento proporcional de la materia seca destinada a estos órganos garantiza un incremento del rendimiento por lo que se debe garantizar condiciones ambientales y de manejo para la polinización en las flores y amarre de fruto.

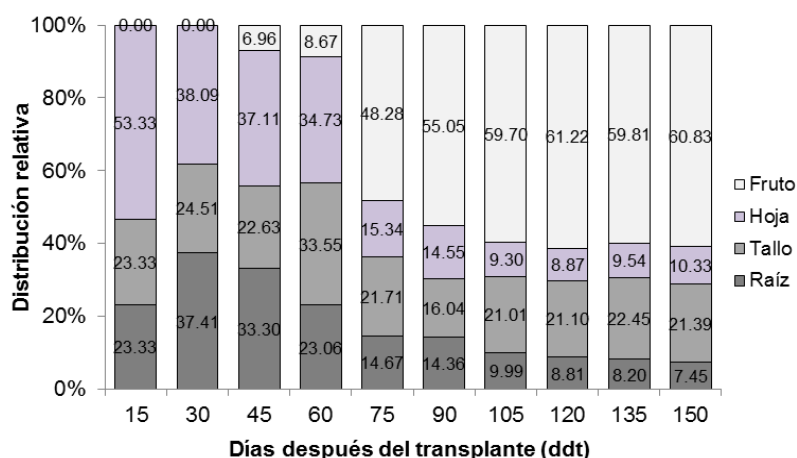


Figura 6. Distribución relativa de materia seca en cada órgano de la planta de chile de agua fertirrigada con 25 % de concentración de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México. 2009.

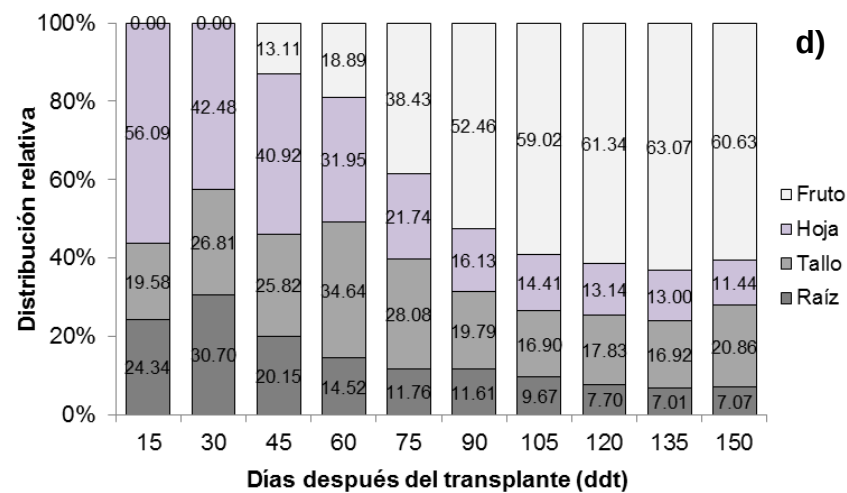
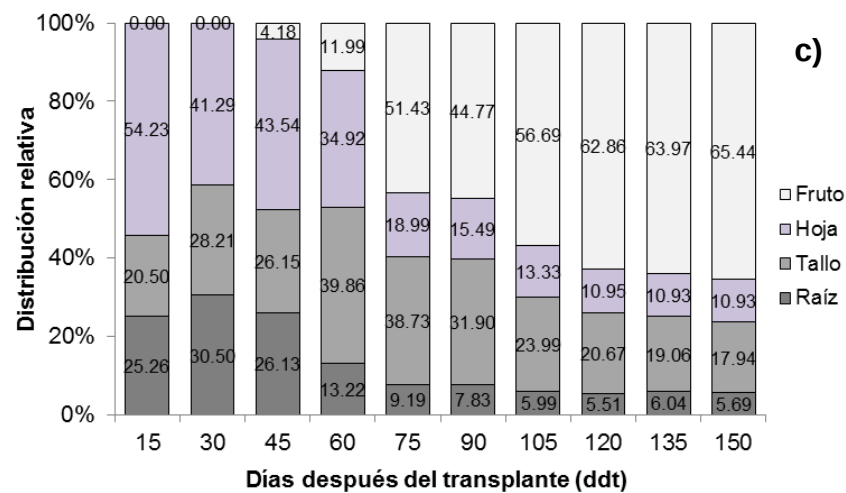
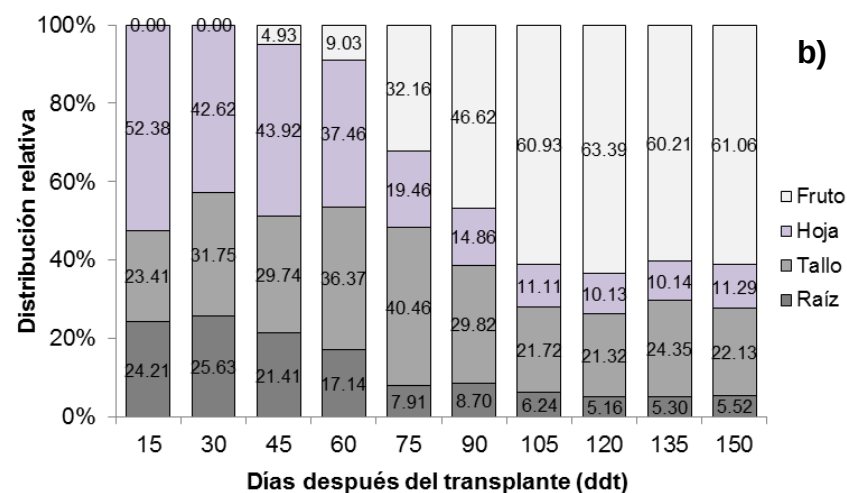
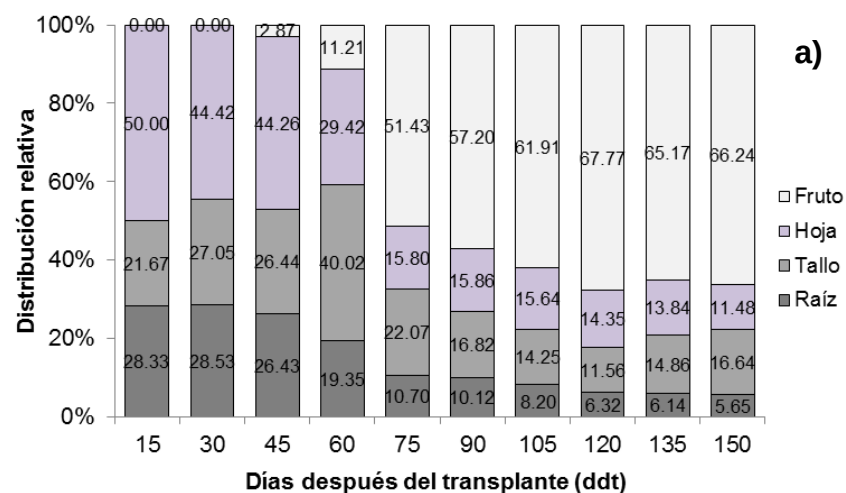


Figura 7. Distribución relativa de materia seca en cada órgano de la planta de chile de agua fertirrigada con a) 50 %, b) 75 %, c) 100 % y d) 125 % de concentración de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México. 2009.

2.4.5 Índices de eficiencia fisiológica.

2.4.5.1 Tasa absoluta de crecimiento (TAC).

La TAC se incrementó gradualmente desde el trasplante hasta los 45 ddt en las cinco concentraciones, periodo durante el cual las plantas se adaptaron y formaron las estructuras de fijación e intercepción de radiación. Las concentraciones 75, 100 y 125 % tuvieron mayor ganancia de materia seca a los 106, 103 y 116 ddt, respectivamente con valores de 7.8908, 7.9002 y 7.6866 $\text{g}\cdot\text{planta}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$ (Figura 8a). Debido a que las plantas que crecieron en estas concentraciones tuvieron más estructuras de demanda y asimilación, por lo que la planta no tuvo restricciones nutrimentales con respecto a las concentraciones de 25 y 50 %. Las plantas que alcanzan su máxima TAC en menor tiempo son más eficientes en el uso de agua, nutrimentos y radiación disponible para la producción de biomasa.

2.4.5.2 Tasa relativa de crecimiento (TRC).

Durante el ciclo del cultivo (0 a 150 ddt) las plantas que se desarrollaron en las cinco concentraciones mostraron la misma tendencia; la TRC disminuyó lentamente del inicio del ciclo de cultivo hasta los 70 ddt. Se observó gran eficiencia en la síntesis y acumulación de peso seco por cada unidad de peso seco presente en las primeras etapas de desarrollo ya que los tejidos jóvenes poseen mayor actividad fotosintética, meristemática y de asimilación (Figura 8b).

Después que las plantas de las cinco concentraciones, alcanzaron sus valores máximos de TRC (0 a 70 ddt) disminuyeron gradualmente hasta el final del ciclo. Este comportamiento es típico ya que presenta valores altos al principio del ciclo de cultivo debido al crecimiento acelerado y a la gran división celular que se presenta en esta etapa, y a medida que pasa el tiempo el valor de la TRC decrece hasta tender a cero, al final del cultivo. Este comportamiento fue observado en chile manzano (Barraza, 2000 y Gasga 2006), chile poblano (Martínez, 2006), en chile de agua (Martínez, 2010), y en chile mirador (Antonio, 2000).

2.4.5.3 Tasa de asimilación neta (TAN).

Los valores de TAN en las plantas, mostraron variación en cada uno de las concentraciones evaluadas. Las plantas en 50, 75 y 100 % de concentración mostraron valores altos durante todo el ciclo de cultivo. La máxima TAN se alcanzó entre los 80 y 90 ddt con valores de 1.2178, 1.2680 y 1.4511 $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$, respectivamente. Lo que sugiere mayor eficiencia fotosintética por unidad de superficie foliar (Figura 8c).

La TAN disminuyó en todas las concentraciones después de 120 ddt, debido posiblemente al sombreado de las hojas superiores sobre las inferiores, lo que provoca disminución de su capacidad fotosintética.

Los máximos valores de TAN se alcanzaron durante la etapa de crecimiento y llenado de fruto los cuales representa sitios de alta demanda de fotoasimilados.

2.4.5.4 Razón de área foliar (RAF).

Las plantas en 125 % presentaron valores bajos durante todo el ciclo de cultivo con respecto a las demás concentraciones, en cambio las plantas en 25 % presentaron el mayor valor de RAF.

Este comportamiento se atribuye a que la síntesis materia seca fue más rápida en las hojas de la concentración de 125 % lo cual permitió a la planta producir y acumular mayor cantidad de biomasa con menor área foliar.

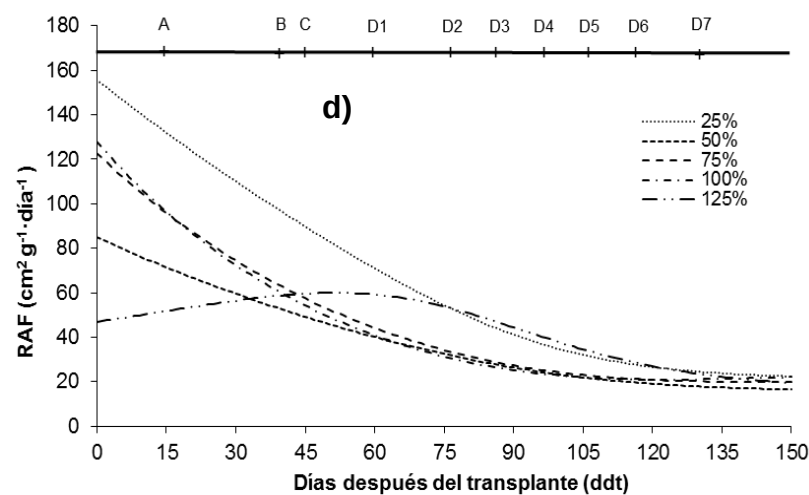
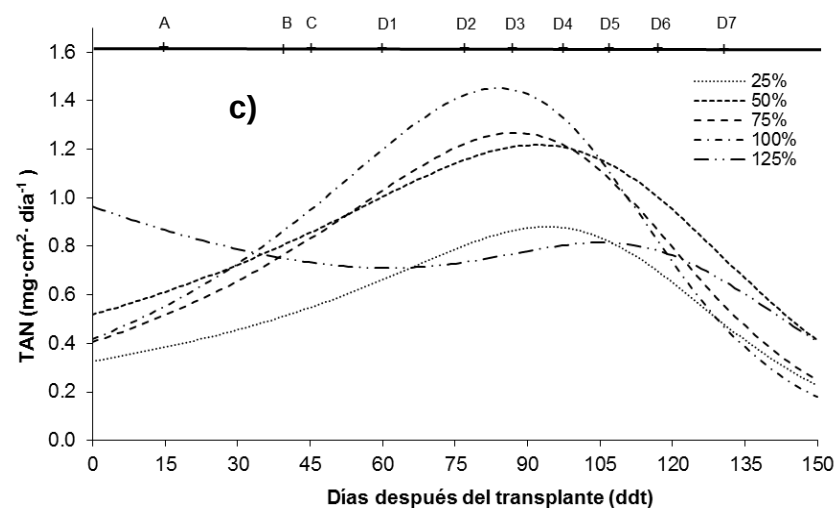
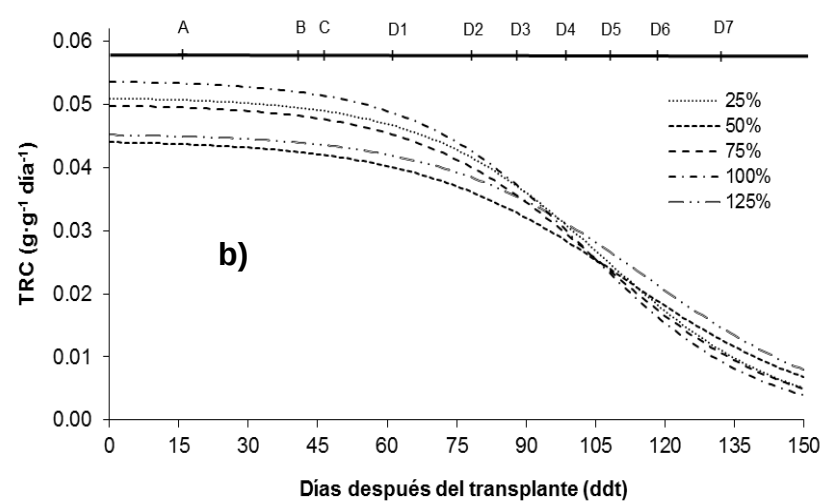
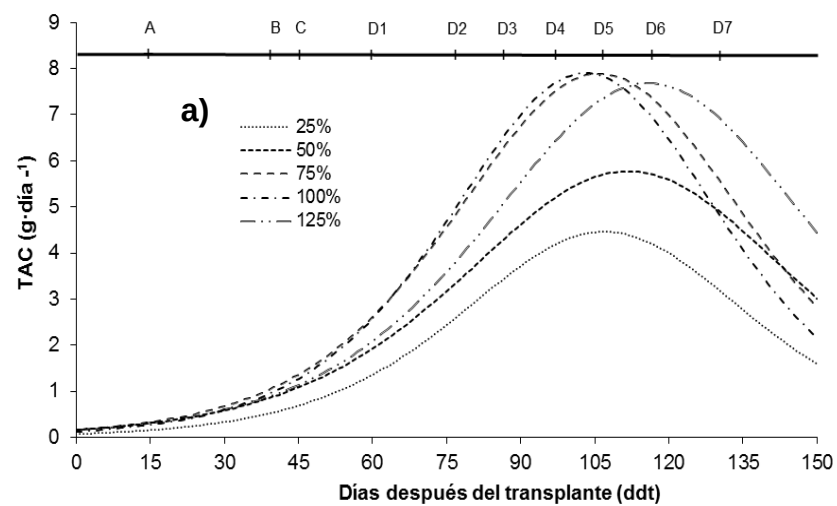


Figura 8. a) Tasa Absoluta de Crecimiento (TAC), b) Tasa Relativa de Crecimiento (TRC), c) Tasa de Asimilación Neta (TAN) y d) Relación de Área Foliar (RAF) durante el ciclo de cultivo de chile de agua bajo cinco concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. A: Bifurcación de tallo Principal; B: Floración; C: Formación de fruto; D: Maduración de fruto y D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7: Cortes de fruto. Chapingo, México. 2009.

2.5 CONCLUSIONES

La concentración de nutrimentos en la solución nutritiva no influyó en la fenología de la planta de chile de agua. En un ciclo de 150 ddt se identificaron las etapas: bifurcación de tallo principal (15 ddt), floración (40 ddt), formación (45 ddt) y maduración de fruto (61 ddt). A partir del día 61 y hasta el final del ciclo se realizaron siete cortes de fruto.

Las variables morfológicas como diámetro de tallo, altura, número de hojas número de frutos, se vieron afectadas por la concentración de nutrimentos en la solución nutritiva. Las plantas irrigadas con 125 % de concentración tuvieron la mayor magnitud de estas variables. También presentaron mayor área foliar, materia seca en raíz, hoja, fruto y total, número y peso de frutos con respecto a lo obtenido en plantas irrigadas con 25 %. En 75, 100 y 125 % de concentración el rendimiento fue estadísticamente igual, el índice de cosecha fue entre 0.64 a 0.69.

El comportamiento de los índices de eficiencia fisiológica permitió conocer el crecimiento y desarrollo de este cultivo en respuesta a diferentes concentraciones de nutrimentos en la solución nutritiva y con ello determinar y seleccionar la mejor técnica de manejo nutrimental en sistema de producción hidropónico.

De acuerdo con el comportamiento en la eficiencia de acumulación de materia seca se observó que es factible, durante los primeros 45 días de desarrollo, aplicar solución nutritiva a 50 % de concentración y posteriormente conducir el cultivo con el empleo de solución nutritiva a 75 % de concentración, hasta el final del ciclo.

2.6 LITERATURA CITADA

- Azofeifa, A.; Moreira, M. A. 2004. Análisis de crecimiento del chile jalapeño (*Capsicum annuum* L. cv. Hot) en Alajuela, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 28(1): 57-67.
- Antonio R., O. 2000. Caracterización fenológica, morfológica y análisis de crecimiento de chile mirador (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones de invernadero en Chapingo, México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo, México. 73 p.
- Barraza, A. F. V. 2000. Crecimiento del chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.) en cuatro soluciones nutritivas bajo invernadero. Tesis de Maestría. Instituto de Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo, México. 142 p.
- Brown, D. A.; Scott, H. D. 1986. Dependence of crop growth and yield on root development activity *In: Roots nutrient and water influx, and plant growth.* Special Bulletin No. 49. ASA. USA. 135 p.
- Burgueño H.; Uribe F.; Valenzuela M. 1994. La fertirrigación de cultivos hortícolas con acolchado plástico. Vol.1 Bursag S.A de C.V. Sinaloa, México. 46 p.
- Cruz H., N.; Ortiz C., J.; Sánchez Del C., F.; Mendoza C., M. C. 2005. Biomasa e índices fisiológicos en chile morrón cultivados en altas densidades. *Rev. Fitotec. Mex.* 28(3): 287-293.
- Evans, C. E. 1972. The quantitative analysis of plant growth. University of California Press. Berkeley. 253 p.
- Feller, C., H.; Bleiholder, L.; Buhr, H.; Hack, M.; Hess, R.; Klose, U.; Meier, R.; Stauss, T.; Van Den Boom; Weber, E. 1995. Phänologische Entwicklungsstadien von Gemüsepflanzen. Fruchtgemüse und Hülsenfrüchte. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutz* 2(47): 217-232.

- Fontes, P. C. R.; Dias, E. N.; Silva, D. J. H. 2005. Dinâmica do crescimento, distribuição de matéria seca na planta e produção de pimentão em ambiente protegido. *Horticultura Brasileira* 23(1): 94-99.
- García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. México, D. F. 219 p.
- Gardner F., P.; Brent P., R.; Mitchell R., L. 1985. *Physiology of crop plants*. Iowa State University Press. 327 p.
- Gasga P., R. 2006. Análisis de crecimiento y dinámica nutrimental del chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.) Tesis de Maestría. Instituto de Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo, México. 62 p.
- Hunt, R. 1982. *Plant growth curves: the functional approach to plant growth analysis*. Edward Arnold (Publisher). Ltd. London. 67 p.
- Klaring, H. P. 1999. Effects of non-destructive mechanical measurements on plant grown: a study with sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Scientia Horticulturae* 81: 369-375.
- Lambers, H. Y H. Poorter. 1992. Inherent variation in growth rate between higher plants: A search for physiological causes and ecological consequences. *Adv. Ecol. Res.* 23: 187-261.
- López L., P.; Castro G., H. 2007. La diversidad genética del chile (*Capsicum spp*). INIFAP-CRUSO. Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Libro técnico Núm. 1. Oaxaca, México. 36 p.
- Marcussi N., F. F.; Villas B., R. L.; Grava G., L. J.; Goto R. 2004. Macronutrient accumulation and partitioning in fertigated sweet pepper plants. *Sci. agric. (Piracicaba, Braz.)* 61(1): 62-68.
- Martínez A., N. 2006. Análisis de crecimiento y dinámica nutrimental del chile poblano (*Capsicum annum* L. var. *Grossum sendt*), en cuatro soluciones

- nutritivas bajo invernadero. Tesis de Maestría. Instituto de horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 90 p.
- Martínez S., D. 2010. Colecta, caracterización morfológica y análisis de crecimiento de chile de agua (*Capsicum annum* L.) Tesis de Doctorado. Instituto de horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 129 p.
- Milthorpe F. L.; Moorby J. 1982. An introduction to crop physiology. Cambridge University Press. 202 p.
- Moreno, M. M.; Ribas, F.; Moreno, A.; Cabello, M. J. 2003. Physiological response of a pepper (*Capsicum annuum* L.) crop to different trickle irrigation rates. Spanish journal of Agricultural Research 1(2): 65-74.
- Roberts, M. J.; Long, S. P.; Tieszen, L. L.; Beable, C. L. 1985. Measurement of plant biomass and net primary production. Pp 1-19. *In: Techniques and bioproductivity and photosynthesis*. Coombs, J. D. O.; Hall, S. P.; Long and J. M. O. Scurlock (eds.) Edit. Pergamon Press.
- Rodríguez P., J. E.; Sahagun C., J.; Mora A., R.; Gasga P., R. 2006. Programas de cómputo para la estimación de parámetros de regresión no lineal útiles en el análisis de crecimiento de cultivos. 52^{da} reunión anual de la Sociedad Interamericana de Horticultura Tropical. Sep. 24-30. San Juan, Puerto Rico.
- Sivori, M. E. Montaldi, R. E. Caso H. O. 1980. Fisiología vegetal. Ed. Hemisferio sur S. A. Buenos Aires, Argentina. 681 p.
- Steiner, A. A. 1984. The universal solution. Proceedings of 6th International Congress on Soilless Culture. ISOSC. Lunteren, The Netherlands. pp. 633-649.
- Valle M., J. C. 2010. Acumulación de biomasa, crecimiento y extracción nutrimental (*Capsicum annuum* L.) Tesis de Maestría. Instituto de horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 90 p.

Vázquez M., S. T. 2005. Fisiotecnia, bromatología y contenido de capsaicinoides en chile de agua (*Capsicum annuum* L.) Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo, México. 92 p.

CAPÍTULO 3. EXTRACCIÓN DE MACRONUTRIMENTOS DE CHILE DE AGUA.

EXTRACCIÓN DE MACRONUTRIMENTOS DEL CHILE DE AGUA (*Capsicum annuum* L).

MACRONUTRIENT EXTRACTION OF 'CHILE DE AGUA' (*Capsicum annuum* L.)

M.C. Valentín-Miguel^{1†}; R. Castro-Brindis²; J. E. Rodríguez-Pérez²; M. Pérez-Grajales²

RESUMEN

Con el objetivo de conocer la extracción nutrimental de plantas de chile de agua cultivadas en invernadero e hidroponía se determinó el contenido, extracción y curva de absorción de N, P, K, Ca y Mg, en dos concentraciones (50 y 75 %) de solución nutritiva. Durante el ciclo de cultivo el contenido de nutrimentos, osciló entre 2.38 y 2.87 % de N, 0.09 y 0.37 % de P, 2.07 y 3.20 % de K, 0.34 y 0.68 % de Ca y 0.2 y 0.31 % de Mg. Las extracción nutrimental obtenida al final del ciclo fue 16.93, 1.12, 16.62, 3.54 y 1.27 g·planta⁻¹ de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente.

La cantidad de nutrimento para producir una tonelada de fruto fue: 7.720, 0.513, 7.574, 1.613 y 0.580 kg de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente y la máxima tasa de absorción de los nutrimentos se tuvo en plena fructificación.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES:
extracción nutrimental, tasa de absorción, hidroponía.

ABSTRACT

In order to determine the nutrient extraction of chile de agua plants grown in greenhouses and hydroponic conditions, the content, extraction and uptake curve of N, P, K, Ca and Mg in two concentrations (50 and 75 %) of nutrient solution were determined. During the crop cycle the content values in the plants oscillated between 2.38 and 2.87 % N, 0.09 and 0.37 % P, 2.07 and 3.20 % K, 0.34 and 0.68 % Ca, and 0.2 and 0.31 % Mg. The nutrient extraction obtained at the end of the cycle was 16.93, 1.12, 16.62, 3.54 y 1.27 g·plant⁻¹ of N, P, K, Ca and Mg, respectively.

The amount of nutrient to produce one ton of fruit was 7.720, 0.513, 7.574, 1.613 and 0.580 kg of N, P, K, Ca and Mg, respectively and the maximum nutrient uptake rate occurred in full fructification.

ADDITIONAL KEY WORDS: nutrient extraction, uptake rate, hydroponics.

¹Estudiante de Maestría en ciencias en horticultura. ² Profesor-Investigador. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México. C. P. 56230. MEXICO.

3.1 INTRODUCCIÓN

Uno de los factores fundamentales que permite mejorar la producción y calidad de los cultivos es su manejo nutrimental, el cual debe ser acorde a cada especie y condición de crecimiento. Una forma para establecer cuánto fertilizante debe aplicarse a los cultivos es mediante el cálculo de la cantidad de nutrimentos requerido por la planta para expresar un rendimiento esperado.

Esta información no se encuentra disponible para el cultivo de chile de agua (*Capsicum annuum* L.), por lo que la cantidad de nutrimentos que actualmente se aplican en los sistemas de producción de este cultivo se determina de manera empírica, lo que puede afectar negativamente la expresión del potencial del rendimiento si la dosis aplicada no cubre adecuadamente su demanda nutrimental.

Para garantizar, en la producción de esta especie, un suministro óptimo de nutrimentos se debe conocer la cantidad requerida de nutrimento, así como su comportamiento que a través del ciclo del cultivo. Con el empleo de modelos de crecimiento en cultivos es posible estimar la acumulación de nutrimentos para cualquier número de días después del establecimiento del cultivo y obtener la curva de extracción nutrimental que determina la cantidad de nutrimentos extraída por una planta. Con esta información es posible conocer las etapas de mayor absorción de cada nutrimento y definir un programa de fertilización adecuado para el cultivo, en el cual se considere tanto la cantidad de fertilizante como momento idónea para hacer las aplicaciones que favorezcan el rendimiento y la calidad de los frutos.

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

3.1.1 OBJETIVOS

- a) Estimar mediante el modelo logístico la acumulación de nutrimentos (N, P, K, Ca y Mg) en la parte aérea de la planta de chile de agua.
- b) Determinar el contenido, determinar la extracción y la tasa absoluta de absorción de N, P, K, Ca y Mg en diferentes etapas fenológicas del chile de agua en condiciones de hidroponía.
- c) Construir la curva de extracción de nutrimentos en el cultivo de chile de agua.

3.1.2 HIPÓTESIS

El mayor requerimiento de N, P, K, Ca y Mg en el cultivo de chile de agua se da en la etapa de fructificación, en virtud de que es cuando ocurre la máxima velocidad de extracción y tasa absoluta de absorción nutrimental.

3.2 REVISIÓN DE LITERATURA

La nutrición mineral incluye el suministro, absorción y utilización de los nutrimentos esenciales para el crecimiento y producción de los cultivos (Fageria *et al.*, 1997), los cuales deben ser aportados en cantidad y proporción adecuada y en forma de iones asimilables (Castellanos, 2004). La escasez de elementos minerales o la proporción entre ellos en la planta es visible cuando existe un desequilibrio nutricional severo, que ocasiona síntomas e influye desfavorablemente sobre el crecimiento y la formación de órganos, cosecha y calidad de la producción (Güenkov, 1979; Reuter y Robinson, 1986).

El estado nutrimental es un aspecto invisible en el crecimiento de las plantas y cuando existe un desequilibrio nutricional severo este se altera y ocasiona síntomas.

Los programas de fertilización deben basarse en la demanda nutrimental de los cultivos durante sus etapas fenológicas. Para conocer la dinámica de absorción de nutrimentos en la planta se hace un análisis secuencial desde el inicio de crecimiento hasta la madurez del cultivo (Etchevers, 1999).

Una curva de extracción nutrimental determina la cantidad de nutrimentos extraída por una planta, a través de su ciclo de vida (Sancho, 1999). El conocimiento de la tasa de absorción de nutrimentos y la dinámica de éstos en el suelo, así como la producción de materia seca de la planta, son de utilidad para aportar agua y

nutrimentos de acuerdo a las exigencias nutrimentales del cultivo durante sus diferentes etapas y fases fenológicas (Burgueño *et al.*, 1994; Castro *et al.*, 2004).

Los contenidos totales de nutrimentos en la planta obtenidos en los muestreos pueden ser transformados a índices o utilizados directamente para compararlos con criterios previamente establecidos como: niveles críticos y rangos de concentración (Westerman, 1990). Éstos junto con los rendimientos esperados y los índices de cosecha, se emplean para calcular la demanda nutrimental, es decir, las unidades (en $\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de nutrimentos que la planta debe extraer desde el suelo e incorporar a sus tejidos para alcanzar los rendimiento esperados.

La demanda de cada cultivo está basada principalmente en la capacidad para absorber los nutrimentos necesarios para obtener los rendimientos máximos posible, los cuales se contabilizan a partir de la acumulación de materia seca en los productos cosechados: es decir, frutos y follaje. Los frutos son los principales órganos de demanda y compiten entre ellos y con los órganos vegetativos por los asimilados disponibles (Peil y Galvez, 2005). Los elementos extraídos se localizan principalmente en los frutos para el caso de nitrógeno y fosforo, en contraste con el potasio el cual se localiza en su mayor parte en tallos y hojas (Grageda, 1999).

Extracción nutrimental por el cultivo de chile.

La extracción nutrimental por los frutos es variable dentro de una misma especie, dependiendo del cultivar y el nutrimento (Trocme y Gras, 1979).

La cantidad de macronutrimentos extraído en cada órgano de la planta de pimiento es afectado por la forma de producción (Terbe *et al.*, 2006).

En *Capsicum annuum* L. cv. Remi los nutrientes requeridos por las plantas en orden descendente son $K > N > Ca > Mg > P > Na$ y la absorción máxima en 10 plantas fue: 5.79 g de N, 0.97 g de P, 8.47 g de K, 2.38 g de Ca, 1.37 g de Mg y 0.26 g de Na en proporción $N:P:K:Ca:Mg:Na = 1.0:0.17:1.46:0.41:0.24$. (Hoffman y Ogrodowicz 1987).

El promedio de extracción de nutriente de una planta de chile pimiento en campo es de 1.749 g de N, 0.137 g de P y 1.725 g de K (Escalona y Pire, 2008). En un ciclo de 140 ddt la extracción promedio es 6.66, 0.72, 6.45, 2.79, 1.26 y 1.04 g·planta⁻¹ de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente; la mayor acumulación de Mg y Ca ocurre en las hojas, mientras que N, K, S y P se acumulan más en frutos. Solo de 8 a 13 % de la cantidad total de nutrientes acumulados fueron absorbidos a los 60 ddt. Entre 61 y 100 ddt, el K fue el macronutriente más absorbido; P, Ca y S la absorción fue mayor al final del ciclo (Marcussi *et al.*, 2004). El chile jalapeño extrae 3.55, 0.54 y 6 g·planta⁻¹ de N, P y K, respectivamente (Inzunza *et al.*, 2010).

Las plantas de chile necesitan absorber en promedio 3 a 3.5 kg de N, 0.8 a 1 kg de P y 5 a 6 kg de K para producir una tonelada de frutos (Hegde, 1997). En invernadero, para chile manzano se requieren 3.8, 0.38, 2.45, 2.35 y 0.79 kg (Gasga, 2007); para chile poblano 3.7, 0.5, 4.0, 2.1 y 0.7 kg (Martínez, 2006) y para pimiento morrón 2.4, 0.2, 2.3, 0.5 y 0.4 (Valle, 2010) kg de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente.

Las plantas de *Capsicum annuum* cv. Lamuyo con densidad de 2.5 plantas·m⁻² y rendimiento de 1560 g·planta⁻¹ absorben macronutrientes en cantidades de 29.3, 3.3, 38.33, 12.07 y 6.31 g·m⁻² para N, P, K, Ca y Mg, respectivamente. Las tasas de absorción de N, P y K fueron mayores en el periodo de la mayor producción de frutos y las de Ca y Mg durante el periodo de mayor crecimiento foliar. (Rincón *et al.*, 1995).

En Chile variedad MC 5 los nutrientes absorbidos fueron 277.16, 29.00, 307.32, 51.86 y 30.14 kg·ha⁻¹ de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente. Más de 50 % de N, P y K es absorbido por los frutos (Vimala, 1985).

En bell pepper una planta extrae en promedio 55.5, 13.2, 73.1, 22.3 y 20.9 kg·ha⁻¹ de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente (Hegde, 1988).

Una hectárea con 25000 plantas de Chile habanero extrajo 214, 135 y 225 kg de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente (Tun, 2001); en otro ciclo se obtuvo 211, 50 y 165 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O (Noh-Medina *et al.*, 2010).

En una hectárea al fertilizar con NPK las plantas de Chile extrajeron 53.50, 14.82 y 63.93 kg de N, P y K; y 973.64, 312.04 y 25.35 mg hill⁻¹ de Ca, S y Fe, respectivamente; se obtuvo mayor rendimiento cuando la fertilización se realizó con fuentes de NPK+Ca+S+F, extrajeron 56.23, 11.31 y 67.48 de N, P y K; 1175.13, 360.93 y 27.78 mg hill⁻¹ de Ca, S y Fe, respectivamente (Maladawi *et al.*, 2004).

En Chile dulce (*Capsicum annuum* L. cv. UCR 589) con densidad de 20833 plantas ha⁻¹ y rendimiento de 46.3 ton·ha⁻¹ se obtuvo extracción de 180, 139, 26, 38, 13 y

13 kg·ha⁻¹ para K, N, P, Ca, S y Mg, respectivamente (Azofeifa y Moreira, 2005). En chile jalapeño con la misma densidad de siembra y rendimiento de 15 t·ha⁻¹ de fruta comercial fresca; la extracción de nutrimentos fue de 79.3, 60, 31.7, 8.2, 7.6 y 7.3 kg·ha⁻¹ para K, N, Ca, S, P y Mg, respectivamente (Azofeifa y Moreira, 2008).

El total de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Zn, Mn, Fe y Cu absorbido por el cultivo de chile fue 216, 20, 292, 117, 56, 28, 0.31, 0.20, 0.31, 1.6, y 0.14 kg·ha⁻¹ respectivamente, el periodo máximo de absorción de nutrientes coincide con la máxima acumulación de materia seca (Soto, 2008).

En plantas de chile de agua irrigadas con solución nutritiva completa extrajeron en promedio 22.8, 3.8, 40.6, 9.0 y 4.5 g·kg⁻¹ de N, P, K, Ca y Mg respectivamente (Velasco *et al.*, 1998).

Los intervalos óptimos nutrimentales y la concentración de macronutrimentos en hojas y peciolo reportados por varios autores para diferentes especies de chiles aunque no se indica la etapa fenológica en que fueron tomadas las muestras (Cuadro 1).

Cuadro 1. Intervalos óptimos y concentración en hojas y peciolo de macronutrientes en diferentes especies de Chile.

Cultivar	N	P	K	Ca	Mg	Autor
Intervalos óptimos nutrimentales						
%						
chile güero	3.92 a 5.13	0.27 a 0.37	3.71 a 4.7	2.77 a 3.05	0.6 a 0.75	García <i>et al.</i> (2004)
chile mirasol	4.74 a 5.9	0.28 a 0.34	5.36 a 5.91	2.34 a 3.04	0.69 a 0.87	Valdez <i>et al.</i> (2005)
chile chiltepín	3.0 a 4.32	0.36 a 0.94	4.71 a 5.93	0.9 a 1.54	0.57 a 0.91	Valdez <i>et al.</i> (2007)
chile serrano	2.8 a 5.5					Mata <i>et al.</i> (2007)
Concentración en hojas y peciolo						
%						
Pimiento	3.0 a 4.5	0.3 a 0.6	4.0 a 5.4	0.4 a 1.0	0.3 a 0.8	Bergman (1992)
Bell pepper	2.5 a 3.5	0.2 a 0.5	4.0 a 6.0	1 a 2.5	0.3 a 1.0	Jones <i>et al.</i> (1992)
Chile jalapeño	3.15 a 5.0	0.36 a 1.0	4.01 a 6.0	2.01 a 4.0	0.31 a 1.0	Arcos <i>et al.</i> (1998)
Chile bell	1.2 a 1.6	0.28 a 0.4	4.0 a 5.4	1.8 a 2.5	0.8 a 0.85	Burgueño <i>et al.</i> (1994)
Pimiento	4.0 a 5.0	0.3 a 0.5	2.5 a 5.0	0.9 a 1.5	0.3 a 0.6	Hochmuth (1997)
Pimiento	0.15 a 0.7	0.2 a 0.25	3.0 a 5.0			Grageda (1999)

3.3 MATERIALES Y MÉTODOS

De acuerdo a los datos obtenidos en el experimento de análisis de crecimiento se observó que el rendimiento de fruto fue estadísticamente igual en las concentraciones 75 y 125 %; sin embargo, las plantas que crecieron en 50 % de concentración de la solución nutritiva tuvieron un rendimiento igual ($\alpha < 0.05$) a lo obtenido en la concentración 100 % (Cuadro 2).

Cuadro 2. Efecto de cinco concentraciones de la solución nutritiva de Steiner en el rendimiento del chile de agua. Chapingo, México. 2009.

Conc.	Materia seca	Frutos			IC	
	Total (g)	Número	Peso total (g)	PMF(g)	biológico	comercial
25%	347.04 c ^z	34.19 c	991.70 c	30.33 a	0.64 a	0.27 a
50%	484.24 b	63.81 bc	1815.50 b	28.48 a	0.69 a	0.34 a
75%	626.78 a	82.02 ab	2192.90 ab	26.84 a	0.64 a	0.32 a
100%	591.41 a	68.87 ab	1896.90 b	27.96 a	0.69 a	0.29 a
125%	667.40 a	100.29 a	2601.50 a	25.95 a	0.65 a	0.36 a
CV	14.42	16.11	10.44	17.84	4.33	9.58
DMS	97.19	31.74	559.41	14.05	0.08	0.09

IC: Índice de Cosecha. CV: Coeficiente de variación. DMS: Diferencia Mínima Significativa. PMF: peso medio de fruto.

^zValores que comparten la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

A partir de la información anterior se decidió estudiar el comportamiento de la extracción y dinámica nutrimental de las plantas que se desarrollaron en la concentraciones 50 y 75 % por considerarlas económicamente viables en un sistema de producción hidropónico, además la información sobre índice de extracción permitirá diseñar dosis y programas de fertilización para alto rendimiento en esta especie.

A partir de una mezcla de materia seca de todos los órganos obtenida en el experimento anterior se realizó la determinación del contenido (%) de nutrimentos en el laboratorio de Nutrición Vegetal de Edafología del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Estado de México. Los elementos determinados fueron: Nitrógeno con el método de Microkjeldahl; Fósforo, Potasio, Calcio y Magnesio por medio de espectrometría de ICP. Se realizó el análisis de varianza de las variables respuesta de acuerdo con el diseño experimental completamente al azar. Para establecer las diferencias estadísticas entre las medias en contenido de nutrimentos, se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey, con $\alpha \leq 0.05$. Se aplicó el programa de cómputo para la estimación de parámetros de modelos no lineales del modelo logístico (Rodríguez *et al*, 2006). Mediante el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS, 2002). Se determinaron los estimadores de los parámetros (A, B y C) y partir de esta información se construyeron las curvas de extracción y de tasa de absorción de nutrimentos.

3.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El rendimiento de un cultivo está definido por la capacidad de acumular biomasa en los órganos que se destinan a la cosecha y un incremento proporcional de la materia seca destinada a estos órganos garantiza un incremento del rendimiento.

Para establecer la cantidad de nutrimento absorbido por una planta durante el ciclo de crecimiento es importante tener en cuenta su acumulación y distribución de materia seca en los órganos que constituyen la planta (Cuadro 2.).

Los datos de extracción de acuerdo con rendimiento por planta permitió calcular de manera aproximada la cantidad de nutrimento para producir una tonelada de fruto (Cuadro 3). Para obtener estos índices de extracción nutrimental se tomó como referencia la cantidad de materia seca acumulada en los frutos comerciales, ya que si se toma como referencia la cantidad de biomasa total en los frutos comerciales y no comerciales se subestiman los índices de extracción nutrimental (Cuadro 2).

Cuadro 3. Cantidad de nutrimento requerido para producir una tonelada de fruto en el cultivo de chile de agua. Chapingo, México. 2009.

Concentración	Nutrimento (Kg)				
	N	P	K	Ca	Mg
50%	6.12	0.41	6.80	1.78	0.62
75%	7.72	0.51	7.57	1.61	0.58

Al analizar el efecto de los tratamientos evaluados, se encontraron diferencias estadísticas en el contenido de nutrimentos durante el ciclo de cultivo.

3.4.1 NITRÓGENO

El contenido de nitrógeno (N) en la biomasa aérea de las plantas presentó diferencias significativas durante el ciclo del cultivo, las plantas tratadas con 50 % de concentración de la solución nutritiva, presentaron los contenidos más altos respecto a las tratadas con 75 % de concentración debido a que el potencial osmótico menor en la solución nutritiva permitió el flujo libre de cationes y aniones hacia la planta (Cuadro 4).

De la etapa de bifurcación del tallo principal a la floración (15-40 ddt) las plantas tratadas con 50 % de concentración tuvieron mayor cantidad de N con valores de 2.56 a 3.07 % con respecto a la concentración 75 %. Dichos valores fueron similares a lo obtenido en chile poblano (Martínez, 2006) y menores a los de pimienta (Piggott, 1986), chile mirador (Morales, 1999) y chile manzano (Gasga, 2006) que oscilaron entre 3 y 4.6 %. En esta etapa se absorbió la mayor cantidad de N que en todo el ciclo de cultivo debido a que es esencial en la división y expansión celular, y crecimiento de estructuras vegetativas, principalmente, como tallos y hojas (Jones *et al.*, 1991; Barker y Pilbeam, 2006).

Al iniciar la formación del fruto hasta el inicio de la maduración (45-61 ddt), el contenido de nitrógeno fue estadísticamente igual en ambas concentraciones con valores que van de 2.37 a 2.75 %, inferiores a 2.9 hasta 3.9 % los indicados para pimienta (Piggott, 1986), chile mirador (Morales, 1999), chile manzano (Gasga, 2006) y chile poblano (Martínez, 2006) para esta etapa de desarrollo.

Durante la maduración de frutos (a partir de 61 ddt) las plantas tratadas con 50 % de concentración contenían mayor cantidad de N que las plantas de 75 % de concentración, hasta el último corte de frutos (132 ddt); después de esta fecha se inició un segundo estrato de producción de nuevos brotes de crecimiento, hojas y flores, lo que se refleja en el aumento en el contenido de nitrógeno. Lo anterior, similar al obtenido en chile mirador (Morales, 1999), chile manzano (Gasga, 2006) y chile poblano (Martínez, 2006).

Los datos obtenidos de extracción de N presentaron diferencias significativas, 75 % de concentración de solución nutritiva, las plantas extrajeron más N, expresado en mayor acumulación de materia seca. Al presentarse mayor disponibilidad nutrimental hubo mayor extracción de N por la planta (Figura 1a).

Después del primer corte de frutos (61 ddt), la tasa de absorción de nitrógeno en 50 y 75 % de concentración se incrementó alcanzando el punto máximo de absorción a 111 y 117 ddt, con valores de 0.1560 y 0.2165 g·planta⁻¹·día⁻¹, respectivamente (Figura 1b). Esta gráfica muestra que no es recomendable aplicar alta concentración de nutrimentos (75 %) en las etapas iniciales de desarrollo de este cultivo, debido a que una proporción importante de este nutrimento quedará fuera del alcance del sistema de raíces de la planta, debido a que la tasa de extracción es similar en ambas concentraciones.

Se observó que la eficiencia de la biomasa en la producción de fruto se incrementa al aumentar la concentración de N en la solución nutritiva.

Cuadro 4. Comparación de medias del contenido y extracción de Nitrógeno (N) en la planta durante el ciclo de cultivo de chile de agua en dos concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México. 2009.

Conc.	Días después del trasplante (ddt)									
	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
Contenido de N (%)										
50%	3.01 a ^z	3.07 a	2.76 a	2.54 a	2.82 a	3.00 a	2.89 a	2.68 a	2.77 a	2.78 a
75%	2.64 b	2.56 b	2.37 a	2.71 a	2.38 b	2.64 b	2.53 b	2.52 b	2.65 b	2.87 a
DMS	0.065	0.213	0.645	0.313	0.155	0.097	0.231	0.077	0.076	0.278
Extracción de N (g·planta ⁻¹)										
50%	0.010 a	0.069 a	0.237 b	0.713 a	2.717 a	5.002 a	6.302 b	8.327 b	9.907 b	12.682 b
75%	0.014 a	0.044 b	0.301 a	0.716 a	3.142 a	5.309 a	8.114 a	10.517 a	12.646 a	16.936 a
DMS	0.0057	0.0165	0.0606	0.1935	0.5313	0.435	1.4986	1.5705	1.2231	1.4434

ddt: días después de trasplante; DMS: Diferencia mínima significativa; ^zValores que comparten la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

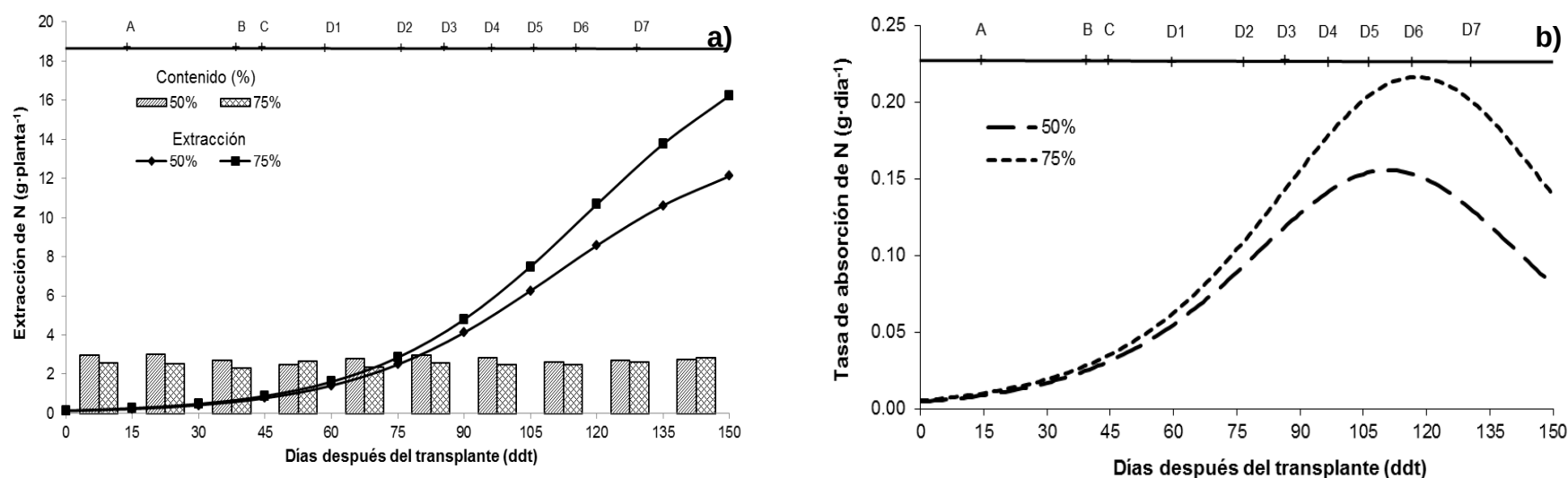


Figura 1. a) Contenido y Extracción de N, b) Tasa de absorción durante el ciclo de cultivo de chile de agua en dos concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. A: Bifurcación de tallo principal; B: Floración; C: Formación de fruto; D: Maduración de fruto y D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7: Cortes. Chapingo, México. 2009.

3.4.2 FÓSFORO

De acuerdo con el análisis de varianza, el contenido de este nutrimento fue constante en las diferentes etapas fenológicas del cultivo (Cuadro 5).

Al inicio de floración (30 ddt) las plantas presentaron el mayor contenido de este nutrimento con valores de 0.32 a 0.37 %; debido a que tallos y hojas jóvenes y puntos de crecimiento se encuentran en activo crecimiento contienen altas cantidades de P orgánico en forma de ácidos nucleicos y fosfolípidos (Mengel y Kirkby, 1982). Los valores obtenidos son similares a los indicados para chile manzano (Zelaya, 2002).

En la etapa de formación de frutos (45 ddt) a maduración de frutos (61 ddt), no hubo diferencias ($\alpha < 0.05$) en contenido de P en ambas concentraciones, con valores de 0.29 a 0.32 %, similar a lo obtenido para pimiento (Piggott, 1986), chile mirador (Morales, 1999) y chile manzano (Gasga, 2006; Zelaya, 2002) en esta etapa vegetativa. Al iniciar la cosecha y hacia el último muestreo el contenido de fósforo en las plantas disminuyó, de 0.30 % (60 ddt) a 0.16 % (150 ddt).

Al igual que con N, el total de absorción de P aumenta hasta el período de formación del fruto y luego disminuye rápidamente (Jones, 2004).

Los datos de extracción de P ($\text{g} \cdot \text{planta}^{-1}$) no presentaron diferencias significativas en ambas concentraciones, aunque en 75 % se tuvo mayor rendimiento (Figura 2a).

Después del primer corte de frutos (61 ddt), la tasa de absorción aumentó progresivamente y alcanzó el punto máximo a 97 y 100 ddt, con valores de 0.0106 y 0.0141 g·planta⁻¹·día⁻¹ en plantas desarrolladas en 50 y 75 %, respectivamente; en esta última se absorbió mayor cantidad de fósforo.

Los incrementos en la tasa de absorción del fosfato están asociados con una alta actividad metabólica (Mengel y Kirkby, 1982) (Figura 2b). Esta gráfica muestra que no es recomendable aplicar alta concentración de fósforo (75 %) en las etapas iniciales de desarrollo de este cultivo debido a que la tasa de absorción es similar en ambas concentraciones.

Se observó que la eficiencia de la biomasa en la producción de fruto se incrementa al aumentar la concentración de P en la solución nutritiva.

Cuadro 5. Comparación de medias del contenido y extracción de Fosforo (P) en la planta durante el ciclo de cultivo de chile de agua en dos concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México. 2009.

Conc.	Días después del trasplante (ddt)									
	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
Contenido de P (%)										
50%	0.10 a ^z	0.35 b	0.32 a	0.30 a	0.28 a	0.24 a	0.20 a	0.20 a	0.23 a	0.17 a
75%	0.09 a	0.37 a	0.33 a	0.31 a	0.22 a	0.21 a	0.18 a	0.21 a	0.17 b	0.16 a
DMS	0.048	0.217	0.218	0.074	0.066	0.082	0.084	0.054	0.044	0.087
Extracción de P (g·planta ⁻¹)										
50%	0.0003 a	0.008 a	0.027 a	0.084 a	0.266 a	0.407 a	0.431 a	0.620 a	0.823 a	0.781 b
75%	0.001 a	0.010 a	0.041 a	0.081 a	0.288 a	0.425 a	0.592 a	0.878 a	0.833 a	1.126 a
DMS	0.0003	0.0048	0.0171	0.029	0.1059	0.1556	0.2593	0.2807	0.2592	0.3215

ddt: días después de trasplante; DMS: Diferencia mínima significativa; ^zValores que comparten la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

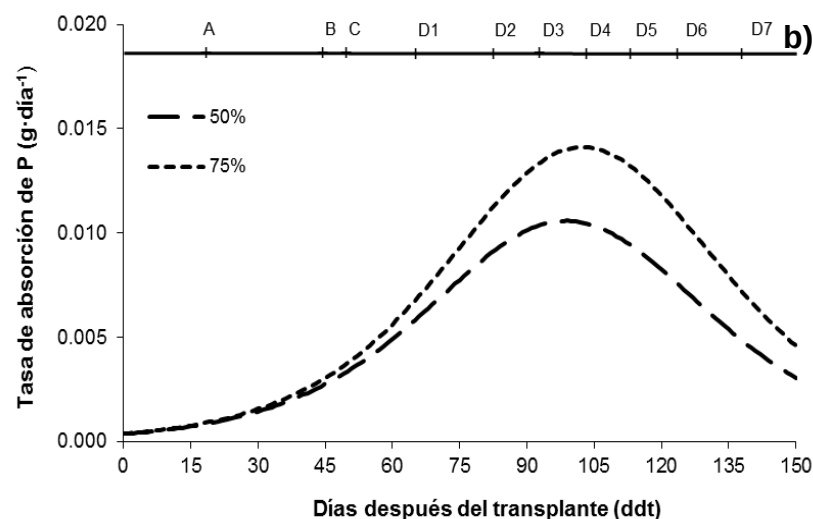
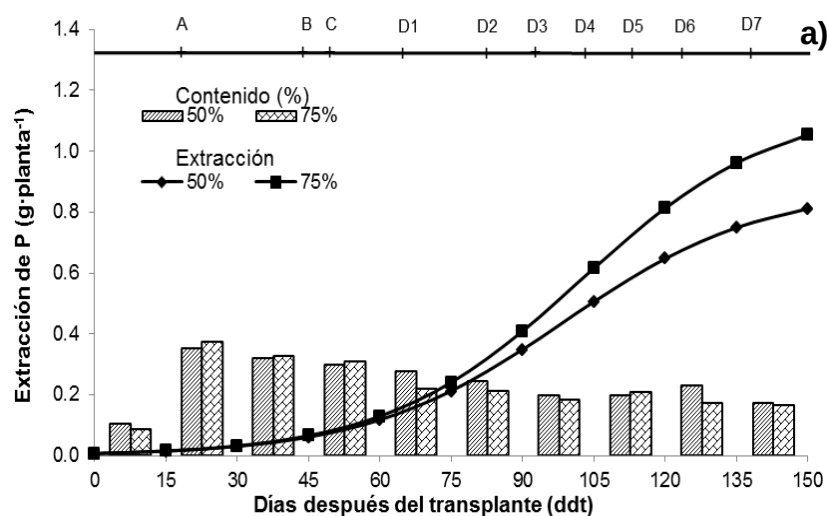


Figura 2. a) Contenido y Extracción de P, b) Tasa de absorción durante el ciclo de cultivo de chile de agua en dos concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. A: Bifurcación de tallo principal; B: Floración; C: Formación de fruto; D: Maduración de fruto y D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7: Cortes. Chapingo, México. 2009.

3.4.3 POTASIO

El contenido de potasio (K) obtenido en este experimento se encontró entre 2.06-3.28 %, y probablemente corresponde a un valor de suficiencia ya que no se presentaron síntomas visibles de deficiencia o toxicidad en el ciclo de cultivo de chile de agua.

Al realizar el análisis de varianza del contenido de K en la biomasa aérea total, estadísticamente no se encontraron diferencias significativas en el ciclo de cultivo (Cuadro 6).

En la etapa de bifurcación del tallo principal el contenido de potasio fue de 2.06 a 2.86 % en los dos tratamientos, menor a lo obtenido en chile manzano (Gasga, 2006), chile poblano (Martínez, 2006) y pimiento (Valle, 2010) en esta etapa vegetativa.

Del inicio de floración a maduración de frutos (30 a 60 ddt) se obtuvo los contenidos de potasio más elevados de todo el ciclo de cultivo (2.81 a 3.45 %) similar a lo reportado para pimiento (Piggott, 1986), chile manzano (Gasga, 2006) y chile poblano (Martínez, 2006).

Así como en N y P, la concentración de K en la planta fue elevada al principio y disminuyó con la edad de la planta (Jones, 2004). El incremento acelerado en la extracción de K es debido, en gran parte, a la formación y el crecimiento de frutos, los cuales llegan a constituir el principal órgano de demanda, con valores de 70 a 80 % de la cantidad total extraída por la planta (Bugarín *et al.*, 2002).

Durante la maduración de frutos los contenidos oscilaron de 2.43 a 3.23 %, hubo diferencias significativas en los muestreos 120 y 135 ddt, siendo las plantas regadas con 50 % de concentración de solución nutritiva las que contienen mayor cantidad de potasio, debido a que el potencial osmótico en esta concentración es mayor por lo que la energía libre del agua permitió mejor absorción y conducción de los nutrimentos hacia la planta (Figura 3a).

La extracción fue menor en plantas irrigadas con 50 % de concentración, debido a que tuvo menor número de frutos en comparación con 75 % donde el rendimiento fue mayor. Por lo tanto, al haber mayor demanda hay mayor absorción de nutrimentos.

Con respecto a la tasa de absorción de potasio en las dos concentraciones se observó comportamiento similar durante el ciclo de producción y en ambas las plantas obtuvieron el valor máximo de absorción a los 112 ddt con 0.2058 y 0.1898 $\text{g} \cdot \text{planta}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$, (Figura 3b).

Cuadro 6. Comparación de medias del contenido y extracción de Potasio (K) en la planta durante el ciclo de cultivo de chile de agua en dos concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México. 2009.

Conc.	Días después del trasplante (ddt)									
	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
Contenido de K (%)										
50%	2.87 a ^z	2.70 a	3.28 a	3.23 a	2.70 a	2.58 a	2.88 a	2.80 a	2.85 a	2.87 a
75%	2.07 a	3.45 a	2.82 a	3.20 a	2.43 a	2.87 a	2.75 a	2.52 b	2.62 b	2.82 a
DMS	1.381	1.189	1.997	1.363	0.463	0.337	0.395	0.245	0.546	0.609
Extracción de K (g·planta ⁻¹)										
50%	0.0095 a	0.060 a	0.274 a	0.909 a	2.593 b	4.305 b	6.267 b	8.697 b	12.530 a	13.159 a
75%	0.011 a	0.058 a	0.356 a	0.844 a	3.218 a	5.777 a	8.827 a	10.487 a	12.526 a	16.618 a
DMS	0.0043	0.0221	0.134	0.3905	0.5326	0.9175	1.5689	1.1104	3.3107	3.55

ddt: días después de trasplante; DMS: Diferencia mínima significativa; ^zValores que comparten la misma letra en la misma hilera son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$)

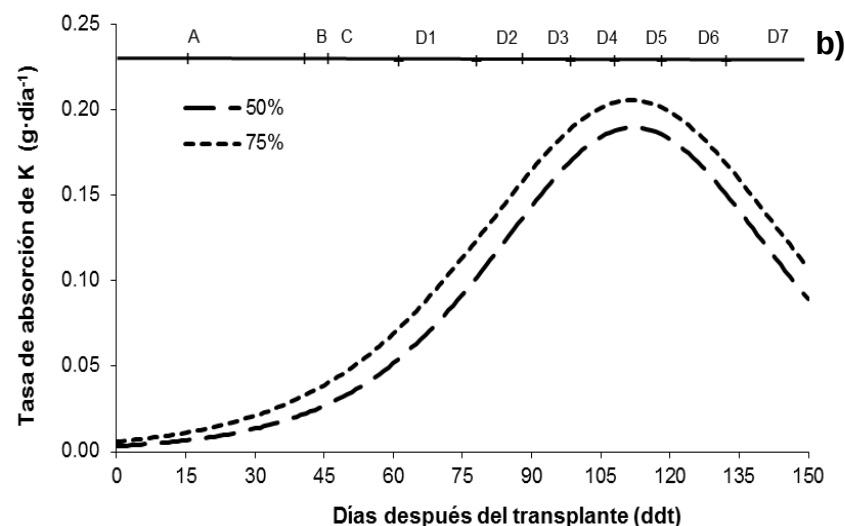
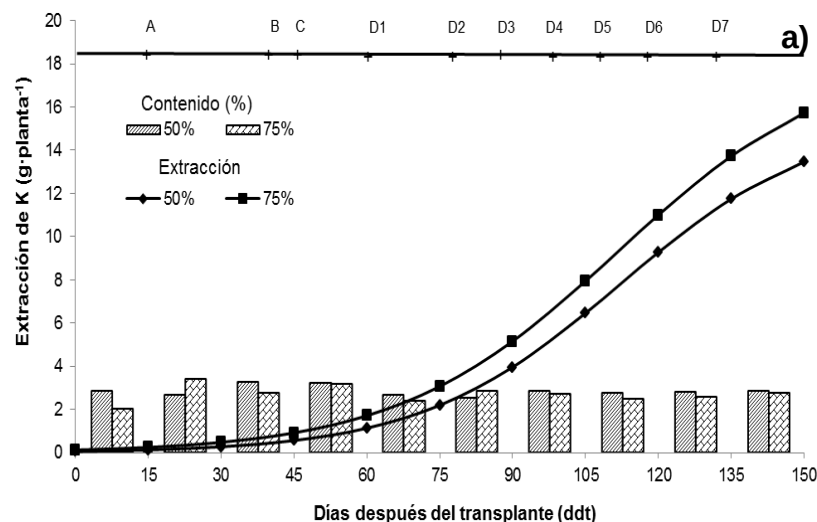


Figura 3. a) Contenido y Extracción de K, b) Tasa de absorción durante el ciclo de cultivo de chile de agua en dos concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. A: Bifurcación de tallo principal; B: Floración; C: Formación de fruto; D: Maduración de fruto y D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7: Cortes. Chapingo, México. 2009.

3.4.4 CALCIO

Al realizar el análisis de varianza los valores en contenido de calcio (Ca), no mostraron diferencias significativas, entre concentraciones (Cuadro 7).

Los datos obtenidos en este experimento fueron de 0.34 a 0.82 % y no se observaron síntomas visibles de deficiencia o toxicidad de este elemento en el ciclo de cultivo.

Durante la floración (40 ddt), el contenido de calcio fue menor en las plantas tratadas con 50 % de concentración de solución nutritiva (0.60 %), con respecto a las tratadas con 75 % (0.82 %) (Figura 4a). Dichos contenidos fueron los más elevados en el ciclo de cultivo, debido a que el calcio participa en la germinación del polen y el crecimiento del tubo polínico (Brewbaker y Kwack, 1963),

En las etapas fenológicas del chile de agua el contenido de calcio es inferior a lo obtenido para pimiento (Piggott, 1986) chile poblano (Martínez, 2006) y chile manzano (Gasga, 2006) que indican 1.3 a 3.7 %, 0.97 a 1.61 % y 1.4 a 2.69, respectivamente.

La concentración de calcio en órganos que transpiran como las hojas es mucho más elevado que en órganos que transpiran menos como frutos y flores (Clarkson, 1984).

La extracción de Ca ($\text{g} \cdot \text{planta}^{-1}$) fue similar en las dos concentraciones.

Una planta de chile de agua extrae más Ca que chile pimiento (Hoffman, 1987; Marcussi *et al.* 2004; Valle, 2010) y menos que el chile poblano (Martínez, 2006) y chile manzano (Gasga, 2006).

La tasa de absorción aumentó rápidamente después del primer corte de frutos (61 ddt), alcanzando la máxima absorción en la etapa de formación y maduración de frutos (104 y 111 ddt), con valores de 0.0588 y 0.0601 g·planta⁻¹ día⁻¹ en plantas desarrolladas en las concentraciones 50 y 75 %, respectivamente (Figura 4b), debido a que este nutrimento participa en el crecimiento de los brotes y en la acumulación de azúcares y firmeza del fruto (Marschner, 1995). La demanda fue similar en ambas concentraciones.

Cuadro 7. Comparación de medias del contenido y extracción de Calcio (Ca) en la planta durante el ciclo de cultivo de chile de agua en dos concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México. 2009.

Conc.	Días después del trasplante (ddt)									
	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
Contenido de Ca (%)										
50%	0.35 a ^z	0.61 b	0.64 a	0.55 a	0.56 a	0.58 a	0.66 a	0.60 a	0.75 a	0.66 a
75%	0.34 a	0.83 a	0.69 a	0.55 a	0.47 a	0.56 a	0.54 a	0.62 a	0.67 b	0.59 a
DMS	0.133	0.213	0.439	0.295	0.273	0.526	0.303	0.517	0.275	0.352
Extracción de Ca (g·planta ⁻¹)										
50%	0.0012 a	0.014 a	0.053 b	0.155 a	0.531 a	0.958 a	1.424 a	1.862 a	4.102 a	3.039 a
75%	0.002 a	0.014 a	0.087 a	0.146 a	0.618 a	1.122 a	1.733 a	2.894 a	3.216 a	3.537 a
DMS	0.0009	0.0085	0.0276	0.1017	0.2347	0.851	0.7381	1.3647	1.046	2.5042

ddt: días después de trasplante; DMS: Diferencia mínima significativa; ^zValores que comparten la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

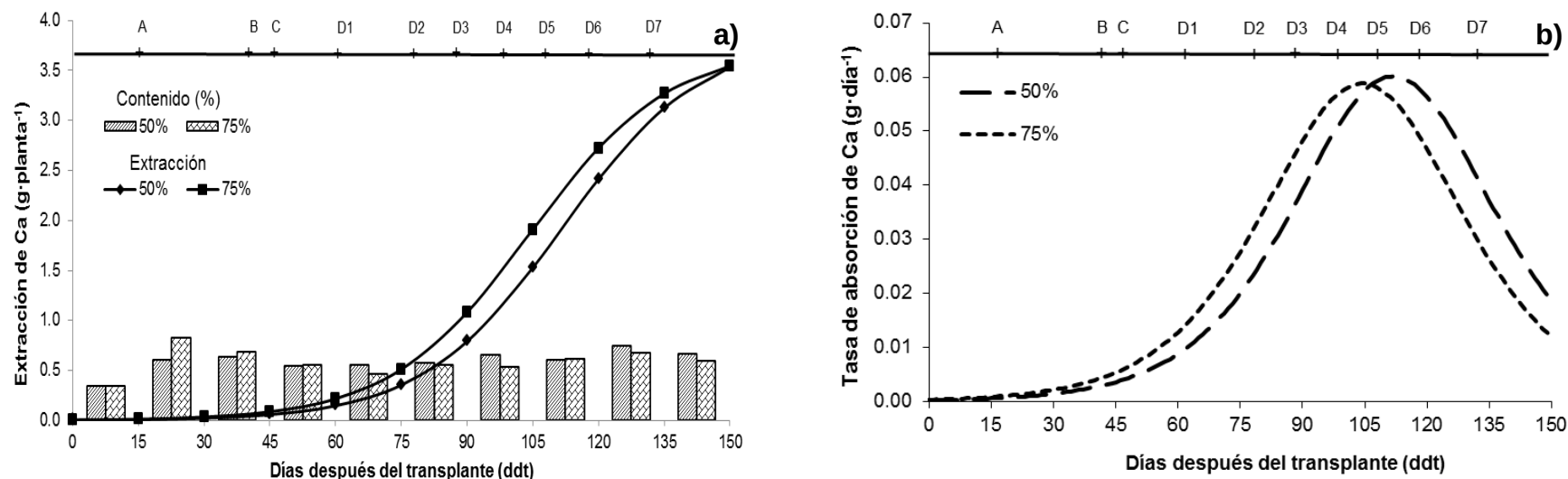


Figura 4. a) Contenido y Extracción de Ca, b) Tasa de absorción durante el ciclo de cultivo de chile de agua en dos concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. A: Bifurcación de tallo principal; B: Floración; C: Formación de fruto; D: Maduración de fruto y D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7: Cortes. Chapingo, México. 2009.

3.4.5 MAGNESIO

Los datos obtenidos en este experimento fueron de 0.21 a 0.43 % y no se observaron síntomas visibles de deficiencia o toxicidad de este elemento en el ciclo de cultivo.

En el análisis de varianza y de comparaciones de medias en las dos concentraciones evaluadas los valores máximos de concentración se presentaron a los 30 y 45 ddt, posteriormente disminuyeron al iniciar el periodo de mayor acumulación de materia seca (Cuadro 8). La misma tendencia fue obtenida por otros investigadores (Zelaya, 2002; Martínez, 2006; Gasga, 2006; Valle, 2010) en estudios de extracción nutrimental de chile.

En la floración y formación de frutos el contenido de Mg en las plantas fue de 0.29 a 0.42 %, inferior a 0.59 a 0.72 % y 1.3 a 2.06 % obtenidos por Martínez (2006) en chile poblano y Gasga (2006) en chile manzano para estas etapas fenológicas.

Durante la maduración de frutos se obtuvo 0.23 a 0.31 % de contenido de magnesio, en otras especies de *Capsicum* spp., se han obtenido valores de 0.32 a 0.49 % en esta etapa fenológica. La mayor absorción de Mg en esta etapa puede atribuirse a que el número de las hojas aumentó y es en este órgano donde se sintetiza gran cantidad de clorofila y otros pigmentos. Del 15 a 30 % de total de magnesio en las plantas está asociado con la molécula de clorofila, el otro 70 ó 85 % está asociado como cofactor en varios procesos enzimáticos, fotosíntesis y

respiración, la asimilación de carbono y transformaciones de energía (Mengel et al., 2001).

Los valores más altos de extracción se presentaron en la etapa de crecimiento vegetativo y en el desarrollo de frutos e inicio de cosecha (Figura 5a). Rodríguez (1996) indica que este nutrimento forma parte de los pectatos de calcio y magnesio de las laminillas medias de la célula; es abundante en las semillas, tejidos meristemáticos y frutos.

La tasa de absorción de magnesio más alta correspondió a las plantas que crecieron en solución a 75 % con $0.0191 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$ a los 96 ddt y las que crecieron en solución a 50 % de concentración con $0.0177 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$ a los 107 ddt (Figura 5b). La demanda es similar en ambas concentraciones

Cuadro 8. Comparación de medias del contenido y extracción de Magnesio (Mg) en la planta durante el ciclo de cultivo de chile de agua en dos concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México. 2009.

Conc.	Días después del trasplante (ddt)									
	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
Contenido de Mg (%)										
50%	0.26 a ^z	0.30 a	0.36 a	0.25 a	0.29 a	0.26 a	0.28 a	0.24 a	0.28 a	0.18 a
75%	0.32 a	0.43 a	0.42 a	0.32 a	0.26 a	0.27 a	0.23 a	0.23 a	0.24 b	0.21 a
DMS	0.099	0.138	0.256	0.196	0.133	0.222	0.067	0.188	0.103	0.209
Extracción de Mg (g·planta ⁻¹)										
50%	0.0009 b	0.007 a	0.030 b	0.072 a	0.281 a	0.439 a	0.605 b	0.736 a	1.370 a	1.101 a
75%	0.002 a	0.007 a	0.054 a	0.083 a	0.345 a	0.539 a	0.751 a	1.098 a	1.143 a	1.271 a
DMS	0.0008	0.0037	0.0167	0.0548	0.1347	0.3705	0.1192	0.4711	0.416	0.6934

ddt: días después de trasplante; DMS: Diferencia mínima significativa; ^zValores que comparten la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

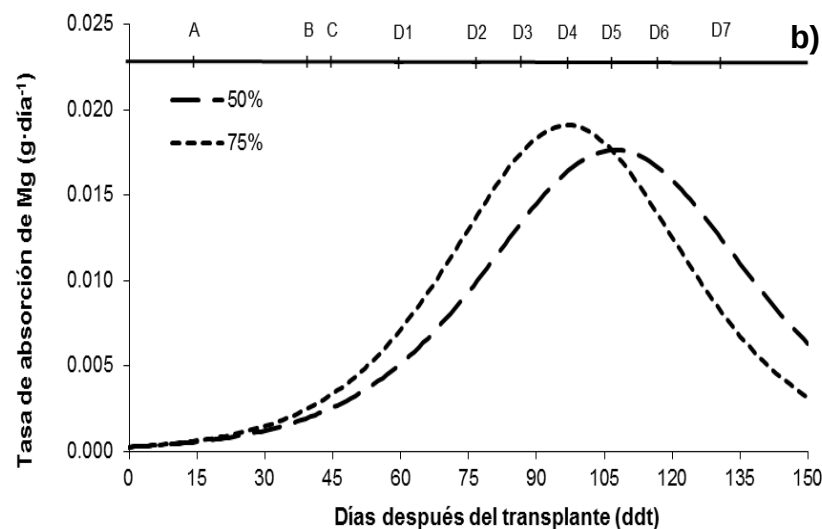
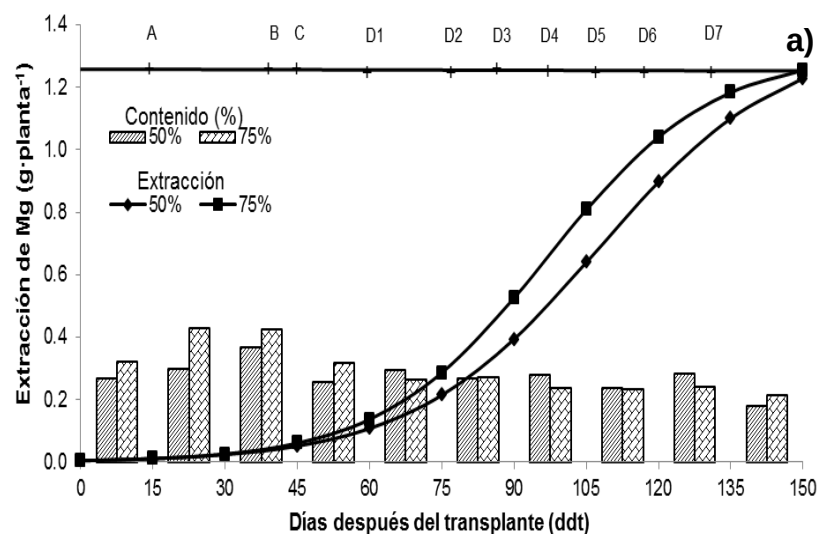


Figura 5. a) Contenido y Extracción de Mg, b) Tasa de absorción durante el ciclo de cultivo de chile de agua en dos concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. A: Bifurcación de tallo principal; B: Floración; C: Formación de fruto; D: Maduración de fruto y D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7: Cortes. Chapingo, México. 2009.

3.5 CONCLUSIONES

El contenido de P, K y Mg es mayor en la etapa de floración y formación de fruto.

La mayor velocidad de extracción de N, P, K, Ca y Mg se llevó a cabo durante la maduración de frutos (a partir de 90 ddt), ya que por las características de crecimiento de esta planta, en etapa avanzadas de desarrollo, convergen el crecimiento vegetativo, la floración y fructificación.

La extracción por planta al final del ciclo fue de 16.24, 1.05, 15.73, 3.54, 1.25 g de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente, para un rendimiento de 2.1 kg·planta⁻¹. Para producir una tonelada de fruto fresco de chile de agua, las cantidades requeridas son: 7.720, 0.513, 7.574, 1.613 y 0.580 kg de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente, en un periodo de 150 días.

La máxima tasa absoluta de absorción de N, P, K, Ca y Mg se presentó a los 117, 102, 112, 104 y 96 ddt con 0.217, 0.014, 0.206, 0.059 y 0.019 g·planta⁻¹·día⁻¹, respectivamente.

3.6 LITERATURA CITADA

- Arcos C., G.; Hernández H., J.; Uriza A., D.; Pozo C.; Olivera A. 1998. Tecnología para producir chile jalapeño en la planicie costera del Golfo de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Folleto técnico 24. Veracruz, México. 206 p.
- Azofeifa, A; Moreira, M. A. 2005. Absorción y distribución de nutrimentos en plantas de chile dulce (*Capsicum annuum* L. cv. ucr 589) en Alajuela, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 29(1): 77-84.
- Azofeifa, A; Moreira, M. A. 2008. Absorción y distribución de nutrimentos en plantas de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L. cv. hot) en Alajuela, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 32(1): 19-29.
- Barker, A. V.; Pilbeam, D. J. 2006. Handbook of plant nutrition. CRC Press. Boca Raton Fla. USA. 613 p.
- Bergman, W. 1992. Nutritional disorders of plants color atlas. Gustav Fischer Verlag Jena, Stuttgart-New York. 386 p.
- Brewbaker J. L.; Kwack B. H. 1963. The essential role of calcium ion in pollen germination and pollen tube growth. *American Journal of Botany* 50(9): 859-865.
- Bugarin, M. R., A. Galvis S., P. Sánchez G.; D. García P. 2002. Demanda de potasio del tomate tipo saladette. *Terra* 20: 391-399.

- Burgueño H.; Uribe F.; Valenzuela M. 1994. La fertirrigación de cultivos hortícolas con acolchado plástico. Vol.1 Bursag S.A de C.V. Sinaloa, México. 46 p.
- Castellanos, J. Z. (Ed.) 2004. Manual de producción hortícola en invernadero. 2da Edición. INTAGRI. Celaya, Guanajuato, México. 469 p.
- Castro B., R.; Galvis S., A.; Sánchez G., P.; Peña L., A.; Sandoval V., M.; Alcantar G., G. 2004. Demanda de nitrógeno en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Revista Chapingo Serie Horticultura 10(2): 147-152.
- Clarkson, D. T. 1984. Calcium transport between tissue and its distribution in the plant. Plant, Cell and Enviroment 7: 449-456.
- Escalona, A.; Pire, R. 2008. Crecimiento y extracción de N-P-K por plantas de pimentón (*Capsicum annuum* L.) abonadas con estiércol de pollo en Quíbor, estado Lara, Venezuela. Rev. Fac. Agron. 25: 243-260.
- Etchevers, J. D. 1999. Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutrimental de los cultivos. Terra 17: 209-219.
- Fageria N.; Balivar V.; Jones Ch. 1997. Growth and Mineral Nutrition of Field Crops. Ed. Marcel Decker Inc. New York, USA. 476 p.
- García, H. J. L.; Valdez, C. R. D.; Murillo, A. B.; Nieto, G. A.; Beltrán, L. F.; Magallanes Q. R.; Troyo, D. E. 2004. Compositional nutrient diagnosis and main nutrient interactions in yellow pepper grown on desert calcareous soils. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 167: 509-515.

- Gasga, P. R. 2006. Análisis de crecimiento y dinámica nutrimental del chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.) Tesis de Maestría. Instituto de Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo, México. 62 p.
- Gasga P., R. 2007. Extracción de N, P, K, Ca y Mg en chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P). XII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas. 14 al 17 de agosto de 2007. Zacatecas, Zac. México.
- Grageda G., J. 1999. La fertilización en hortalizas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional del Noroeste. Folleto técnico No. 19. Sonora, México. 62 p.
- Güenkov, G. 1979. Fundamentos de la horticultura cubana. Ed. Instituto cubano del libro. La Habana, Cuba. 355 p.
- Hegde, D. M. 1988. Irrigation and nitrogen requirement of bell pepper (*Capsicum annuum*). Ind. J. Agr. Sci. 58: 668-672.
- Hedge, D. M. 1997. Nutrient requirements of solanaceous vegetable crops. Extension bulletin 441. Food Fertilizer Technology Center. Asian and Pacific Council. 43 p.
- Hochmuth, G. J. 1997. Pepper production guide for Florida, Commercial Vegetable Guide Series. Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida.

- Hoffman, A. Ogrodowicz, A. 1987. *Capsicum annuum* L. cv. Remi during the vegetation period. Prace Komisji Nauk Rolniczych i Komisji Nauk Lesnych 61: 079-085.
- Inzunza I., M. A.; Villa C., M.; Catalán V., E.; Román L., A. 2010. Extracción de nutrientes y producción de chile jalapeño bajo acolchado plástico y niveles de riego. Terra Latinoamericana 28: 211-218.
- Jones, J. B. Jr. 2004. Hydroponics: A practical guide for the soilless grower. 2a ed. CRC press, Boca Raton, Fla. 419 p.
- Jones, J. B.; Wolf, B.; Mills, H. A. 1991. Plant analysis handbook: a practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide. Micro-Macro Pub.Athens, Ga. (USA). 213 p.
- Malawadi, M. N.; Shashidhara, G. B.; Palled, Y. B. 2004. Effect of secondary and micronutrients on yield, nutrient uptake and quality of chilli. Karnataka J. Agri. Sci.17 (3): 553-556.
- Mata V., H.; Núñez E., R.; Aguilar A., J. L.; Vázquez G., E.; Sánchez G., P. 2007. Absorción de nitrógeno en chile serrano desarrollado en hidroponía. pp. 211-215. *In*: Fourth World Pepper Convention. Querétaro, México. 14-16 agosto de 2007. Querétaro, Qro, México.
- Marcussi N., F. F.; Villas B., R. L.; Grava G., L. J.; Goto R. 2004. Macronutrient accumulation and partitioning in fertigated sweet pepper plants. Sci. agric. (Piracicaba, Braz.) 61(1): 62-68.

- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press. San Diego, CA, USA. 889 p.
- Martínez A., N. 2006. Análisis de crecimiento y dinámica nutrimental del chile poblano (*Capsicum annum* L. var. *Grossum* sendt), en cuatro soluciones nutritivas bajo invernadero. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 90 p.
- Mengel, K., E. A. Kirkby, H. Kosegarten, And T. Appel. 2001. Principles of plant nutrition. 5th ed. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands.
- Mengel K.; Kirkby E. A. 1982. Principles of Plant Nutrition. 3a edición. International Potash Institute. Berne, Switzerland. 635 p.
- Morales G., D. 1999. Nutrición del cultivo de chile (*Capsicum annum* L.): Dinámica nutrimental, fertigación nitrogenada y fertilización basal. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 183 p.
- Noh M., J.; Borges G., L.; Soria F., M. 2010. Composición nutrimental de biomasa y tejidos conductores en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) Tropical and Subtropical Agroecosystems 12: 219-228.
- Peil, R. M.; Gálvez, J. L. 2005. Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. R. bras. Agrociência 11(1): 05-11.

- Piggott, T. J. 1986. Vegetable crops. pp. 147-187. *In*: Plant Analysis: An Interpretation Manual. Reuter, D. J.; Robinson J. B. (eds.). Inkata Press. Sydney, Australia.
- Reuter, D. J.; Robinson, J. B. 1986. Plant analysis: An interpretation manual. Inkata Press. Sidney, Australia. 572 p.
- Rincón L.; Sáez J.; Balsalobre E.; Pellicer C. 1995. Crecimiento y absorción de nutrientes del pimiento grueso en cultivo bajo invernadero. *Investigación agraria, producción y protección vegetales* 10(1): 47-59.
- Rodríguez S., F. 1996. Fertilizantes-nutrición vegetal. AGT editor. S. A. México, D.F. 157 p.
- Rodríguez P., J. E.; Sahagún C., J.; Mora A., R.; Gasga P., R. 2006. Programas de cómputo para la estimación de parámetros de regresión no lineal útiles en el análisis de crecimiento de cultivos. 52^{da} reunión anual de la Sociedad Interamericana de Horticultura Tropical. Sep. 24-30. San Juan, Puerto Rico.
- SAS INSTITUTE. 2002. SAS software release 6,12. Versión 9.00 SAS Institute Inc. Cary, NC., USA.
- Sancho, V. H. 1999. Curvas de absorción de nutrientes: Importancia y usos en los programas de fertilización. Instituto de la Potasa y el Fósforo. Informaciones Agronómicas 36. Quito, Ecuador.
- Soto, O. R. 2008. Crop phenology, dry matter production, and nutrient uptake and partitioning in cantaloupe (*Cucumis melo* L.) and chile (*Capsicum annuum*

- L.). Dissertation to graduate student. Department of soil, water & Environmental Sciences. University of Arizona. 173 p.
- Steiner, A. A. 1984. The universal solution. Proceedings of 6th International Congress on Soilless Culture. ISOSC. Lunteren, The Netherlands. pp. 633-649.
- Terbe, I.; Szabó, Zs; Kappel, N. 2006. Macronutrient accumulation in green pepper (*Capsicum annuum* L.) as affected by different production technologies. International Journal of Horticultural Science 12(1): 13–19.
- Trocme, S.; Gras. R. 1979. Suelos y fertilización en fruticultura. Mundi-Prensa. Madrid, España. 388 p.
- Tun, D. C. 2001. Características y Tecnología de Producción del chile habanero. SAGARPA. INIFAP-PRODUCE. Mérida Yuc. México. 74 p.
- Valdez C., R. D.; Magallanes Q., R.; Rubio, S.; García H., J. L.; Murillo A., B.; Troyo D., E.; Blanco, F. 2005. Normas nutrimentales DNC para chile (*Capsicum annuum*) tipo 'Mirasol' seco. pp. 150-157. In: Second World Pepper Convention. Zacatecas, México. 14-16 agosto de 2005. Zacatecas, Zac., México.
- Valdez C., R. D.; García H., J. L.; Servín V., R.; Troyo D., E.; Murillo A., B.; Rueda P., E. O.; Rodríguez-Ortiz, J. C.; Magallanes-Quintanar, R. 2007. Interacciones nutrimentales y normas de diagnóstico de nutrimento compuesto en un cultivar semidomesticado de *Capsicum frutescens*. Revista Chapingo Serie Horticultura 13(2): 133-140.

- Valle M., J. C. 2010. Acumulación de biomasa, crecimiento y extracción nutrimental (*Capsicum annuum* L.) Tesis de Maestría. Instituto de horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 90 p.
- Velasco V., V. A.; Trinidad S., A.; Tirado T., J. L.; Téliz O., D.; Martínez G., A.; Cadena H., M. 1998. Efecto de algunos nutrimentos en plantas de chile de agua infectadas con virus. Terra 16(4): 317-324.
- Vimala, P. 1985. Macro-nutrient removal studies on chilli (*Capsicum annuum*). Teknologi Sayur-sayuran 1: 20-24.
- Westerman, R. L. (Ed.) 1990. Soil testing and plant analysis. 3rd ed. SSSA Book Ser. 3. SSSA, Madison, WI.
- Zelaya, M., L. X. 2002. Dinámica de la extracción nutrimental del chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P). Tesis de Maestría. Instituto de horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 200 p.

4. DISCUSIÓN GENERAL

En el tratamiento con 25 % de concentración de solución nutritiva, la planta de chile de agua presentó menor desarrollo de las variables morfológicas evaluadas y en consecuencia menor rendimiento, lo cual coincide con lo obtenido por Valle (2010) en pimiento morrón el cual extrajo menor cantidad de N, P, K, Ca y Mg debido a la baja concentración de nutrimentos disponibles.

El crecimiento de las plantas en 50 % de concentración de solución nutritiva fue mayor comparado con 25 % de concentración y menor a los tratamientos de mayor concentración. El rendimiento de frutos comerciales fue estadísticamente igual al obtenido con 100 % de concentración. El 66 % de la materia seca se acumuló en frutos. El comportamiento del cultivo en ésta concentración es similar al observado por Martínez (2006) en chile poblano, excepto en la morfología de la planta debido a que son especies diferentes su hábito de crecimiento es distinto. El chile de agua extrae mayor cantidad de nutrimentos comparado con chile poblano (Martínez, 2006) y chile manzano (Zelaya, 2000). El potasio (K) fue el nutrimento más absorbido.

Las plantas irrigadas con 75 % de concentración expresaron su desarrollo de manera similar a las irrigadas con mayor concentración de nutrimentos (100 y 125 %), con mayor número de hojas de 60 a 105 ddt, periodo en que se realizaron los primeros cinco cortes de frutos, lo que permitió obtener frutos de buen tamaño, color y forma. Lo anterior coincide con lo obtenido por Valle (2010) en pimiento que obtuvo mayor rendimiento en 75 % de concentración. La extracción de nutrimentos por planta en orden descendente fue $N > K > Ca > P > Mg$ en pimiento (Valle, 2010), chile poblano

(Martínez, 2006) y chile manzano (Zelaya, 2002) se indica que extrae mayor cantidad de Mg que P, por lo tanto el orden de extracción en estos cultivos es $N > K > Ca > Mg > P$. debido a que hay mayor disponibilidad de Nitrógeno la planta formó más hojas.

Al incrementar la concentración de la solución nutritiva se incrementó también el número de frutos; sin embargo, el área foliar se mantiene constante, es decir aumentó la demanda pero la fuente no se incrementó lo que disminuyó la posibilidad de obtener rendimientos más altos o frutos de mayor tamaño a pesar de que no hubo diferencias en cuanto a rendimiento entre los tratamientos 75, 100 y 125 % de concentración.

Los índices de eficiencia fisiológica crecimiento obtenidos indican que las plantas en 75, 100 y 125 % de concentración tuvieron mayor ganancia de materia seca (7.8908, 7.9002 y 7.6866 $\text{g} \cdot \text{planta}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ a los 106, 103 y 116 ddt, respectivamente). El pimiento es más eficiente ya que alcanza su máxima TAC a 85 ddt con 2.6859 $\text{g} \cdot \text{planta}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ (Valle, 2010) irrigada con 75 % de solución nutritiva. La mayor TAN se presentó en concentraciones 50, 75 y 100 % con valores de 1.2178, 1.2680 y 1.4511 $\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$, respectivamente; en las cuales el potencial osmótico favoreció el flujo de nutrimentos hacía en aparato fotosintético, estas mismas concentraciones tuvieron menor RAF, lo que significa que se requieren menor área foliar para obtener un gramo de materia seca.

Este comportamiento no es típico, por ejemplo en chile manzano y chile poblano se ha determinado que conforme aumenta la concentración de nutrimentos se incrementan los componentes de rendimiento.

5. CONCLUSIONES GENERALES

No influyó la concentración de nutrimentos en la fenología de la planta de chile de agua; en un ciclo de 150 ddt.

En 75, 100 y 125% de concentración de la solución nutritiva el rendimiento de frutos fue similar así como el comportamiento de los índices de eficiencia fisiológica.

La mayor velocidad de extracción de N, P, K, Ca y Mg ocurrió durante la maduración de frutos a partir de 90 ddt hasta 150 ddt.

La extracción por planta al final del ciclo fue de 16.24, 1.05, 15.73, 3.54, 1.25 g de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente, para un rendimiento de $2.1 \text{ kg} \cdot \text{planta}^{-1}$. La máxima tasa absoluta de absorción de N, P, K, Ca y Mg se presentó a los 117, 102, 112, 104 y 96 ddt.

Es factible aplicar durante los primeros 45 días de desarrollo del cultivo solución nutritiva a 50 % de concentración posteriormente aplicar 75 % de concentración hasta el final del ciclo de cultivo.

6. LITERATURA CITADA GENERAL

- MARTÍNEZ A., N. 2006. Análisis de crecimiento y dinámica nutrimental del chile poblano (*Capsicum annum* L. var. Grossum sendt), en cuatro soluciones nutritivas bajo invernadero. Tesis de Maestría. Instituto de horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 90 p.
- VALLE M., J. C. 2010. Acumulación de biomasa, crecimiento y extracción nutrimental (*Capsicum annuum* L.) Tesis de Maestría. Instituto de horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 90 p.
- ZELAYA, M., L. X. 2002. Dinámica de la extracción nutrimental del chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P). Tesis de Maestría. Instituto de horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 200 p.