



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO



DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

INSTITUTO DE HORTICULTURA

ANÁLISIS DE CRECIMIENTO Y DINÁMICA NUTRIMENTAL DEL
CHILE MIAHUATECO (*Capsicum annuum* L.)

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

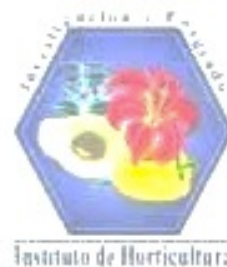
PRESENTA:

ROMERO ESCOBEDO MISSAEL BONIFACIO

Chapingo, Texcoco, Edo. de México, abril de 2013



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
PROCESOS DE INVESTIGACION PROFESIONALES



ANÁLISIS DE CRECIMIENTO Y DINÁMICA NUTRIMENTAL DEL CHILE MIAHUATECO (*Capsicum annuum* L.)

Tesis realizada por **MISSAEL BONIFACIO ROMERO ESCOBEDO**, bajo la dirección del comité asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR



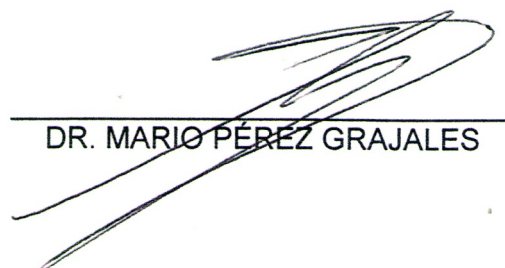
DR. ROGELIO CASTRO BRINDIS

ASESOR



DR. JUAN ENRIQUE RODRÍGUEZ PÉREZ

ASESOR



DR. MARIO PÉREZ GRAJALES

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)) por el apoyo otorgado para realizar mi maestría y estancia.

Al Instituto de Horticultura del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo

A mi comité:

Dr. Rogelio Castro Brindis

Dr. Juan Enrique Rodríguez Pérez

Dr. Mario Pérez Grajales

Por su acertada dirección, por compartir sus conocimientos y por su total apoyo para realizar esta investigación.

A mis padres y hermanos

A mis compañeros y amigos

A todo el staff del Instituto de Horticultura del Departamento de Fitotecnia y a todos ustedes...



Gracias

A Dios

A mis padres y hermanos

A ti, por permitirme gozar de tu existencia

DATOS BIOGRÁFICOS

El ingeniero Missael B. Romero Escobedo, nació en el municipio de San Gabriel Chilac, Puebla, el 5 de mayo de 1986. Realizó su formación media superior en la Preparatoria Federal por Cooperación Gilberto Martínez Gutiérrez en Tehuacán, Puebla. En el año 2004 ingresa a la Universidad Autónoma Chapingo para su formación profesional, donde en 2009 obtiene el título de Ingeniero Agroindustrial. En 2011 ingresó al Instituto de Horticultura del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo donde realizó sus estudios de Maestría en Ciencias en Horticultura.

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	ii
TABLA DE CONTENIDO	iv
LISTA DE CUADROS	vi
LISTA DE FIGURAS	ii
1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.2 REVISIÓN DE LITERATURA GENERAL.....	3
CAPITULO 2. CRECIMIENTO DE CHILE MIAHUATECO	5
RESUMEN	6
ABSTRACT	6
2.1 INTRODUCCIÓN	7
2.2 REVISION DE LITERATURA	9
2.3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
2.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
2.4.1 Análisis de crecimiento.....	18
2.4.1.1 Altura de planta, número de bifurcaciones y diámetro del tallo principal	18
2.4.1.2 Número de hojas y área foliar.....	21
2.4.2 Rendimiento, índice de cosecha y número de frutos	22
2.4.3 Distribución de materia seca	24
2.4.3.1 Distribución de materia seca por tratamiento	24
2.4.3.2 Distribución relativa de materia seca por órgano	28
2.4.4 Índices de eficiencia fisiológica	31
2.4.4.1 Tasa absoluta de crecimiento (TAC)	31
2.4.4.2 Tasa relativa de crecimiento (TRC)	31
2.4.4.3 Tasa de asimilación neta (TAN)	32
2.4.4.4 Razón de área foliar (RAF).....	32
2.5 CONCLUSIONES	35
2.6 LITERATURA CITADA	36

CAPITULO 3. EXTRACCIÓN DE MACRONUTRIMENTOS DEL CHILE	
MIAHUATECO	40
RESUMEN	41
ABSTRACT	41
3.1 INTRODUCCIÓN	41
3.2 REVISIÓN DE LITERATURA	44
3.3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	47
3.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
3.4.1 Contenido y extracción de N, P y K.....	49
3.4.2 Contenido y extracción de Ca y Mg	53
3.4.3 Tasa de absorción de N, P, K, Ca y Mg	55
3.5 CONCLUSIONES	57
3.6 LITERATURA CITADA	58
4. DISCUSIÓN GENERAL.....	61
5. CONCLUSIONES GENERALES	64
6. LITERATURA CITADA GENERAL	65

LISTA DE CUADROS

CAPITULO 2. CRECIMIENTO DE CHILE MIAHUATECO

Cuadro 1. Concentraciones iónicas (meq litro ⁻¹) de cinco concentraciones (%) de la solución nutritiva de Steiner (1984) utilizadas en el experimento.....	16
Cuadro 2 Efecto de cinco concentraciones de solución nutritiva de Steiner sobre altura, diámetro de tallo y número de bifurcaciones durante el ciclo de cultivo de chile miahuateco. Chapingo, México 2012.	19
Cuadro 3. Efecto de cinco concentraciones de solución nutritiva de Steiner sobre número de hojas y área foliar durante el ciclo de cultivo de chile miahuateco. Chapingo, México 2012.	21
Cuadro 4 Efecto de cinco concentraciones de solución nutritiva de Steiner sobre número de frutos, peso total, peso promedio de frutos, índice de cosecha biológico e índice de cosecha comercial por planta, en el cultivo de chile miahuateco en Chapingo, México 2012.	24
Cuadro 5. Efecto de cinco concentraciones de solución nutritiva de Steiner sobre materia seca en tallo, hoja y fruto durante el ciclo de cultivo de chile miahuateco. Chapingo, México 2012.	26
Cuadro 6. Materia seca total durante el ciclo de cultivo de chile miahuateco bajo cinco concentraciones de solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México 2012.	26

CAPITULO 3. EXTRACCIÓN DE MACRONUTRIMENTOS DEL CHILE MIAHUATECO

Cuadro 1. Efecto de cinco concentraciones de solución nutritiva de Steiner sobre número de frutos, peso total, peso promedio de frutos, índice de cosecha biológico e índice de cosecha comercial por planta del cultivo de chile miahuateco. Chapingo, México. 2012.	47
Cuadro 2. Cantidad de nutrimento requerido para producir una tonelada de fruto en el cultivo de chile miahuateco. Chapingo, México. 2012.	49

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO 2. CRECIMIENTO DE CHILE MIAHUATECO

- Figura 1. a) Altura de planta, b) diámetro de tallo, c) número de bifurcaciones del tallo principal durante el ciclo del cultivo de chile miahuateco. A: Bifurcación del tallo principal; B: Floración; C: Formación de fruto; D: Maduración de fruto y D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9, D10, D11, D12: Cortes. Chapingo, México 2012.....20
- Figura 2. a) Número de hojas, b) área foliar durante el ciclo del cultivo de chile miahuateco. A: Bifurcación del tallo principal; B: Floración; C: Formación de fruto; D: Maduración de fruto y D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9, D10, D11, D12: Cortes. Chapingo, México. 2012.....22
- Figura 3. Acumulación de materia seca en: a) tallo, b) hoja y c) fruto, durante el ciclo del cultivo de chile miahuateco. A: Bifurcación del tallo principal; B: Floración; C: Formación de fruto; D: Maduración de fruto y D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9, D10, D11, D12: Cortes. Chapingo, México 2012.27
- Figura 4. Acumulación de materia seca total durante el ciclo del cultivo de chile miahuateco. A: Bifurcación del tallo principal; B: Floración; C: Formación de fruto; D: Maduración de fruto y D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9, D10, D11, D12: Cortes. Chapingo, México 2012.....28
- Figura 5. Distribución de materia seca en cada órgano de la planta de chile miahuateco irrigada con solución nutritiva de Steiner al 25 %. Chapingo, México 2012.....29
- Figura 6. Distribución de materia seca en cada órgano de la planta de chile miahuateco irrigada con solución nutritiva de Steiner al a) 50 %; b) 75 %; c) 100 % y d) 125 %. Chapingo, México 2012.....30
- Figura 7 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 miahuateco bajo cinco concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. A: Bifurcación del tallo principal; B: Floración; C: formación de fruto; D: Maduración de fruto y D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9, D10, D11, D12: Cortes. Chapingo, México 2012.34

CAPITULO 3. EXTRACCIÓN DE MACRONUTRIMENTOS DEL CHILE MIAHUATECO

Figura 1. Contenido y extracción de N, P y K durante el ciclo de cultivo de chile miahuateco a 75 % de concentración de la solución nutritiva de Steiner. A: Bifurcación del tallo principal; B: Floración; C: formación de fruto; D: Maduración de fruto y D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9, D10, D11, D12: cortes. Chapingo México, 2012.52

Figura 2. Contenido y extracción de Ca y Mg durante el ciclo de cultivo de chile miahuateco a 75 % de concentración de la solución nutritiva de Steiner. A: Bifurcación del tallo principal; B: Floración; C: formación de fruto; D: Maduración de fruto y D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9, D10, D11, D12: cortes. Chapingo México, 2012.54

Figura 3. Tasa de absorción de N, P, K, Ca y Mg durante el ciclo de cultivo de chile miahuateco a 75 % de concentración de la solución nutritiva de Steiner. A: Bifurcación del tallo principal; B: Floración; C: Formación de fruto; D: Maduración de fruto y D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9, D10, D11, D12: cortes. Chapingo, México 2012.56

INTRODUCCIÓN GENERAL

En México, el chile es un elemento importante con gran arraigo en la cocina mexicana, para el año 2011 se cosecharon 1,649,279.49 toneladas, (SIAP-SAGARPA, 2013), los tipos de chile más sembrados son los serranos, de árbol, jalapeños, guajillos pasilla, anchos, piquines, habanero y manzano (Laborde y Pozo, 1984; Hernández *et al.*, 1999). Cada uno de estos tipos de chiles son ingredientes esenciales de platillos tradicionales locales y se reconocen por su diferencias en sabor y picor (Morán *et al.*, 2008).

El chile miahuateco, se diferencia del chile poblano por tener un cajete menos acentuado, delgado y con grado de picor mayor, es una planta herbácea de ciclo anual, constituye una fuente de alimento y de sustento para muchas familias rurales de la región de Tehuacán, su cultivo se restringe a los municipios de Tlacotepec de Benito Juárez, Tepanco de López, Ixcaquixtla, Cuapiaxtla de Madero, Xochitlan, Zacapala, Atexcal, Tehuacán, Altepexi, Chapulco y Santiago Miahuatlan, en el estado de Puebla.

A pesar de la gran importancia regional que tiene, no existen trabajos documentados que describan el comportamiento en crecimiento, fisiología, nutrición y otras variables fisiotécnicas que sean útiles para un manejo adecuado del cultivo, dicha información es útil para generar programas de manejo agronómico y de fertilización que permitan abastecer correctamente de nutrimentos al cultivo para lograr su rendimiento potencial, mayor calidad de fruto, además de un ahorro en la aplicación de fertilizantes y por ende evitar contaminación del suelo, daños por deficiencia o exceso de nutrimentos en la planta, para ello la presente investigación se desarrolló

en dos etapas. La primera consta de un análisis de crecimiento del chile miahuateco cultivado bajo cinco concentraciones de la solución nutritiva universal de Steiner (1984). En la segunda etapa se determinó la extracción nutrimental y la tasa absoluta de absorción de macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg) a 75% de solución nutritiva.

Debido a lo anterior el objetivo de esta investigación es determinar el efecto de la concentración de nutrientes de la solución nutritiva de Steiner sobre el desarrollo general de la planta, eficiencia de acumulación de materia seca y rendimiento en plantas de chile miahuateco, a la par de ello medir el contenido, determinar la extracción y la tasa absoluta de absorción de N, P, K, Ca y Mg en chile miahuateco bajo condiciones de hidroponía e invernadero.

1.2 REVISIÓN DE LITERATURA GENERAL

En el Estado de Puebla los chiles más cultivados comercialmente son los tipo ancho, poblano o mulato y el chile miahuateco. Estas plantas por lo general no tienen pubescencia, su aspecto es herbáceo, aunque el tallo puede tener aspecto semileñoso. Alcanza alturas de 60 a 80 centímetros. Generalmente el tallo se ramifica a los 20 centímetros del suelo en dos o tres ramas, que a su vez se ramifican cada 8 a 12 centímetros, en forma sucesiva hasta cuatro o cinco veces (SDR Puebla, 2008),

Las hojas son verde oscuro, brillantes, de forma oval acuminada. La flor es de cinco pétalos de color blanco, casi siempre hay una flor en cada nudo. La floración se inicia a los 50 días de la nacencia y continúa hasta que muere la planta. El fruto mide de 8 a 15 centímetros de largo, tiene forma cónica, cuerpo cilíndrico o aplanado, es de color verde y al madurar se torna café. El fruto del chile miahuateco es más angosto y más largo, más picante y carece de cajete (SDR Puebla, 2008).

El cultivo de chiles en la región de Tehuacán a la cual pertenece el municipio de Santiago Miahuatlán, lugar de donde toma el nombre el chile miahuateco, tiene una gran importancia en el desarrollo del cultivo, ya que existen restos arqueológicos registrados de este cultivo en el Valle de Tehuacán Puebla, con fechas que datan del 5000 y 7000 AC, lo cual lo confirma como un ingrediente inherente de la comida mexicana desde hace miles de años (Laborde y Pozo, 1984).

El estado nutricional de las hortalizas esta relacionado directamente con el rendimiento y calidad de la cosecha y se ve afectado por diversos factores como las propiedades físicas y químicas del suelo, la fertilización aplicada, la precipitación y el riego (Grageda, 1999).

Se sabe que el crecimiento es el aumento del tamaño de la planta, el cual puede ser en materia seca o en dimensiones como consecuencia de la formación de nuevas células, la expansión de las células constituyentes y el almacenamiento de asimilados (Valle *et al.*, 2010).

En las hortalizas las exigencias de calidad (tamaño, color, textura, firmeza, sabor, etc.) son mayores por lo que generalmente tienen una demanda intensa en la mayoría de los nutrimentos, en tomates y chiles, los elementos extraídos se localizan principalmente en los frutos para el caso de nitrógeno y fósforo, en contraste con el potasio el cual se localiza en su mayor parte en tallos y hojas (Grageda, 1999).

Flores *et al.*, 2012, encontraron que la deficiencia de macronutrimentos en la planta limitó el crecimiento y producción de materia seca, causando los síntomas característicos de cada nutriente.

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 análisis de la parte aérea de la planta proporcionan información acerca de la concentración de los nutrimentos en ésta y se encuentran relacionados con la producción de materia seca (Etchevers, 1999).

CAPITULO 2. CRECIMIENTO DE CHILE MIAHUATECO

ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DE CHILE MIAHUATECO

GROWTH ANALYSIS OF CHILE DE MIAHUATECO

M.B. Romero-Escobedo¹; R. Castro-Brindis²; J. E. Rodríguez-Pérez²; M. Pérez-Grajales²

RESUMEN

Con el objetivo de generar información que permita conocer la eficiencia en la acumulación de materia seca, rendimiento e índices de eficiencia fisiológica de Chile Miahuateco, se realizó un análisis del 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 análisis de crecimiento se llevó a cabo de abril a noviembre de 2011. La concentración de la solución nutritiva afectó el diámetro de tallo, área foliar y número de hojas, sin embargo el número de bifurcaciones y altura fueron estadísticamente iguales ($\alpha < 0.05$). La materia seca total fue mayor a 75% de concentración de la solución nutritiva de Steiner. El rendimiento fue mayor a 75% de concentración de solución nutritiva. En 75 y 125% se obtuvo la máxima tasa absoluta de crecimiento (85 ddt) y la tasa de asimilación neta a 63 ddt al 50 y 125% de concentración de la solución de Steiner. La tasa relativa de crecimiento mostró un comportamiento sigmoidal en las cinco concentraciones. El comportamiento de la razón de área foliar fue estadísticamente igual en todos los tratamientos ($\alpha < 0.05$). De acuerdo a lo anterior usar la concentración a 75% logrará aumentar el rendimiento.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES:

Capsicum annuum L., materia seca, área foliar, tasa de crecimiento

ABSTRACT

In order to generate information about the efficiency in dry matter accumulation, yield, efficiency physiological indexes of Miahuateco Chilli, a growth analysis of the plant was conducted using five concentrations (25, 50, 75, 100 y 125 %) of Steiner's universal nutrient solutions under greenhouse and hydroponic conditions. A completely randomized experimental design with three replications was used, one plant was considered the experimental unit. Growth was analyzed from April to November 2011. The Steiner nutrient solution concentration affected stem diameter, leaf area and leaf number; however, branch number and height were statistically similar ($\alpha < 0.05$). The total dry matter increased at 75% Steiner nutrient solution concentration. The yield was greater at 75% Steiner nutrient solution concentration. At 75 and 125% the maximum absolute growth rate (85 DAT) was obtained and net assimilation rate 63 DAT 50 and 125% Steiner nutrient solution concentrations. The relative growth rate showed a sigmoidal trend in the five concentrations. The behavior of the leaf area ratio was similar in all treatments. In conclusion, using the 75% nutrient solution concentration can be 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. MEXICO.

2.1 INTRODUCCIÓN

El crecimiento es el aumento del tamaño de la planta, el cual puede ser en materia seca o en dimensiones como consecuencia de la formación de nuevas células, la expansión de las células constituyentes y el almacenamiento de asimilados. La velocidad de crecimiento se expresa por tanto, como aumento de peso, volumen, área o longitud por unidad de tiempo (Wild, 1992). Generalmente la tasa de crecimiento de una planta disminuye conforme aumenta su tamaño hasta que se vuelve cero, cuando alcanza la madurez o tamaño final. Según Bidwell (1993), el desarrollo es un cambio ordenado o progresivo, a menudo (aunque no siempre) hacia un estado superior más ordenado o más complejo.

Existen diversas formas de analizar el crecimiento vegetal, una de ellas es mediante el cálculo de los índices de eficiencia fisiológica, las cuales son: Tasa Absoluta de Crecimiento (TAC), Tasa Relativa de Crecimiento (TRC), Tasa de Asimilación Neta (TAN) y Razón de Área Foliar (RAF) que se puede calcular con los datos periódicos de la biomasa total o de algunos órganos y del área foliar de la planta (Hunt, 1982).

En Chile miahuateco (*Capsicum annuum* L.), tipo de chile semejante al poblano pero que se diferencia por ser más delgado y con mayor grado de pungencia muy apreciado en la región de Tehuacán, Puebla por sus características culinarias, no existen trabajos documentados que expliquen su comportamiento en crecimiento, fisiología y otras variables fisiotécnicas que aporten información necesaria para el manejo adecuado del cultivo, con ello la productividad potencial del cultivo se ve afectada.

El conocimiento a detalle del comportamiento del crecimiento de las plantas permiten cuantificar diferentes aspectos del mismo, como la duración del ciclo, la

etapas de desarrollo y la distribución de los fotosintatos por cada órgano. Además de obtener una mejor comprensión de los procesos fisiológicos que definen a la producción vegetal, dicha información permitirá seleccionar las mejores alternativas de manejo del cultivo en aspectos relacionados con la fertilización, riego, entre otros.

De acuerdo a lo anterior el objetivo del presente trabajo fue determinar la eficiencia de acumulación de materia seca y rendimiento de la planta de chile miahuateco, así como obtener los índices de eficiencia fisiológica en cinco concentraciones de solución nutritiva de Steiner y bajo invernadero.

2.2 REVISION DE LITERATURA

El crecimiento es el aumento del tamaño de la planta, el cual puede ser en materia seca o en dimensiones como consecuencia de la formación de nuevas células, la expansión de las células constituyentes y el almacenamiento de asimilados (Valle, 2010). La velocidad de crecimiento se expresa como aumento de peso, volumen, área o longitud por unidad de tiempo (Wild, 1992). Generalmente la tasa de crecimiento de una planta disminuye conforme aumenta su tamaño hasta que se vuelve cero, cuando alcanza la madurez o tamaño final. Según Bidwell (1993), el desarrollo es un cambio ordenado o progresivo, a menudo (aunque no siempre) hacia un estado superior más ordenado o más complejo.

El crecimiento y desarrollo de las plantas como respuesta a la solución nutritiva del sistema hidropónico, depende de varios factores, el mas importante de éstos es la concentración de la solución nutritiva, que depende de la cantidad de solutos disueltos (Steiner, 1984).

El análisis del crecimiento implica en ciertas ocasiones subjetividad debido a las variaciones en el ambiente, al tamaño de muestra y a la variación de los individuos analizados. Éste, es un análisis cualitativo del ciclo de vida de un organismo o de ciertas fases fenológicas, 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).

Para realizar un análisis de la eficiencia fisiológica de una planta en función de sus parámetros de crecimiento se requieren dos operaciones básicas:

- A. La cuantificación del material vegetal existente en una planta o cultivo,
- B. La medida del sistema asimilador de la planta o cultivo en intervalos de tiempo sucesivos.

El índice de crecimiento evalúa cuantitativamente el crecimiento de las plantas e involucra técnicas mediante comparaciones que permiten estudiar los patrones de crecimiento vegetal (Hunt, 1978). Puede efectuarse mediante dos métodos que son el clásico y funcional.

El método clásico, el cual evalúa el crecimiento con base en datos que provienen de muestras con un alto número de repeticiones pero a intervalos prolongados, no realiza ajuste de datos mediante modelos matemáticos, aunque pueden analizarse estadísticamente (Hunt, 1982).

El método funcional donde el crecimiento es evaluado con datos obtenidos de pocas repeticiones pero a intervalos cortos sobre todo cuando existe mucha variación en la información, los cuales pueden ser utilizados para ajuste de modelos (Hunt, 1982), el desarrollo de estos modelos utilizan datos a partir de muestras colectadas periódicamente y se ha utilizado con éxito en plantas anuales, bianuales y perennes (Brand y Weetman, 1987). Así pues estos métodos tienen su base en la medición de la producción de materia seca (MS) y del área foliar (AF). Con MS y AF se calculan 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 materia seca.

Al graficar esta información generalmente se obtiene una curva sigmoide en la que se reconocen tres fases: a) exponencial que va desde la germinación hasta parte de la etapa juvenil, b) lineal donde el crecimiento vegetativo es mas rápido y se tiene la mayor demanda de agua y nutrimentos, 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).

Otra forma de analizar el crecimiento vegetal es mediante el calculo de los índices de eficiencia fisiológica, con el inconveniente de que al calcularlos se incluye el efecto de las variables controladas y no controladas; entre estos índices se encuentran: Tasa Absoluta de Crecimiento (TAC), Tasa Relativa de Crecimiento (TRC), Tasa de Asimilación Neta (TAN), Índice de Área Foliar (IAF) y Razón de Área Foliar (RAF) que se puede calcular con los datos periódicos de la biomasa total o de algunos órganos y del área foliar de la planta (Hunt, 1982).

La Tasa Absoluta de Crecimiento (TAC) es la medición de la velocidad de incremento en peso seco de la planta por unidad de tiempo, es un índice importante para cuantificar la fuerza de demanda de cualquier órgano de la planta demandante, expresado en $\text{g} \cdot \text{día}^{-1}$, por lo general adopta una forma sigmoideal y la diferencia entre dos puntos consecutivos de cualquier serie proporciona la tasa de crecimiento en este periodo (Hunt, 1982); al principio su comportamiento es ascendente hasta llegar a un punto máximo y luego comienza a disminuir, debido a que la senescencia de las hojas es mayor respecto al crecimiento nuevo (Milthorpe y Moorby, 1982).

La Tasa Relativa de Crecimiento (TRC) es 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 (TAN) 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 y el área de terreno ocupada por la planta ($\text{m}^2\cdot\text{m}^{-2}$) (Gardner *et al.*, 1985).

Algunos trabajos realizados para analizar el crecimiento en plantas de distintos tipos de chile son: en pimiento morrón a los 165 días después del transplante (ddt) con una densidad de población de $3.3 \text{ plantas}\cdot\text{m}^{-2}$ y conducido dos tallos, Klaring, 1999, reporta que las plantas presentaron un rendimiento de $14.75 \text{ kg de fruto}\cdot\text{m}^{-2}$ y una producción de materia seca de 333, 306 y 86 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ en fruto, hoja y tallo, respectivamente. En la misma especie, pimiento tipo California, variedad Lesley, manejado a concentraciones de 25, 75, 125 y 175 % de solución nutritiva de Steiner (1984) bajo invernadero, Valle, 2010, reporta un crecimiento tipo doble sigmoide, las plantas en la solución nutritiva a 75%, presentaron mejores características en: tasa absoluta de crecimiento ($2.6859 \text{ g día}^{-1}$), tasa relativa de crecimiento ($0.0369 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\text{día}^{-1}$), tasa de asimilación neta ($0.3729 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$) y razón de área foliar ($92.1959 \text{ cm}^2\cdot\text{g}^{-1}$) e índice de cosecha (0.65).

En chile morrón var. Ariane se evaluaron tres densidades de población 3.3, 8 y 14 plantas·m⁻² en un ciclo de 158 ddt, Cruz, 2005, reporta que 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.

En plantas de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L. cv. Hot) se presentó un crecimiento sigmoideal, la producción 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).

Gasga (2006), reporta en chile manzano (*Capsicum pubescens*) manejado en hidroponia con solución nutritiva de Steiner (1984) a 100 %, a los 176 ddt que la materia seca se distribuyó de la siguiente manera: 24 % en tallos, 16 % en hojas y 60 % en frutos.

En chile poblano cultivado 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).

Vásquez (2005) indica que en plantas de chile de agua se presenta un 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.

Valentín (2011) en chile de agua manejado bajo condiciones de invernadero, con cinco concentraciones de la solución nutritiva de Steiner (25, 59, 75, 100 y 125%), reporta que en todas las concentraciones la mayor materia seca se acumuló en los frutos (60%). Se obtuvo el mismo rendimiento 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.

2.3 MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó entre abril y noviembre de 2011, en invernadero en el Instituto de Horticultura del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicado geográficamente a 19° 29' de LN y 98° 53' LW y una altitud de 2240 msnm.

Se emplearon semillas de frutos de chile (*Capsicum annuum* L), denominado miahuateco obtenidos en el municipio de Santiago Miahuatlán en el estado de Puebla, México. La siembra se realizó el 14 de abril de 2011, en charolas de poliestireno expandido de 80 x 25 x 8 cm con 200 cavidades, se utilizó como sustrato turba. El transplante se realizó el 9 de junio de 2011, en macetas de plástico negro de diez litros de capacidad, colocadas a 1 m entre hileras y 0.40 m entre macetas. Como sustrato se empleó 11 Kg de espuma volcánica.

Como fuente de nutrimentos en el sistema hidropónico, se empleó la solución nutritiva de Steiner (1984) con una concentración total de solutos (macronutrimentos) de 30 moles $\text{ion} \cdot \text{m}^{-3}$ que corresponde a un potencial osmótico de -0.072 Mpa, a un pH de 5.0 - 5.5. A partir de esta solución nutritiva se establecieron los tratamientos que consistieron en cinco niveles de concentración de la solución; a las cuales les corresponde una presión osmótica diferente (Cuadro 1).

Solución nutriente

Como fuente de nutrimentos en el sistema hidropónico, se empleó la solución nutritiva de Steiner (1984) la cual se caracteriza por tener una relación mutua de aniones y cationes y una concentración total de solutos (macronutrimentos) de 30 moles $\text{ion} \cdot \text{m}^{-3}$ que corresponde a un potencial osmótico de -0.072 Mpa, a un pH de 5.0 - 5.5. A partir de esta solución nutritiva se establecieron los tratamientos que

consistieron en cinco niveles de concentración de la solución; a las cuales les corresponde una presión osmótica diferente (Cuadro 1).

Cuadro 1. Concentraciones iónicas (meq litro⁻¹) de cinco concentraciones (%) de la solución nutritiva de Steiner (1984) utilizadas en el experimento.

Concentración	(meq litro ⁻¹)						P.O.* (MPa)
	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	
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

En la preparación de las cinco concentraciones de solución nutritiva (Cuadro 1) se empleó como fuente de macronutrientes: Fosfato monopotásico, Nitrato de calcio, Nitrato de potasio, Sulfato de potasio y Sulfato de magnesio. Como fuente de micronutrientes se emplearon complejos de quelatos: Fe 71000 ppm, Zn 10200 ppm, Mn 34800, Cu 7600 ppm y Mo 4850 ppm. Se utilizó Borax como fuente de boro.

30 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, se obtuvo la materia seca y que se agrego al total acumulado.

Unidad y diseño experimental

La unidad experimental fue una planta establecida en una maceta con 11 kilos de sustrato. Se realizaron 8 muestreos destructivos cada 21 días a partir del transplante. Se utilizó el diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones.

Caracteres evaluados

Las variables respuesta que se evaluaron durante el ciclo fueron: Diámetro de tallo (mm) medido 2.5 cm arriba del nudo cotiledonar, con un calibrador Vernier digital; altura de la planta (cm), medida desde el nudo cotiledonar a la primera bifurcación y de este punto al meristemo apical más alto; número de bifurcaciones del tallo principal; número de hojas totalmente desplegadas por planta; área foliar (cm²) con integrador de área foliar Delta-TMK2; número de frutos y rendimiento por planta (12 muestreos entre 61 ddt y hasta 168 ddt); peso seco de tallos, hojas y frutos (g) secados en estufa a 70 °C durante 72 horas.

Análisis estadístico

A los datos obtenidos se aplicó análisis de varianza y comparación de medias (Tukey, $P \leq 0.05$). Se aplicó el programa de cómputo para la estimación de parámetros de modelos no lineales del modelo logístico (Rodríguez *et al.*, 2006).

2.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.4.1 Análisis de crecimiento

2.4.1.1 Altura de planta, número de bifurcaciones y diámetro del tallo principal

Respecto a altura de planta, de acuerdo a la comparación de medias (Cuadro 2), no se observaron diferencias significativas entre tratamientos ($\alpha < 0.05$), las curvas muestran un crecimiento de tipo sigmoideal (Figura 1) para las plantas de los cinco tratamientos, con un crecimiento acelerado hasta los 50 ddt, donde se mantiene constante para las 5 concentraciones.

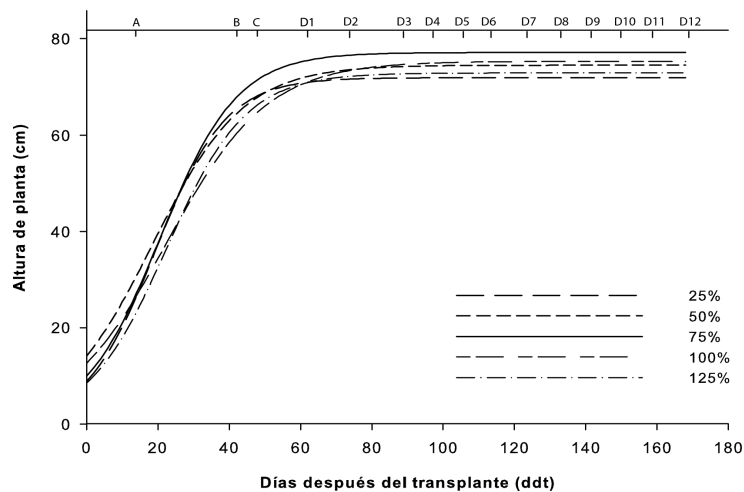
A partir de 42 DDT se observó que las plantas establecidas en la solución nutritiva a 25% presentan menor diámetro de tallos, fueron superada por las plantas que se desarrollaron en la solución nutritiva de 100%. A partir de los 84 días y hasta el final del ciclo (168 DDT) el diámetro mayor de tallo lo presentaron las plantas desarrolladas en la solución nutritiva 75%, de concentración. Las plantas con tallo grueso tienen mayor capacidad de sostener a las estructuras reproductivas, evitando que se quiebren o doblen, también se relaciona con mayor área transversal del floema que permite mayor flujo de asimilados, por ello se infiere que las plantas establecidas en las condiciones de solución nutritiva de 75% obtuvieron la mayor materia seca total a partir de los 63 ddt.

La concentración de la solución nutritiva influye sobre el número de bifurcaciones, donde 75% es mayor a partir del tercer muestreo, se encontraron diferencias significativas a los 105 y 147 ddt, en chile poblano la concentración de la solución no influye sobre el número de bifurcaciones (Barraza, 2000).

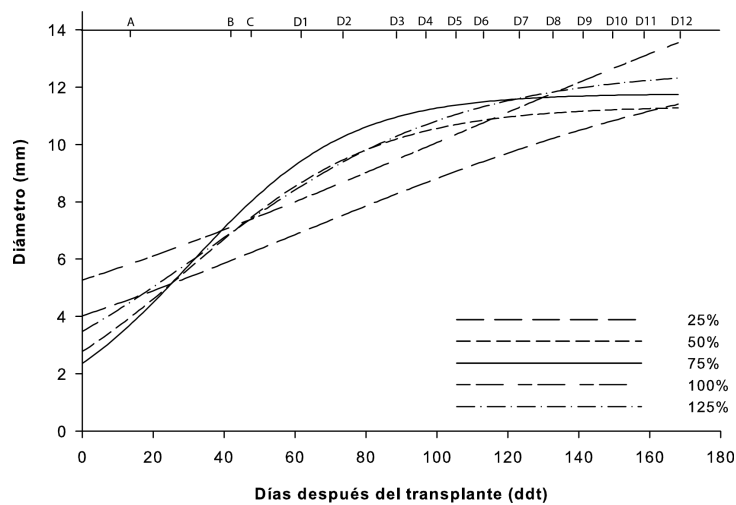
Cuadro 2 Efecto de cinco concentraciones de solución nutritiva de Steiner sobre altura, diámetro de tallo y número de bifurcaciones durante el ciclo de cultivo de chile miahuateco. Chapingo, México 2012.

Conc.	Días después del transplante (ddt)							
	21	42	63	84	105	126	147	168
ALTURA (cm)								
25%	41.50 a	64.67 a	81.00 a	69.33 a	66.00 a	74.67 a	75.33 a	71.66 a
50%	39.83 a	62.00 a	78.33 a	79.33 a	72.33 a	70.00 a	72.00 a	82.00 a
75%	39.10 a	63.33 a	81.00 a	90.00 a	77.00 a	66.67 a	75.67 a	78.50 a
100%	38.67 a	60.67 a	76.67 a	77.00 a	71.33 a	77.33 a	72.67 a	80.17 a
125%	34.00 a	62.67 a	69.67 a	78.33 a	70.00 a	77.00 a	72.67 a	71.33 a
DMS	10.65	10.50	22.24	29.02	13.35	16.94	14.47	12.70
DIAMETRO (mm)								
25%	4.40 a	6.06 b	7.80 a	8.35 b	8.67 c	9.12 a	11.03 a	12.20 a
50%	4.50 a	7.24 ab	8.81 a	9.63 ab	10.87 ab	10.73 a	11.59 a	12.10 a
75%	4.43 a	7.89 ab	8.74 a	11.18 a	11.91 a	10.99 a	11.41 a	12.62 a
100%	5.17 a	8.52 a	8.08 a	9.24 ab	10.05 b	11.29 a	12.62 a	13.97 a
125%	4.33 a	7.07 ab	9.28 a	9.67 ab	10.25 b	11.65 a	12.01 a	13.19 a
DMS	1.21	2.19	4.16	2.24	1.21	2.90	2.65	2.47
NÚMERO DE BIFURCACIONES								
25%	4.33 a	8.67 a	18.33 a	17.67 a	24.33 b	27.33 a	25.67 b	26.67 a
50%	3.67 a	13.33 a	23.00 a	26.33 a	41.67 ab	36.33 a	28.67 b	36.00 a
75%	3.67 a	12.33 a	31.00 a	36.00 a	49.67 a	38.00 a	37.67 a	42.33 a
100%	3.67 a	12.33 a	27.67 a	29.33 a	24.67 b	29.00 a	31.67 ab	40.00 a
125%	4.33 a	9.67 a	29.00 a	26.00 a	29.33 ab	43.67 a	34.33 ab	39.00 a
DMS	2.19	12.36	10.66	26.91	20.58	26.61	8.68	20.63

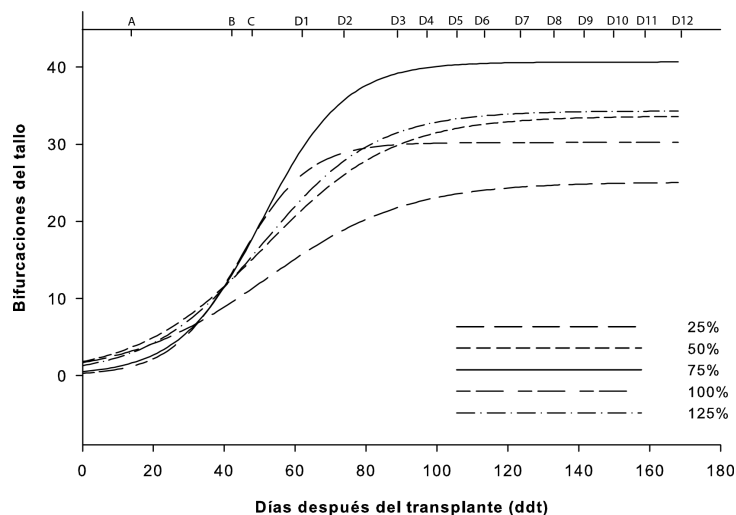
DMS: Diferencia mínima significativa; Valores con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha < 0.05$)



a)



b)



c)

Figura 1. a) Altura de planta, b) diámetro de tallo, c) número de bifurcaciones del tallo principal durante el ciclo del cultivo de chile miahuateco. A: Bifurcación del tallo principal; B: Floración; C: Formación de fruto; D: Maduración de fruto y D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9, D10, D11, D12: Cortes. Chapingo, México 2012.

2.4.1.2 Número de hojas y área foliar

Para número de hojas, de acuerdo al análisis de varianza (Cuadro 3), las plantas con mayor número a los 105 y 168 ddt ($\alpha < 0.05$) fueron las que se desarrollaron en la solución nutritiva de 75% de concentración.

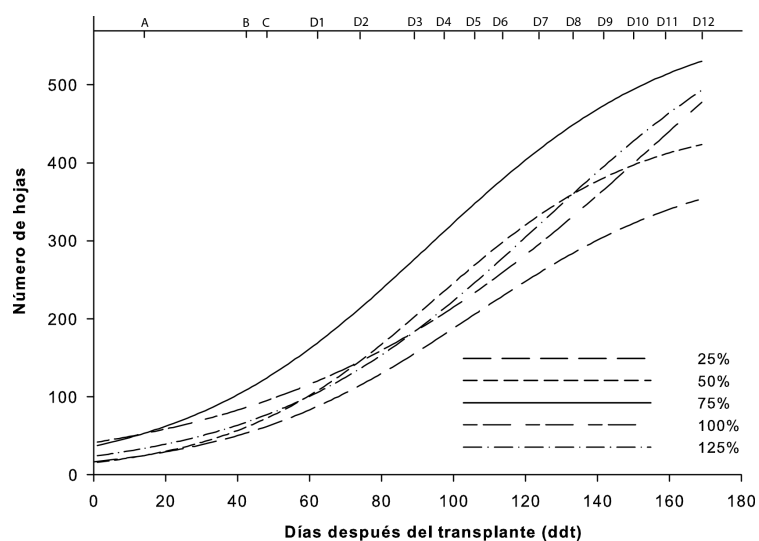
El número de hojas está relacionado con área foliar, y es muy importante ya que determina el potencial de la actividad fotosintética (Klapwijk, 1986), encontrándose que la menor área se observó a los 21, 42, 63, 105, 126, 147 y 168 días en plantas desarrolladas en la solución nutritiva con la concentración de 25%, la mayor área foliar se encontró en 75% a los 42, 63, 195 y 168 ddt, esto se vio reflejado en un mayor peso total de materia seca y peso de frutos.

Debido a la dependencia entre ambas variables, y aún cuando el valor de número de hojas es similar al no presentarse diferencias estadísticamente significativas, la diferencia en cuanto al área foliar se debe al tamaño de las hojas.

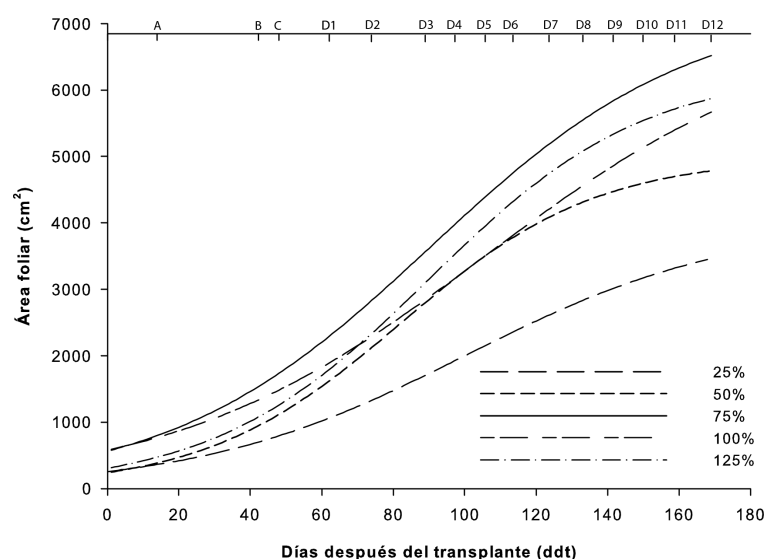
Cuadro 3. Efecto de cinco concentraciones de solución nutritiva de Steiner sobre número de hojas y área foliar durante el ciclo de cultivo de chile miahuateco. Chapingo, México 2012.

Conc.	Días después del transplante (ddt)							
	21	42	63	84	105	126	147	168
NÚMERO DE HOJAS								
25%	25.0 a	48.3 a	113.7 a	125.0 a	207.7 b	240.0 b	358.0 a	368.4 b
50%	20.3 a	59.3 a	157.7 a	139.7 a	279.0 ab	349.7 a	434.4 a	413.3 ab
75%	26.3 a	101.3 a	167.3 a	316.0 a	387.3 a	309.7 ab	526.0 a	598.7 a
100%	29.0 a	85.7 a	139.7 a	224.3 a	199.0 b	271.0 ab	491.7 a	468.3 ab
125%	22.7 a	71.0 a	137.7 a	197.0 a	250.7 b	301.3 ab	539.7 a	483.7 ab
DMS	10.7	62.1	58.2	218.8	135.6	108.9	207.9	229.2
ÁREA FOLIAR (cm ²)								
25%	279.2 c	621.6 b	1158.7 b	1756.4 a	2177.7 b	2347.4 b	3264.2 b	4258.1 b
50%	351.7 bc	952.1 ab	2007.1 ab	2308.5 a	3692.2 ab	4104.8 a	4741.0 ab	5375.8 ab
75%	477.6 ab	1619.1 a	2586.7 a	3487.4 a	4887.7 a	4359.8 a	6227.6 a	7511.8 a
100%	628.6 a	1437.9 ab	1956.8 ab	3327.1 a	2919.2 ab	4082.1 a	5618.9 a	6420.1 ab
125%	409.3 bc	1093.6 ab	2194.5 a	2913.6 a	3362.5 ab	5256.0 a	5735.0 a	6313.9 ab
DMS	196.5	873.4	868.5	3309.2	2038.7	1498.9	1525.4	2906.5

DMS: Diferencia mínima significativa; Valores con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha < 0.05$)



a)



b)

Figura 2. a) Número de hojas, b) área foliar durante el ciclo del cultivo de chile miahuateco. A: Bifurcación del tallo principal; B: Floración; C: Formación de fruto; D: Maduración de fruto y D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9, D10, D11, D12: Cortes. Chapingo, México. 2012.

2.4.2 Rendimiento, índice de cosecha y número de frutos

El índice de cosecha para los cinco tratamientos estuvo en el intervalo de 0.48 a 0.53 (Cuadro 4). De acuerdo a la prueba de comparación de medias, las plantas irrigadas con solución nutritiva a 75% de concentración estadísticamente produjeron mayor número de frutos, esto debido a la mayor concentración de nutrimentos, entre ellos el calcio, que juega un papel estructural muy importante en las paredes celulares

de frutos (Taiz y Zeiger, 2006). Rubio *et al.*, 2010 encontraron que la calidad y rendimiento de frutos aumenta al incrementar la concentración de calcio, el menor número de frutos se encontró en la concentración a 25%.

En relación con el peso promedio por fruto se encontró que las plantas irrigadas con 25% de concentración mostraron frutos de mayor tamaño con respecto a los de 100%, los demás son estadísticamente iguales.

Con la concentración de 25 % las plantas produjeron menor número de frutos y por consiguiente un rendimiento menor; sin embargo los frutos presentaron un tamaño comercialmente aceptable, incluso mayor que los de 100 %. Aunque el número de bifurcaciones a 25 % fue igual durante todo el experimento (Cuadro 2), ya que se encontraron diferencias sólo a los 105 y 147 ddt, el porcentaje de amarre de frutos fue bajo respecto a los demás tratamientos. La planta al tener menor carga de frutos, ocasionada por la limitada disponibilidad de nutrimentos, alcanzaron un mayor tamaño ya que los fotosintatos se distribuyeron en un menor número de frutos.

En las concentraciones del 50, 75, 100 y 125 el área foliar fue estadísticamente igual por lo que puede considerarse que resultó suficiente para suministrar a los frutos la cantidad de fotosintatos necesarios para un buen desarrollo y a pesar de que incrementó la demanda ocasionada por el alto número de frutos, la superficie fotosintética tuvo el mismo valor al final del cultivo.

El rendimiento fue mayor en las concentraciones de 50 y 75%, esto indica que las plantas que se desarrollan a 50% son más eficientes, al alcanzar un rendimiento similar a lo obtenido de soluciones mas concentradas. En las concentraciones de 100 y 125% existe un decremento drástico en el rendimiento ya que se comportan de la misma manera que al 25%, esto puede deberse a que la planta no tolera presiones osmóticas elevadas, del orden de -0.072 MPa, lo que provocó absorción

limitada de nutrimentos y afecto su productividad, en tomate Parra *et al.*, 2008 encontraron que a mayor presión osmótica (-0.047 a -0.097) el rendimiento se ve afectado.

El inicio de cosecha fue a los 60 ddt en un ciclo de evaluación de 164 días, durante el cual se realizaron 12 cortes, esto representa la posibilidad de tener una ventana de mercado mas amplia, comparado con el sistema tradicional a campo abierto con riego rodado en donde la cosecha se inicia a los 110 ddt logrando solo 8 cortes y un rendimiento de 5 ton ha⁻¹, por lo tanto el manejo hidropónico es una buena opción para aumentar la rentabilidad del cultivo para los pequeños productores de la zona de Tehuacán, Puebla.

Cuadro 4 Efecto de cinco concentraciones de solución nutritiva de Steiner sobre número de frutos, peso total, peso promedio de frutos, índice de cosecha biológico e índice de cosecha comercial por planta, en el cultivo de chile miahuateco en Chapingo, México 2012.

Conc.	Frutos			IC	
	Número	Peso total (g)	Peso prom.(g)	Biológico	Comercial
25%	48.19 c	1572.9 c	32.59 a	0.50 a	0.40 a
50%	78.61 ab	2319.1 ab	29.45 ab	0.52 a	0.38 a
75%	90.81 a	2744.9 a	30.25 ab	0.48 a	0.37 a
100%	67.12 bc	1870.6 bc	27.89 b	0.49 a	0.30 a
125%	61.73 bc	1846.3 bc	29.85 ab	0.53 a	0.40 a
CV	9.72	12.11	5.3	6.10	7.65
DMS	19.009	707.85	4.49	0.08	0.08

DMS: Diferencia mínima significativa; Valores con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha < 0.05$)

2.4.3 Distribución de materia seca

2.4.3.1 Distribución de materia seca por tratamiento

En tallo se observaron diferencias significativas ($\alpha < 0.05$) a los 63, 84, 105 y 147 ddt, donde las plantas tratadas con 75% de concentración de la solución nutritiva acumularon mayor cantidad de materia seca (cuadro 5).

En hoja, el tratamiento a 25% de concentración fue el que presentó la menor cantidad en peso, respecto a las otras concentraciones, debido a que tenía menor cantidad de nutrimentos disponibles para su asimilación.

Las plantas tratadas con 75% mostraron valores mas altos a los 42, 63, 84, 105, 147 y 168 ddt, debido a la mayor cantidad de nutrimentos en relación al 25 y 50% de concentración, éste comportamiento se vio reflejado en una mayor área foliar, lo que permitió sintetizar mas carbohidratos que fueron translocados al fruto.

A los 42 ddt la acumulación de materia seca en frutos inició estadísticamente igual en todos los tratamientos y hasta el final del ciclo.

Los análisis de varianza y comparación de medias muestran diferencias significativas en la acumulación de materia seca total a los 21, 63, 84, 105, 126 y 147 ddt, donde las plantas bajo 25 % de concentración mostraron los valores mas bajos, efecto ocasionado por la baja disponibilidad de nutrimentos en la solución nutritiva.

Proporcionar mayor cantidad de nutrimentos, no siempre implica que la planta tiene mas posibilidades de acumular más materia seca, lo cual no significa que se acumule en los frutos si no también en las demás estructuras de interés, como tallos y hojas.

Cuadro 5. Efecto de cinco concentraciones de solución nutritiva de Steiner sobre materia seca en tallo, hoja y fruto durante el ciclo de cultivo de chile miahuateco. Chapingo, México 2012.

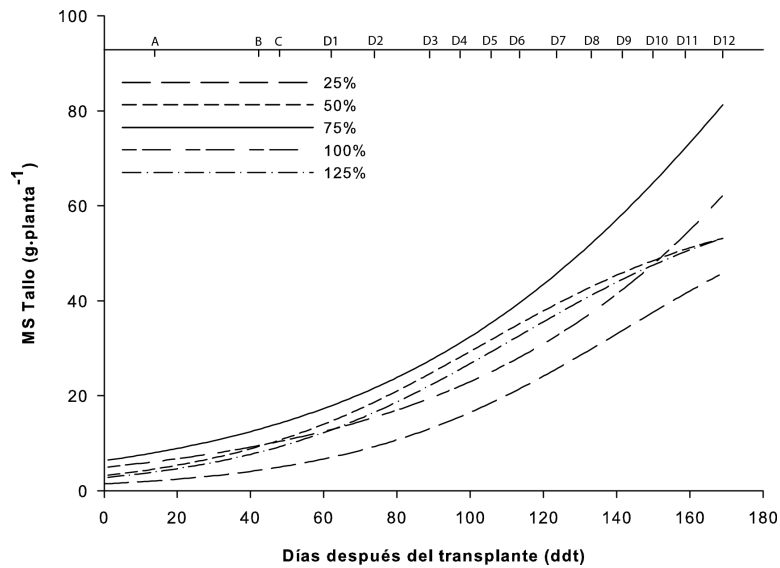
Conc.	Días después del transplante (ddt)							
	21	42	63	84	105	126	147	168
TALLO (g)								
25%	1.22 b	4.607 a	10.723 b	12.17 b	16.783 b	20.82 a	43.927 b	56.06 a
50%	1.44 ab	5.237 a	18.383 ab	29.413 ab	32.187 ab	31.17 a	52.523 b	64.53 a
75%	1.56 ab	9.003 a	24.88 a	31.843 a	42.747 a	31.413 a	70.8 a	90.04 a
100%	2.71 a	8.29 a	18.23 ab	21.303 ab	23.917 ab	31.583 a	47.047 b	64.08 a
125%	1.34 b	6.307 a	18.983 ab	21.86 ab	26.467 ab	36.203 a	51.38 b	60.51 a
DMS	0.65	7.4739	13.177	17.284	20.565	24.533	12.18	44.059
HOJA (g)								
25%	0.97 c	3.03 c	6.133 b	8.483 b	13.713 b	17.16 b	26.987 b	40.527 b
50%	1.28 bc	3.703 bc	10.25 ab	11.273 ab	21.66 ab	28.937 a	37.92 ab	44.503 b
75%	1.51 b	8.253 a	13.607 a	22.35 a	28.75 a	31.627 a	46.88 a	68.15 a
100%	2.00 a	7.18 ab	10.357 ab	15.06 ab	19.317 ab	29.62 a	45.11 a	54.66 ab
125%	1.34 bc	4.96 ab	12.41 a	17.147 ab	22.73 ab	36.517 a	38.113 ab	49.64 ab
DMS	0.48	3.9344	4.8932	13.19	11.325	9.66	14.667	23.342
FRUTOS (g)								
25%	-	0.4733 a	9.107 a	23.27 a	34.29 a	29.17 a	30.02 a	48.21 a
50%	-	1.6833 a	12.9 a	30.483 a	61.23 a	63.99 a	37.88 a	85.45 a
75%	-	0.47 a	8.66 a	51.357 a	60.69 a	75.64 a	66.5 a	50.13 a
100%	-	1.1017 a	17.263 a	40.32 a	62.8 a	46.63 a	60.27 a	36.29 a
125%	-	1.74 a	17.817 a	29.16 a	62.15 a	87.02 a	71.86 a	65.8 a
DMS	-	1.6323	15.886	32.337	37.625	63.075	57.101	64.553

DMS: Diferencia mínima significativa; Valores con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha < 0.05$)

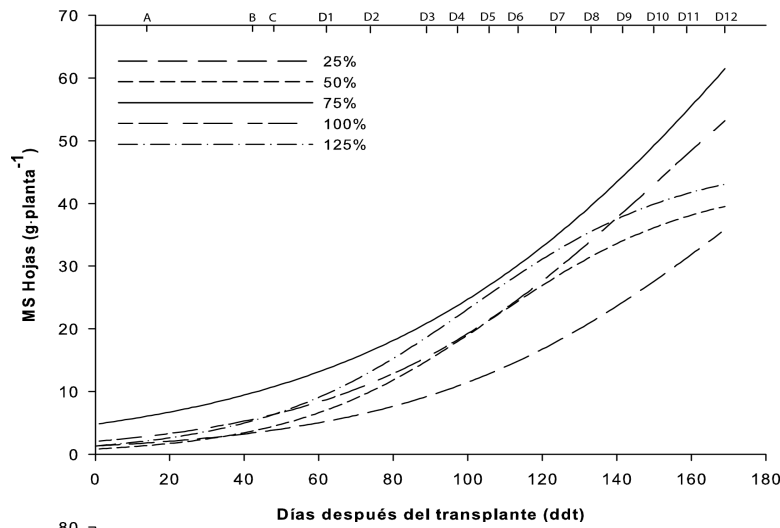
Cuadro 6. Materia seca total durante el ciclo de cultivo de chile miahuateco bajo cinco concentraciones de solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México 2012.

Conc.	Días después del transplante (ddt)							
	21	42	63	84	105	126	147	168
TOTAL (g)								
25%	2.2133 b	8.19 a	26.243 b	44.02 b	65.16 b	67.25 b	101.05 b	144.9 a
50%	2.7467 b	10.757 a	42.067 ab	71.32 ab	115.41 ab	124.55 ab	128.47 ab	195.01 a
75%	3.07 ab	17.867 a	47.573 a	105.66 a	132.53 a	138.86 a	184.31 a	208.96 a
100%	4.0967 a	16.712 a	46.037 ab	76.98 ab	106.44 ab	108.24 ab	152.63 ab	155.85 a
125%	2.6833 b	13.107 a	49.593 a	68.31 ab	111.77 ab	160.02 a	161.63 a	176.3 a
DMS	1.1443	10.819	21.15	45.919	54.37	67.815	56.957	105.14

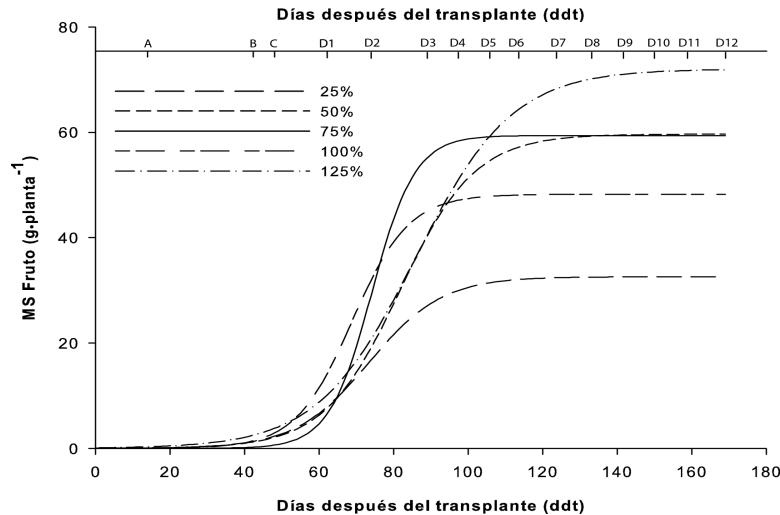
DMS: Diferencia mínima significativa; Valores con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha < 0.05$)



a)



b)



c)

Figura 3. Acumulación de materia seca en: a) tallo, b) hoja y c) fruto, durante el ciclo del cultivo de chile miahuateco. A: Bifurcación del tallo principal; B: Floración; C: Formación de fruto; D: Maduración de fruto y D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9, D10, D11, D12: Cortes. Chapingo, México 2012.

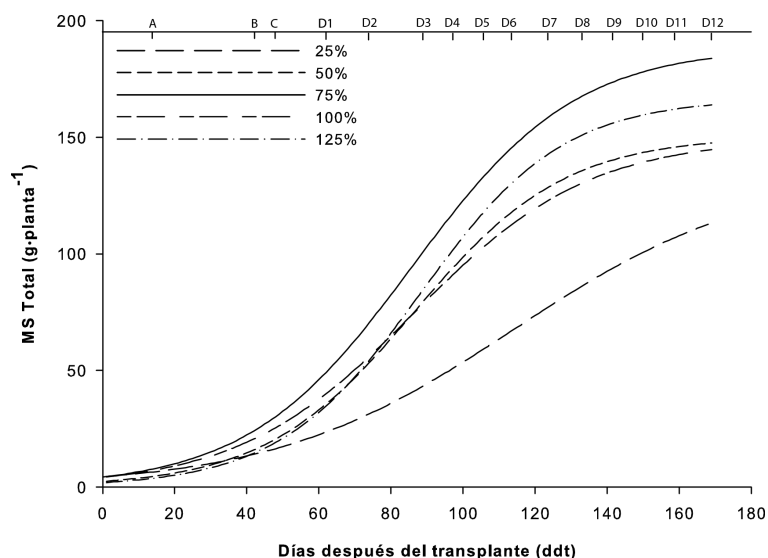


Figura 4. Acumulación de materia seca total durante el ciclo del cultivo de chile miahuateco. A: Bifurcación del tallo principal; B: Floración; C: Formación de fruto; D: Maduración de fruto y D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9, D10, D11, D12: Cortes. Chapingo, México 2012.

2.4.3.2 Distribución relativa de materia seca por órgano

Se encontró que de transplante al inicio de la fase reproductiva del cultivo (42 ddt) la acumulación de materia seca se concentró en tallos y hoja, después de esto la mayor acumulación de materia fue en fruto, alcanzando su punto máximo entre los 105 y 125 ddt, para que nuevamente a partir de 147 ddt la acumulación de materia seca en fruto descendió (Figura 5 y Figura 6).

La acumulación de materia seca fue lenta hasta los 42 ddt, y se incrementa conforme se acerca la etapa reproductiva de la planta (63 ddt), el mismo comportamiento se observa en diferentes tipos de chiles (Moreno *et al.*, 2003; Martínez, 2006; Gasga, 2006; Valentín, 2011). El comportamiento se debe a la poca cantidad de raíces en el medio, conforme aumenta su número aumenta la capacidad para absorber agua y nutrimentos disponibles en el sustrato, incrementando así su tasa de crecimiento.

La planta de chile miahuateco presenta mayor proporción de hojas respecto a otros tipos, en chile de agua el porcentaje de hoja llega a 11 % hacia el final del ciclo, mientras que en chile miahuateco desciende a 15.84 % a los 64 ddt para luego recuperarse y mantenerse del 22 a 37 % hacia el final del ciclo, se ha reportado valores de 15 a 30.8 % en otros tipos de chiles (Valentín, 2011; Martínez, 2006). A pesar de que la proporción de hojas es alta, a partir de que inicia la etapa reproductiva los frutos constituyen el órgano mas importante de acumulación de biomasa.

El rendimiento de un cultivo esta dado por su capacidad de acumular biomasa en los frutos, un aumento en la proporción de materia seca destinada a estos órganos garantizará un aumento en la producción, por lo tanto se debe proporcionar las condiciones ambientales, nutritivas y de manejo agronómico para evitar el aborto de flores y así favorecer el amarre de fruto.

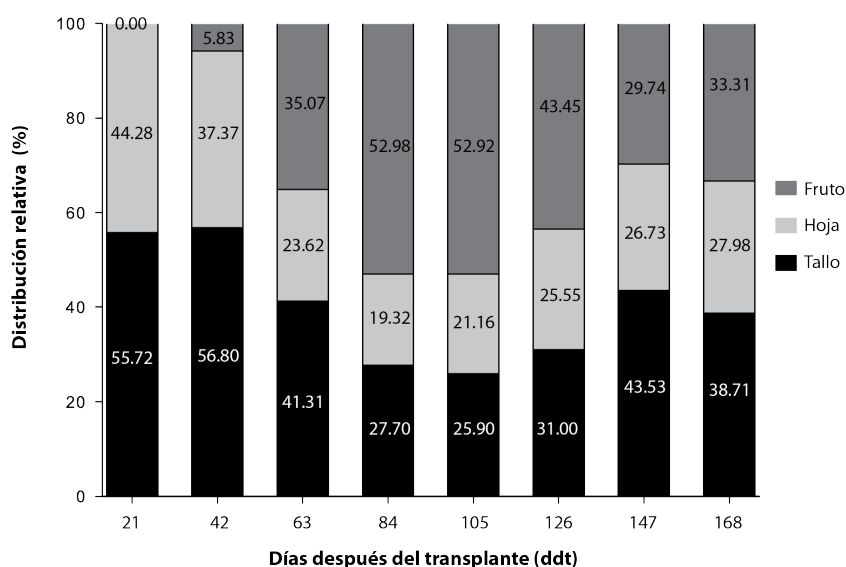


Figura 5. Distribución de materia seca en cada órgano de la planta de chile miahuateco irrigada con solución nutritiva de Steiner al 25 %. Chapingo, México 2012.

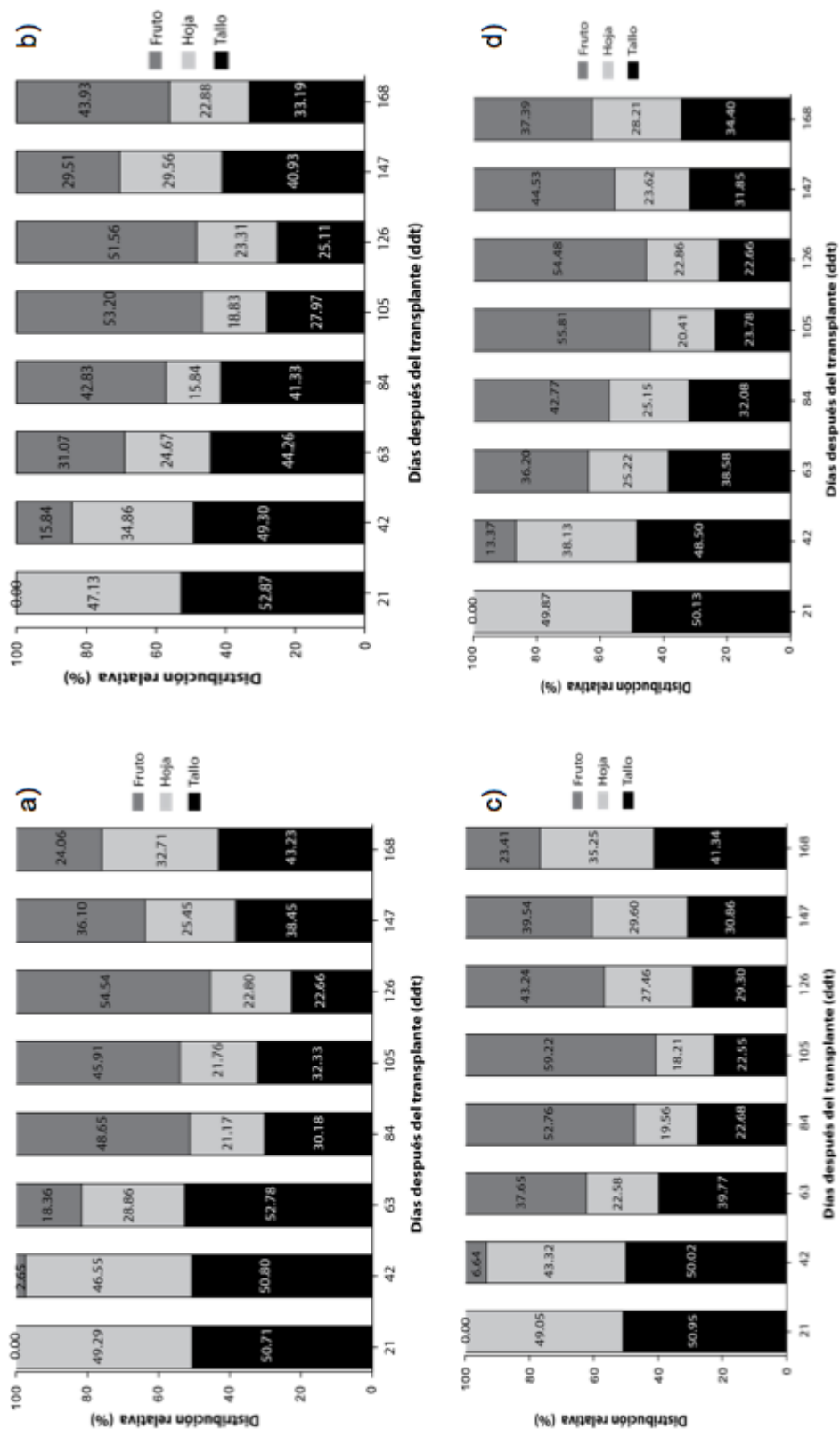


Figura 6. Distribución de materia seca en cada órgano de la planta de chile miahuateco irrigada con solución nutritiva de Steiner al a) 50 %; b) 75 %; c) 100 % y d) 125 %. Chapingo, México 2012.

2.4.4 Índices de eficiencia fisiológica

2.4.4.1 Tasa absoluta de crecimiento (TAC)

La TAC se incrementó gradualmente para las concentraciones 50, 75, 100 y 125 %, desde el transplante hasta 43 ddt, durante este periodo las plantas se adaptaron y formaron estructuras de fijación e intercepción de luz. 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, las concentraciones 75 y 125 % tuvieron mayor ganancia de materia seca a los 85 y 87 ddt respectivamente con valores de 2.07 y 2.11 $\text{g}\cdot\text{planta}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$, las plantas irrigadas con solución a 25% les tomó mas tiempo alcanzar su máxima tasa, con 1.009 $\text{g}\cdot\text{planta}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$ a los 115 ddt, lo cual deja en claro su poca eficiencia. Para el caso de 50 y 100% alcanzaron 1.79 y 1.53 $\text{g}\cdot\text{planta}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$ a los 86 y 87 ddt respectivamente.

2.4.4.2 Tasa relativa de crecimiento (TRC)

Durante los 168 días de duración del ciclo de cultivo las plantas irrigadas con la solución nutritiva a 50, 75, 100 y 125% mostraron la misma tendencia a la baja, la TRC disminuye lentamente del inicio hasta los 60 ddt, donde se observa decremento mas pronunciado. El comportamiento típico de la TRC presenta valores altos al principio debido al crecimiento acelerado y a la división celular que se presenta en esta etapa, a medida que transcurre el tiempo y el cultivo se acerca al final del ciclo, la TRC decrece llegando a cero, para las concentraciones de 50, 75, 100 y 125 % se observó gran eficiencia en la acumulación de peso seco por cada unidad de peso seco presente en las primeras etapas de desarrollo, los tejidos jóvenes poseen una mayor actividad

fotosintética, meristemática y de asimilación, después se observa un decremento. Los valores más altos se obtienen de los 0 a los 35 ddt, después de esto todos los tratamientos llegan a cero al final del ciclo. El mismo comportamiento se ha encontrado en diferentes tipos de chiles (Barraza, 2000; Gasga, 2006; Valentín, 2011).

2.4.4.3 Tasa de asimilación neta (TAN)

La tasa de asimilación neta, mostró variación en cada concentración evaluada. Las plantas cuyos valores son mas altos son las que crecieron en una solución del 50 y 125 %.

La TAN disminuyo en todas las concentraciones después de 90 ddt, esto puede deberse a que la luz interceptada no era la misma debido al aumento en el follaje, por lo que su capacidad fotosintética fue afectada.

Los máximos valores de TAN se obtuvieron a la par de cuando se inicia la cosecha comercial (63 ddt), debido a que los frutos son sitios de alta demanda de fotoasimilados.

2.4.4.4 Razón de área foliar (RAF)

Las plantas irrigadas con solución nutritiva a 125 % presentaron valores altos durante todo el ciclo del cultivo con hasta $129.65 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$. A medida que transcurrió el tiempo la RAF disminuyó hasta el inicio de la cosecha, a partir de ese momento se mantuvo casi constante hasta el final del ciclo, el comportamiento fue similar en los demás tratamientos, mientras que los valores mas bajos se encontraron en la solución de 25 %.

El comportamiento observado se atribuye a que la síntesis de materia seca fue mas rápida en las hojas de plantas que fueron desarrolladas en la concentración de 125 % lo que permite a la planta producir y acumular mayor cantidad de área foliar, en virtud de una mayor oferta de nutrimentos.

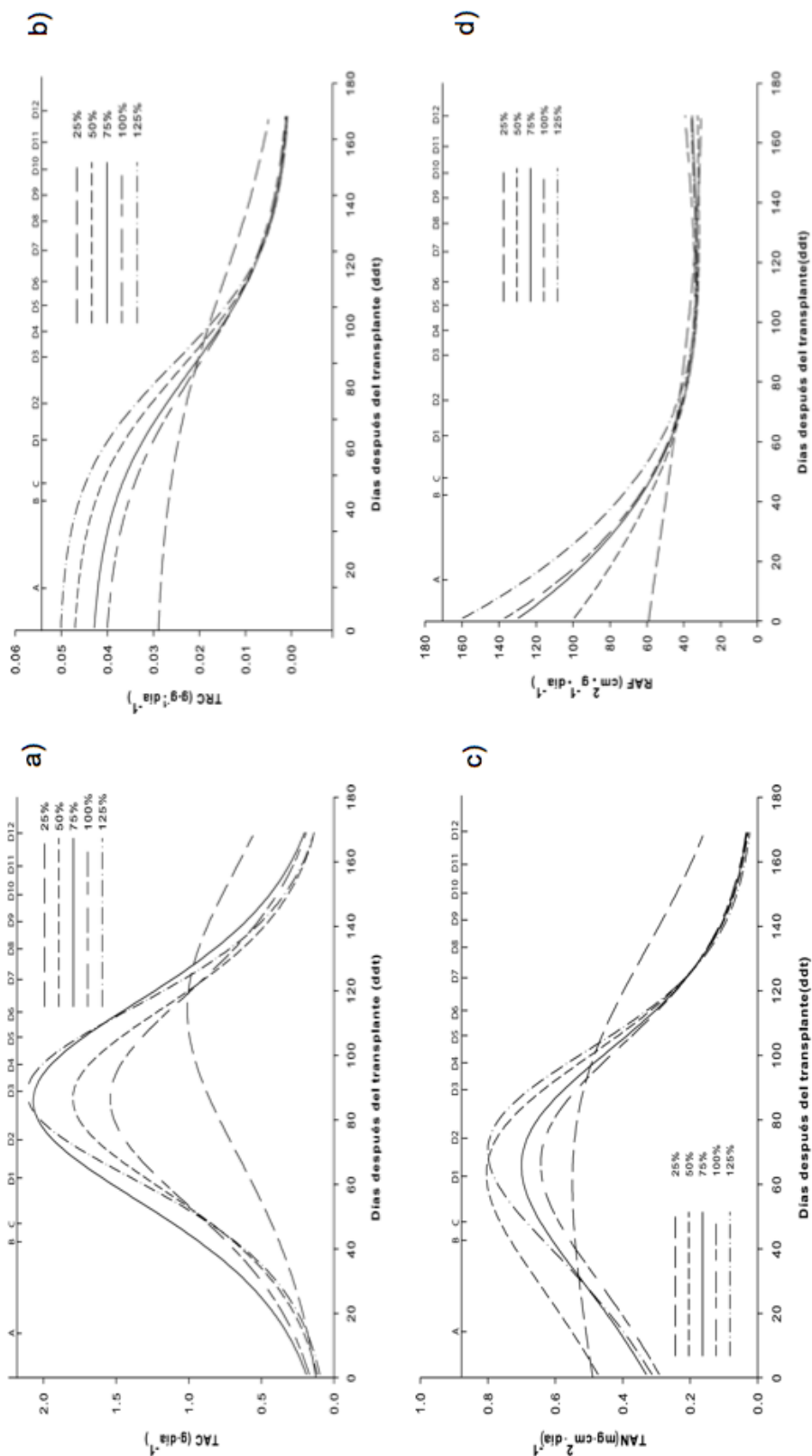


Figura 7 a) Tasa Absoluta de Crecimiento (TAC), b) Tasa Relativa de Crecimiento (TRC), c) Tasa de Asimilación Neta (TAN) y d) Relación de Área Foliar (RAF) durante el ciclo de cultivo de chile mihuato bajo cinco concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. A: Bifurcación del tallo principal; B: Floración; C: formación de fruto; D: Maduración de fruto y D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9, D10, D11, D12: Cortes. Chapingo, México 2012.

CONCLUSIONES

Las variables morfológicas como diámetro de tallo, número y área foliar de hojas, así como también el número de frutos por planta y bifurcaciones se vieron afectadas por la concentración de nutrimentos en la solución nutritiva.

Las plantas irrigadas con 75% de concentración tuvieron la mayor magnitud de estas variables.

Las plantas irrigadas con 75 % de solución de Steiner presentaron mayor materia seca en hoja, fruto y total con respecto a las plantas irrigadas con 25%.

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.

El uso de la solución nutritiva al 75% permite tener una producción temprana abarcando mayor tiempo en el mercado, para este caso la cosecha inicia 60 ddt en un ciclo de 168 días, durante el cual se realizaron 12 cortes, comparado con el sistema tradicional a campo abierto con riego rodado la cosecha inicia 110 ddt con 8 cortes, por lo tanto el manejo hidropónico es una buena opción para aumentar el rendimiento del cultivo para los pequeños productores de la zona de Tehuacán, Puebla.

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.
- 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. 142p.
- Bidwell R., G.S. 1993. Fisiología Vegetal. 2da Edición. Traducido al español por Cano y Cano, G.G; Rojas Garcidueñas, M.A.G.T. Editor. DF., México. 784 p.
- Brand G., D.; Weetman, F.G. 1987. Growth Analysis of Perennial Plants: The Relative Production Rate and its Yield Components. *Annals of Botany* 59: 45-53.
- 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.
- 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. *Fitotecnia Mexicana* 28(3): 287-293.
- 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. 1978. Plant Growth analysis. Studies in biology. No. 96. Edward Arnold (Plubliser). London. 67 p.
- Hunt, R. 1982. Plant growth curves: the functional approach to plant growth analysis. Edward Arnold (Publisher). Ltd. London. 67 p.
- Klapwijk, D. 1986. Production of tomato transplants in The Netherlands. Acta Hort. 190: 505-510.
- 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.
- 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.
- 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 annum* L.) crop to different trickle irrigation rates. Spanish journal of Agricultural Research 1(2): 65-74.
- Parra T., S.; Villarreal R., M.; Sánchez P., P.; Corrales M., J. L.; Hernández V., H. 2008. Efecto del calcio y potencial osmótico de la solución nutritiva en la pudrición apical, composición mineral y rendimiento de tomate. Interciencia, 33 (6): 449-456.
- 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.; Sahagún C., J.; Mora A., R.; Gasga P., R. 2006. Programa de cómputo para la estimación de parámetros de regresión no lineal útiles en el análisis de crecimiento de cultivos. 52a reunión anual de la Sociedad Interamericana de Horticultura Tropical. Sep. 24-30. San Juan, Puerto Rico.
- Rubio J., S.; García S., F.; Flores, P.; Navarro J., M.; Martínez, V. 2010. Yield and fruit quality of sweet pepper in response to fertilisation with Ca^{2+} and K^{+} . Spanish Journal of Agricultural Research. 8(1):170-177.
- Sivori, M. E.; Montaldi, R. E.; Caso H., O. 1980. Fisiología vegetal. Ed. Hemisferio sur S. A. Buenos Aires, Argentina. 681 p.
- Steiner A. 1984. The Universal Nutrient Solution. Pp. 633-649. In: proceedings of the 6th International Congress on soilless Culture. ISOSC, Wageningen, The Netherlands.
- Taiz, L.; Zeiger E. 2006. Plant Physiology, 4th Edition. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, Massachusetts, EE UU. 672 pp.
- Wild, A. 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas. Ed. Mundiprensa. Madrid, España. 1045 p.
- Valentín M., M. C. 2011. Crecimiento y extracción de nutrimentos en chile de agua (*Capsicum annuum* L.). Tesis de Maestría. Instituto de Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo, México. 104 p.
- Valle M., J.C. 2010. Acumulación de biomasa, crecimiento y extracción nutrimental en pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) Tesis Maestría. Instituto de Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo, México. 106 p.

Vásquez 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.

CAPITULO 3. EXTRACCIÓN DE MACRONUTRIMENTOS DEL CHILE MIAHUATECO

EXTRACCIÓN DE MACRONUTRIMENTOS DE CHILE MIAHUATECO

MACRONUTRIENT EXTRACTION OF "CHILE MIAHUATECO"

M.B. Romero-Escobedo¹; R. Castro-Brindis²; J. E. Rodríguez-Pérez²; M. Pérez-Grajales²

RESUMEN

La absorción de nutrimentos es la base fundamental de la fertilización en muchos cultivos. Una forma utilizada para establecer la cantidad de fertilizante a aplicar a un cultivo consiste en evaluar la composición mineral de la biomasa de la planta, esta información permite saber la demanda total de nutrimentos que son tomados del sustrato, así podemos calcular la cantidad de nutrimentos requeridos por la planta para expresar un rendimiento esperado, en chile Miahuateco (*Capsicum annuum* L.), por ello con el objetivo de conocer dicha extracción nutrimental bajo condiciones de invernadero e hidroponia se determinó el contenido, extracción y curva de absorción de N, P, K, Ca y Mg, a 75% de solución nutritiva de Steiner. Durante el ciclo de cultivo el contenido de nutrimentos, osciló entre 1.41 y 1.96 % de N, 0.29 y 0.52 % de P, 1.58 y 2.26 % de K, 0.91 y 1.40 % de Ca y 0.50 7 0.93 % de Mg respectivamente. Las extracción nutrimental obtenida al final del ciclo fue 12.21, 2.46, 11.58, 9.97 y 4.28 g·planta⁻¹ de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente. Para producir una tonelada de fruto fresco de chile miahuateco, las cantidades requeridas son: 4.75, 0.96, 4.50, 3.88 y 1.66 kg de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente, en un ciclo de cultivo de 168 días.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: extracción nutrimental, tasa de absorción, hidroponia, fertilizante.

ABSTRACT

Nutrient uptake is a very important aspect for fertilization in many crops. A useful way to establish the amount of fertilizer to be applied to a crop consists of analyzing the mineral composition of plant biomass. This provides information on the total demand for nutrients taken from the substrate. In this way, it is possible to calculate the amount of nutrients required by the Miahuateco chilli (*Capsicum annuum* L.) plant to express its expected yield. To determine nutrient uptake under greenhouse and hydroponics conditions, the extraction and absorption curve of N, P, K, Ca and Mg at 75% of Steiner nutrient solution was evaluated. During the crop cycle, nutrient content ranged between 1.41 and 1.96% N, 0.29% P and 0.52, 1.58 and 2.26% K, 0.91 and 1.40% Ca and 0.50% Mg 0.93 7, respectively. The nutrient extraction obtained at the end of the cycle was 12.21, 2.46, 11.58, 9.97 and 4.28 g·planta⁻¹ of N, P, K, Ca and Mg, respectively. The quantities of nutrients needed to produce one ton of fresh fruit was 4.75, 0.96, 4.50, 3.88 y 1.66 kg of N, P, K, Ca and Mg, respectively, in 168 days of a growing cycle.

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

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. MEXICO.

3.1 INTRODUCCIÓN

El estudio de la absorción de nutrimentos es la base fundamental de la fertilización en muchos cultivos. Los elementos con funciones específicas y esenciales en el metabolismo de las plantas se clasifican, según su concentración en la planta y conforme a sus requerimientos para el adecuado crecimiento y reproducción, en dos grupos: macronutrientes y micronutrientes (Marschner, 1995; Epstein y Bloom, 2004).

Una forma utilizada para establecer la cantidad de fertilizante a aplicar a un cultivo consiste en evaluar la composición mineral de la biomasa de la planta, esta información permite saber la demanda total de nutrimentos que son tomados del sustrato, así podemos calcular la cantidad de nutrimentos requeridos por la planta para expresar un rendimiento esperado.

En Chile miahuateco (*Capsicum annuum* L.), tipo de chile semejante al poblano pero que se diferencia por ser más delgado y con mayor grado de pungencia apreciado en la región de Tehuacán, Puebla por sus características culinarias, no existe tal información por lo que la cantidad de nutrimentos que actualmente se aplican en los sistemas de producción tradicionales son determinados empíricamente afectando de manera negativa la expresión del rendimiento potencial, además de provocar problemas de deficiencia o toxicidad a la planta y contaminación del suelo en caso de exceso.

Para asegurar el suministro óptimo es necesario conocer la cantidad de nutrimento requerido así como el comportamiento a lo largo del ciclo. Se pueden emplear modelos de crecimiento para estimar la acumulación nutrimental en cualquier etapa fenológica y así obtener la curva de extracción nutrimental que determina la cantidad de nutrimentos extraídos.

El conocimiento de dicho patrón de absorción nutrimental y la dinámica de éstos en el suelo así como la relación que tiene con la producción de materia seca de la planta, aportará los elementos que permitirán definir los requerimientos nutrimentales en las diferentes etapas de desarrollo y generar recomendaciones sobre el manejo de la fertilización en el cultivo, con ello poder alcanzar la mejor calidad y rendimiento del fruto.

De acuerdo a lo anterior el objetivo de este trabajo fue analizar el contenido y extracción nutrimental en la parte aérea de la planta durante diferentes etapas fenológicas, con el propósito de determinar los índices de extracción nutrimental e identificar las etapas de desarrollo en las que se presenta la mayor tasa de absorción de N, P, K, Ca y Mg en chile miahuateco en condiciones de hidroponia bajo invernadero.

3.2 REVISIÓN DE LITERATURA

Nutrición de cultivos

Las plantas son organismos autótrofos por su capacidad de sintetizar carbohidratos usando solamente agua, dióxido de carbono y energía solar. La fotosíntesis, el proceso por el cual la planta captura la luz solar para convertirla en energía química, sin embargo, la elaboración de carbohidratos es tan solo un componente del desarrollo y crecimiento de la planta. Los nutrientes esenciales, en combinación con el agua, son necesarios para formar los carbohidratos complejos, los aminoácidos y las proteínas que componen el tejido vegetal, y que desempeñan las funciones claves en los procesos vitales de la planta (Gliessman, 2002).

La alimentación de una planta para su mantenimiento y crecimiento es a base de una serie de sustancias inorgánicas minerales simples (nitrógeno, fósforo, potasio, etc.), agua, CO₂ y O₂ y energía radiante (luz y temperatura) (Valle, 2010).

Así pues, el estado nutricional de las hortalizas está relacionado directamente con el rendimiento y calidad de la cosecha y se ve afectado por diversos factores como las propiedades físicas y químicas del suelo, la fertilización aplicada, la precipitación y el riego (Grageda, 1999).

En las hortalizas las exigencias de calidad (tamaño, color, textura, firmeza, sabor, etc.) son mayores por lo que generalmente tienen una demanda intensa en la mayoría de los nutrientes, en tomates y chiles, los elementos extraídos se localizan principalmente en los frutos para el caso de nitrógeno y fósforo, en contraste con el potasio el cual se localiza en su mayor parte en tallos y hojas (Grageda, 1999).

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 análisis de la parte aérea de la planta proporcionan información acerca de la concentración de los nutrimentos en ésta y se encuentran relacionados con la producción de materia seca (Etchevers, 1999).

Fertilización de cultivos

Para que un elemento pueda ser considerado esencial en el crecimiento de las plantas, debe cumplir los tres criterios de esencialidad de Arnoun y Stout que son: 1) la planta no podrá completar su ciclo de vida normal en la ausencia del elemento, 2) la acción del elemento debe ser específica y ningún otro elemento puede sustituirlo completamente, 3) el elemento deberá estar directamente implicado en la nutrición de la planta, esto es, ser un constituyente de un metabolito o ser necesaria su presencia para la acción de una enzima esencial y no ser simplemente la causa de que otros elementos sean más fácilmente asimilables (Resh, 2001).

De ahí que sea relativamente más simple demostrar la esencialidad de un elemento en particular observando el desarrollo de las plantas en un medio de composición conocida y bien definida, como las soluciones nutritivas en sistemas de riego localizados. La mayor ventaja de este sistema radica en la posibilidad de hacer una fertilización día a día en función del proceso fotosintético y exactamente a la medida del cultivo, del sustrato, del agua de riego y para unas condiciones ambientales definidas. La fertirrigación es por

tanto el proceso conjunto de riego y abonado, existe una estrecha relación entre agua utilizada y materia seca producida, numerosos estudios han puesto de manifiesto que el riego localizado aumenta la eficacia de los fertilizantes por emitir un suministro continuo de nutrimentos en relación directa con las necesidades de las plantas (Nuez *et al.*, 1996).

Existen muchos factores que afectan a la fertilización, algunos dependen del sitio donde se cultiven y otros de que tipo de crecimiento tengan las plantas, anuales o perenes. Sin embargo desde un punto de vista comercial, la mayoría de los chiles que se cultivan se encuentran en campo de 3 a 10 meses después del transplante. La mayoría de las recomendaciones de fertilizantes son basadas en un periodo corto, para periodos largos, el análisis foliar nos proporciona una herramienta para saber niveles de fertilización aplicar (Santos, 2012).

Extracción de nutrimentos

Independientemente del tipo de chile cultivado, la fertilización es afectada por el tipo de suelo, clima y manejo agronómico. Finalmente la fertilización depende de 4 aspectos principales, la tasa de absorción, sincronización, lugar y fuentes de elementos, cada aspecto se relaciona íntimamente uno con otro (Santos, 2012), por ello es importante conocer la curva de extracción de nutrimentos del cultivo, para poder sincronizar la fertilización y así proveer al cultivo con los nutrimentos en la etapa fisiológica y en las condiciones idóneas de raíces para su eficiente absorción.

3.3 MATERIALES Y MÉTODOS

De acuerdo a los datos obtenidos en un experimento previo de análisis de crecimiento de chile miahuateco, se observó que estadísticamente el que expresó mejores características de crecimiento y producción fueron las plantas irrigadas con la solución de 75% (Cuadro 1).

Cuadro 1. Efecto de cinco concentraciones de solución nutritiva de Steiner sobre número de frutos, peso total, peso promedio de frutos, índice de cosecha biológico e índice de cosecha comercial por planta del cultivo de chile miahuateco. Chapingo, México. 2012.

Conc.	Frutos			IC	
	Número	Peso total (g)	PMF (g)	Biológico	Comercial
25%	48.19 c ^z	1572.9 c	32.59 a	0.50 a	0.40 a
50%	78.61 ab	2319.1 ab	29.45 ab	0.52 a	0.38 a
75%	90.81 a	2744.9 a	30.25 ab	0.48 a	0.37 a
100%	67.12 bc	1870.6 bc	27.89 b	0.49 a	0.30 a
125%	61.73 bc	1846.3 bc	29.85 ab	0.53 a	0.40 a
CV	9.72	12.11	5.3	6.10	7.65
DMS	19.009	707.85	4.49	0.08	0.08

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 en las plantas irrigadas con la solución de Steiner a 75% por considerarla económicamente viable en un sistema de producción hidropónico comercial.

La determinación del contenido (%) de los nutrientes de interés se hizo cada 21 días, a partir de una mezcla de materia seca de todos los órganos de la planta, 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 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

Si se considera que la demanda nutrimental de cada cultivo tiene como base la capacidad de absorber nutrimentos para obtener un rendimiento considerable y satisfactorio por medio de la producción y acumulación de materia seca (tallos, hojas, flores y frutos), las Solanáceas absorben gran cantidad de nutrimentos la cual depende de la capacidad para acumular materia seca producida, influenciada por variables genéticas y ambientales (Grageda, 1999; Hedge, 1997), por lo tanto un incremento proporcional de la materia seca destinada a órganos que se destinan a la cosecha garantiza un incremento del rendimiento.

Los datos de extracción de acuerdo con el rendimiento por planta permitió calcular de manera aproximada la cantidad de nutrimento para producir una tonelada de fruto, misma que se presenta en el siguiente cuadro 2. Para calcular éstos índices de extracción se tomó como referencia la cantidad de materia seca acumulada en los frutos comerciales.

Cuadro 2. Cantidad de nutrimento requerido para producir una tonelada de fruto en el cultivo de chile miahuateco. Chapingo, México. 2012.

Nutrimento (Kg)				
N	P	K	Ca	Mg
4.75	0.96	4.50	3.88	1.66

3.4.1 Contenido y extracción de N, P y K

El contenido de nitrógeno, fósforo y potasio en la materia seca aérea durante el desarrollo del experimento tuvieron el mismo comportamiento, para el caso del nitrógeno el valor fue de 1.58 – 1.96 %, para fosforo el valor fue de 0.29 – 0.52 % y para potasio de 1.59 a 2.26 %. Los valores se encuentran dentro de los

rangos normales ya que en ningún caso se presentaron síntomas visibles de deficiencia o toxicidad por exceso durante el ciclo de cultivo de chile miahuateco, para el caso del fósforo se sabe que representa de 0.15 a 1.0 % del peso seco total en muchos cultivos, con valores de suficiencia de 0.2 a 0.4% en hojas maduras (Jones *et al.*, 1991).

De la etapa de bifurcación del tallo principal (14 ddt) a la floración (42 ddt), las plantas de chile miahuateco mostraron valores más altos en el contenido de nitrógeno con 1.71 a 1.96 %, fosforo con 0.48 a 0.52 %; y potasio con 2.26 %.

Para el caso del N los valores fueron menores a los obtenidos en chile poblano (Martínez, 2006), chile manzano (Gasga, 2006) y chile de agua (Valentín, 2011), que oscilaron entre 3 y 4.6 %, esto puede deberse a que el chile miahuateco no es altamente productivo y por lo tanto no absorbe mayores cantidades de N, sin embargo su importancia es evidente ya que fue en esta etapa donde se encontró el mayor contenido, demostrando importancia que tiene el N en la división y expansión celular, así como en el crecimiento de estructuras vegetativas, como son tallos y hojas (Jones *et al.*, 1991; Barker y Pilbeam, 2006).

El comportamiento del fosforo se debe a la forma de distribución que tiene el P en las plantas, ya que los tallos y hojas jóvenes que se encuentran en activo crecimiento contienen altas cantidades de P orgánico en forma de ácidos nucleicos y fosfolípidos (Mengel y Kirkby, 1982), el K se comportó de manera

similar a lo obtenido en chile de agua (Valentín, 2011), pero menores a los encontrados por Martínez, 2006 en chile poblano.

Al inicio de la formación de fruto las plantas tuvieron un descenso en su contenido de N pasando de 1.63 a 1.58 %, dichos valores fueron inferiores a los indicados para chile manzano (Gasga, 2006), poblano (Martínez, 2006) y chile de agua (Valentín, 2011) para esta etapa fenológica. Para el P se tiene el mismo comportamiento llegando hasta su punto mínimo que es 0.28% a los 147 ddt para luego mostrar un aumento a 0.34 % a los 167 ddt, dicho comportamiento coincide con el de N, ya que al final se observa un ligero aumento. Se tiene un comportamiento similar en chile manzano (Gasga, 2006) y en chile de agua (Valentín, 2011) donde el contenido de fosforo disminuyó de 0.30 (60 ddt) a 0.16 % (150 ddt).

Para el caso de potasio se encontró un contenido de 2.06%, dicho valor es inferior al reportado por Martínez, 2006 en chile poblano y por Valle, 2010 en chile pimiento, sin embargo fue suficiente para llevar a cabo el crecimiento y llenado de frutos, etapa en donde existe la mayor demanda de potasio.

Durante la maduración de frutos, a partir de los 61 ddt y hasta los 126 ddt el contenido de nitrógeno se mantuvo sin grandes cambios alcanzando 1.73 %, el mismo comportamiento se observa para fosforo y el contenido de potasio disminuyo gradualmente. A lo largo de este periodo se tuvo la mayor producción de fruto fresco, a los 147 ddt se tuvo un aumento significativo en el contenido de N hasta llegar a 1.78 %, lo cual indica una nueva fase de

producción de nuevos brotes, hojas y flores, este mismo comportamiento se reporta para chile manzano (Gasga, 2006), chile poblano (Martínez, 2006) y chile de agua (Valentín, 2011).

La extracción de nitrógeno, fosforo y potasio aumentó progresivamente a partir de la etapa de maduración de frutos (61 ddt) y hasta el final del ciclo de cultivo, en la figura 1, se observa un punto mayor, también se observó que en la etapa de cosecha la extracción se fue mayor lo cual demuestra la mayor demanda y por lo tanto mayor absorción de nutrimentos.

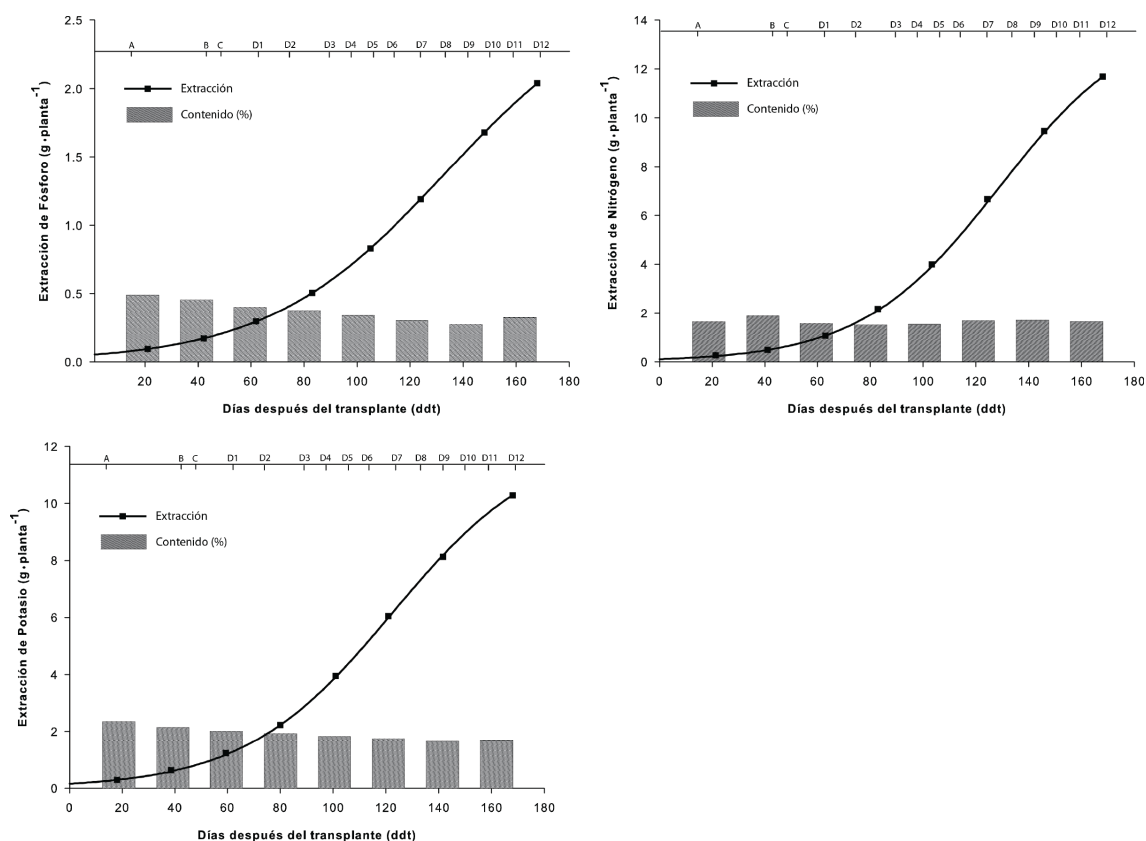


Figura 1. Contenido y extracción de N, P y K durante el ciclo de cultivo de chile miahuateco a 75 % de concentración de la solución nutritiva de Steiner. A: Bifurcación del tallo principal; B: Floración; C: formación de fruto; D: Maduración de fruto y D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9, D10, D11, D12: cortes. Chapingo México, 2012.

3.4.2 Contenido y extracción de Ca y Mg

Los datos obtenidos para el calcio y magnesio durante el desarrollo del experimento fueron de 0.91 a 1.40 y de 0.50 a 0.93 % respectivamente. No se observaron síntomas de deficiencia o toxicidad por exceso durante el ciclo del cultivo en puntos de crecimiento, tejidos de almacenamiento o frutos. Jones *et al.* (1991) señalan que el contenido de magnesio de una planta es variable, los valores de suficiencia están alrededor de 0.25 % en la mayoría de los cultivos, por lo tanto las plantas de chile miahuateco se encuentran dentro de estos valores de suficiencia, respecto al contenido de calcio en una hoja normal es de 0.2 a 3.0 %.

En la floración (14 ddt) el Ca presenta un valor de 0.90 %, en esta etapa el nivel estuvo dentro de los niveles de referencia, el calcio es utilizado en esta etapa para favorecer la germinación del polen y el crecimiento del tubo polínico (Brewbaker y Kwack, 1963), para el caso del Magnesio se tiene el valor mas alto con 0.92 %, posteriormente disminuyó al iniciar el periodo de mayor acumulación de materia seca. Esta misma tendencia se observó en estudios de extracción de nutrimentos en chile poblano, manzano, pimienta y chile de agua (Martínez, 2006; Gasga, 2006; Valle, 2010; Valentín, 2011).

En la etapa de floración y formación de frutos el valor obtenido fue de 0.90 a 0.95 para calcio y de 0.62 a 0.63 % para Mg, similar a lo obtenido por Martínez, 2006 para chile poblano con 0.59 – 0.72 %, en las mismas etapas fenológicas, a su vez este valor fue mayor a lo obtenido para chile de agua con 0.29 – 0.42 (Valentín, 2011) y menos al 1.3 – 2.06 para chile manzano (Gasga, 2006).

Durante la maduración de frutos los valores de calcio fueron de 0.93 a 0.97 y de magnesio del 0.50 a 0.60 %, para el caso de magnesio los valores son relativamente mas altos a los obtenidos en otros tipos de chile, dichos valores pueden asociarse a que la mayor absorción de Mg se da en las hojas debido a que forma parte de la molécula de clorofila, esto esencial en el proceso de fotosíntesis (Marschner, 1995); además de participar como cofactor en varios procesos enzimáticos, fotosíntesis y respiración, asimilación de carbono y transformaciones de energía (Mengel *et al.*, 2001).

La extracción calcio y magnesio tuvo un comportamiento similar al de los demás nutrimentos ya que aumenta a partir de los 80 ddt y hasta el final del ciclo de cultivo donde se observa un punto mayor, mostrando la mayor absorción de nutrimentos.

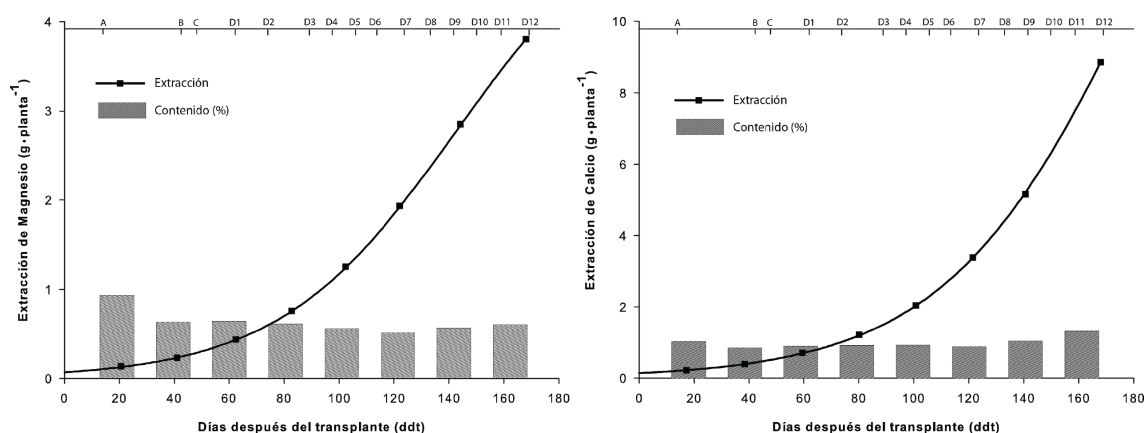


Figura 2. Contenido y extracción de Ca y Mg durante el ciclo de cultivo de chile miahuateco a 75 % de concentración de la solución nutritiva de Steiner. A: Bifurcación del tallo principal; B: Floración; C: formación de fruto; D: Maduración de fruto y D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9, D10, D11, D12: cortes. Chapingo México, 2012.

3.4.3 Tasa de absorción de N, P, K, Ca y Mg

A partir de la maduración (60 ddt), la tasa de absorción de nitrógeno se incrementó gradualmente hasta alcanzar un máximo de $0.1364 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$ a los 129 ddt (Figura 3).

Para el caso del fosforo (P) a partir de la floración (42 ddt) y del primer corte de frutos (61 ddt), la tasa de absorción aumentó progresivamente alcanzando un punto máximo a 134 ddt con un valor de $0.0205 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$, este comportamiento puede explicarse debido a que las condiciones de balance iónico y conductividad eléctrica de la solución al 75 %, favorecieron un buen funcionamiento del sistemas radical y el transporte de la planta que permite un mejor desarrollo (Thomson y Bolger, 1993).

El potasio (K) tuvo un comportamiento similar, sin embargo el punto máximo de absorción se encontró a los 122 ddt (Figura 3) con un valor de $0.1098 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$, que concuerda con las etapa de mayor cosecha del cultivo, las plantas irrigadas con 75 % de solución de Steiner (1986) presentaron mayor cantidad de hojas y área foliar, y es precisamente en hojas y tallos jóvenes en donde se encuentra la mayor concentración de potasio que posteriormente serán translocados a flores y frutos (Jones *et al.*, 1991).

Respecto a la tasa de absorción de calcio, aumenta progresivamente hasta alcanzar $0.1520 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$ a los 168 ddt, Mengel y Kirkby (1982) mencionan que la translocación del calcio dentro de la planta es por savia que se transporta en el xilema, con la corriente de transpiración que va de las hojas, donde se almacena para translocarse después a los frutos.

Para el magnesio el comportamiento de la tasa de absorción incrementó progresivamente hasta alcanzar $0.0426 \text{ g} \cdot \text{planta}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ a los 143 ddt.

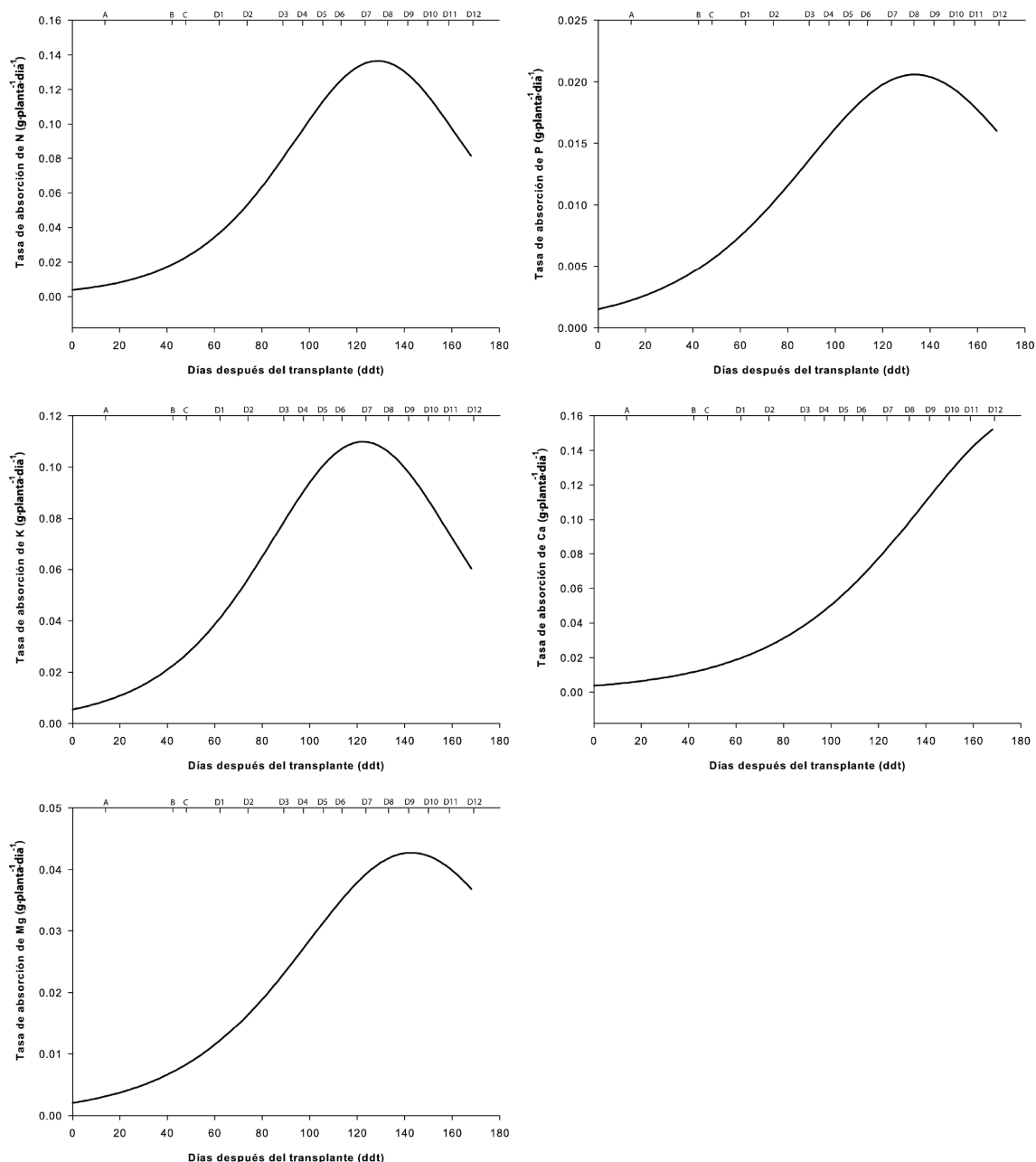


Figura 3. Tasa de absorción de N, P, K, Ca y Mg durante el ciclo de cultivo de chile miahuateco a 75 % de concentración de la solución nutritiva de Steiner. A: Bifurcación del tallo principal; B: Floración; C: Formación de fruto; D: Maduración de fruto y D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9, D10, D11, D12: cortes. Chapingo, México 2012.

3.5 CONCLUSIONES

Las extracción de nutrimentos obtenida al final del ciclo fue 12.21, 2.46, 11.58, 9.97 y 4.28 g de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente para obtener un rendimiento total de 2.7 kg·planta⁻¹.

Para producir una tonelada de fruto fresco de chile miahuateco, las cantidades requeridas son: 4.75, 0.96, 4.50, 3.88 y 1.66 kg de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente, en un ciclo de cultivo de 168 días.

La máxima tasa absoluta de absorción de N, P, K, Ca y Mg se presentó a los 129, 134, 122, 168 y 143 ddt con 0.1364, 0.0205, 0.1098, 0.1520 y 0.0426 g·planta⁻¹·día⁻¹, respectivamente.

3.6 LITERATURA CITADA

- Barker, A. V.; Pilbeam, D. J. 2006. Handbook of plant nutrition. CRC Press. Boca Raton Fla. USA. 613 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.
- Cadahía L., C. 1988. Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales. Ed. Mundi-prensa. Madrid, España. 435 p.
- Epstein, E.; Bloom, A.J. 2004. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. 2. Ed. Sunderland: Sinauer Associates. 380 pp.
- 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.
- Flores, R. A.; Almeida, T. B. F. de; Politi, L. S.; Prado, R. de M.; Barbosa, J. C. 2012. Growth and nutritional disorder in chili pepper grown in nutrient solutions with macronutrient omission. Revista Brasileira de Ciências Agrárias. 7 (1) : 104-110.
- 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.
- Gliessman R., S. 2002. Agroecología, procesos ecológicos en agricultura sostenible. Sleeping Bear Press. Costa Rica. 380 p.
- 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.

- Hedge, D. M. 1997. Nutrient requirements of solanaceous vegetables crops. Extension bulletin ASPAC, Food and Fertilizer Technology Center for the Asian and Pacific Region. Taipei, Taiwan. No. 441, 99 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.
- 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.; Kirkby, E. A.; Kosegarten, H.; Appel, T. 2001. Principles of plant nutrition. 5th ed. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. 686 pp.
- Mengel K.; Kirkby E. A. 1982. Principles of Plant Nutrition. 3a edición. International Potash Institute. Berne, Switzerland. 635 p.
- Nuez V., F.; Gil, R.; Costa J. 1996. El cultivo de pimientos, chiles y ajíes. Tercera edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 607 p.
- Resh, H. 2001. Cultivos Hidropónicos. Nuevas técnicas de producción. Tercera edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 369 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. 52a reunión anual de

- la Sociedad Interamericana de Horticultura Tropical. Sep. 24-30. San Juan, Puerto Rico.
- Santos M.B. 2012. Pepper fertilisation and irrigation management. In. Peppers, botany, production and uses. Russo V.M. (ed). CABI., UK. 280 pp.
- SAS Institute. 2002. SAS software release 6,12. Versión 9.00 SAS Institute Inc. Cary, NC., USA.
- Steiner, A. A. 1984. The universal solution. Proceedings of 6th International Congress on Soilless Culture. ISOSC. Lunteren, The Netherlands. pp. 633-649.
- Thomson, C. J.; Bolger, T. 1993. Effects of seed phosphorus concentration on the emergence and growth of subterranean clover (*Trifolium subterraneum*), pp. 353 – 356. In: Plant Nutrition-from Genetic Engineering to Field Practice. Proceedings of the twelfth International Plant Nutrition Colloquium. Volumen 45. Barrow, N. J. Ed. Kluwer Academic Publishers. Australia
- Valentín M., M. C. 2011. Crecimiento y extracción de nutrimentos en chile de agua (*Capsicum annuum* L.) Tesis de Maestría. Instituto de Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo, México. 104 p.
- Valle M., J.C. 2010. Acumulación de biomasa, crecimiento y extracción nutrimental en pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) Tesis Maestría. Instituto de Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. 106 p.

4. DISCUSIÓN GENERAL

Las diferentes concentraciones de solución nutritiva no repercutieron en las variables de altura, diámetro de tallos, número de bifurcaciones, sin embargo en cuanto a producción y rendimiento, el tratamiento cultivado a 25 % de concentración de solución nutritiva tuvo una menor respuesta dicho comportamiento coincide con el obtenido por Valle (2010) y Valentín (2011) en pimiento morrón y chile de agua, éstos absorbieron pocos nutrimentos debido a la baja disponibilidad de ellos. Cabe destacar la calidad de los frutos cosechados, estos obtuvieron un buen tamaño incluso mayor a tratamientos mas concentrados, esto debido a que tuvieron poco amarre de frutos, un promedio de 48 frutos contra 90 del tratamiento 75 %, sin embargo esta baja disponibilidad de nutrimentos fue suficiente para lograr el desarrollo de esos frutos.

El rendimiento de frutos comerciales fue mayor en las plantas irrigadas a 75% de concentración. Los tratamientos a 75% y 100% presentaron un menor numero de frutos y por ende menor rendimiento, lo cual demuestra que no siempre un aumento en la formula de fertilización nos brinda mejores rendimientos, esto puede deberse a que el cultivo de chile miahuateco es sensible a los cambios de presión osmótica.

El comportamiento del cultivo a 75% es similar al observado por Valentín (2011) en chile de agua y al chile poblano (Martínez, 2006) excepto en la morfología de la planta debido a que son especies diferentes su hábito de crecimiento es distinto.

El chile miahuateco extrae menor cantidad de nutrimentos que el chile poblano y chile de agua (Martínez, 2006; Valentín, 2011), esto puede deberse a que al

ser un criollo, es menos productivo en relación con variedades de chile poblano mejoradas. El nitrógeno fue el elemento que se extrajo en mayor medida.

Las plantas irrigadas con 75% de concentración no expresaron su desarrollo de manera similar que las irrigadas con mayor concentración (100 y 125 %), estas tuvieron incluso menor desarrollo, son similares a los tratamientos 50 y 25 % de concentración. De acuerdo al análisis de varianza a 75 % se tuvo un mayor número de hojas a partir de los 105 ddt, época que coincide con la de mayor producción, al tener un más hojas y área foliar, la planta es más productiva. El área foliar es un elemento importante ya que determina el potencial de la actividad fotosintética (Klapwijk, 1986), encontrándose que la concentración a 25% es la que menor área presentó a los 21, 42, 63, 105, 126, 147 y 163 días, esto permitió a su vez mayor acumulación de materia seca.

La extracción de nutrimentos por planta en orden descendente fue $N > K > Ca > P > Mg$, comportamiento similar al presentado en pimiento (Valle, 2010), chile poblano (Martínez, 2006) y chile de agua (Valentín, 2011). Debido a que elemento más extraído y por ende más disponible fue el nitrógeno la planta formó mas hojas.

Los índices de eficiencia fisiológica de crecimiento indica que las plantas que alcanzan su máxima TAC en menor tiempo son más eficientes en el uso de agua, nutrimentos y radiación disponible, para este caso el tratamiento 75 % obtuvo su mayor ganancia a los 85 ddt con $2.07 \text{ g} \cdot \text{planta}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$, para el caso de 25% alcanzó $1.009 \text{ g} \cdot \text{planta}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ 115 ddt, esto deja en claro su poca eficiencia, este comportamiento es similar a lo obtenido en pimiento ya que alcanza su máxima TAC 85 ddt con $2.6859 \text{ g} \cdot \text{planta}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ (Valle, 2010). Para

el caso de la TRC el comportamiento es similar 50, 75, 100 y 125% de concentración de solución nutritiva, valores altos al principio, dado por crecimiento y división celular acelerados, acercándose a cero al final del ciclo. dicho comportamiento se ha encontrado en diferentes tipos de chiles (Barraza, 2000; Gasga, 2006; Valentín, 2011). La mayor TAN se encontró a los 63 ddt, etapa donde inicia la cosecha comercial, debido a que los frutos son sitios de alta demanda de fotoasimilados. Para el tratamiento 75% la RAF tuvo un comportamiento intermedio, consistente con la TAN obtenida de $0.645 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$, es decir que se requiere 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

El área foliar, número de hojas y rendimiento fue mayor a 75 % de concentración de la solución nutritiva.

La mayor velocidad de extracción de N, P, K, Ca y Mg ocurrió durante la maduración de frutos a partir de 63 ddt hasta 168 ddt.

Las extracción por planta al final del ciclo fue 12.21, 2.46, 11.58, 9.97 y 4.28 g de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente para obtener un rendimiento total de 2.57 kg·planta⁻¹.

La máxima tasa absoluta de absorción de N, P, K, Ca y Mg se presentó a los 129, 134, 122, 163 y 143 ddt.

Utilizar la solución nutritiva al 75% garantizará un buen desarrollo de la planta así como un buen rendimiento.

6. LITERATURA CITADA GENERAL

- 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. 142p.
- Cadahía L., C. 1988. Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales. Ed. Mundi-prensa. Madrid, España. 435 p.
- 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.
- 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.
- 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.
- Hernández V. S., Dávila P.A., Oyama K. 1999. Síntesis del conocimiento taxonómico, origen y domesticación del género *Capsicum*. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 64: 65-84.
- Klapwijk, D. 1986. Production of tomato transplants in The Netherlands. *Acta Hort.* 190: 505-510.
- Laborde C. J. A., Pozo O. C. 1984. Presente y Pasado del Chile en México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Publicación Especial No. 85, México. 80 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.
- Morán B. S. H., Aguilar R. V. H., Corona T.T., Castillo G. F., Soto H. R. M., San Miguel C. R. 2008. Capsaicinoides en chiles nativos de Puebla, México *Agrociencia*, 42(7):807-816.
- SIAP-SAGARPA, 2013. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos 2009. México.
- SDR Puebla, Secretaría de Desarrollo Rural Puebla. 2008. Cultivos del estado de Puebla. Primera Edición. Gobierno del Estado de Puebla. México.
- Valentín M. M. C. 2011. Crecimiento y extracción de nutrimentos en chile de agua (*Capsicum annum* L.) Tesis de Maestría. Instituto de Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo, México. 104 p.
- Valle M., J.C. 2010. Acumulación de biomasa, crecimiento y extracción nutrimental en pimiento morrón (*Capsicum annum* L.) Tesis Maestría. Instituto de Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo.
- Wild, A. 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas. Ed. Mundiprensa. Madrid, España. 1045 p.