

"Enseñar la explotación de la tierra, no la del hombre"

Universidad Autónoma Chapingo



Departamento de Fitotecnia

Instituto de Horticultura

ANÁLISIS DE CRECIMIENTO Y DINÁMICA NUTRIMENTAL DEL CHILE MANZANO (*Capsicum pubescens* R y P)



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

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA:

ROSALINDO GASGA PEÑA

Febrero del 2006

Chapingo, Estado de México



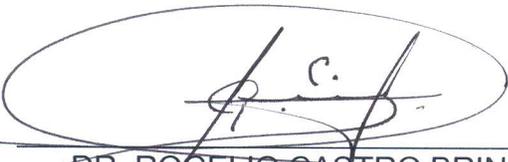
Instituto de Horticultura

ANÁLISIS DE CRECIMIENTO Y DINÁMICA NUTRIMENTAL DEL CHILE MANZANO

(*Capsicum pubescens* R y P)

Tesis realizada por **Rosalino Gasga Peña** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR: 
DR. ROGELIO CASTRO BRINDIS

ASESOR: 
DR. MARIO PÉREZ GRAJALES

ASESOR: 
DR. J. ENRIQUE RODRÍGUEZ PÉREZ

AGRADECIMIENTO

A **DIOS todopoderoso** por darme la vida, por estar conmigo en todo momento y por darme la fuerza necesaria para superar los momentos difíciles y lograr una etapa más de mis metas.

Al **Instituto de Horticultura del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo** por haberme brindado la oportunidad de desarrollarme como persona y como profesionista.

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

Al **Dr. Rogelio Castro Brindis, Dr. Mario Pérez Grajales y al Dr. J. Enrique Rodríguez Pérez** por su amistad, apoyo incondicional y sus valiosas aportaciones y sugerencias que ayudaron a mejorar de forma significativa el presente trabajo.

A mis colegas **Ing. Nereo Martínez Andrade, Rufina Carlos Marcelo y Antelma Hernández Hernández** quienes me apoyaron incondicionalmente en la fase experimental de la investigación, y por su gran amistad y comprensión.

A la **Profra. Xochitl Ortíz Hernández** por su gran amistad y por ser una bella persona, muchas gracias por su apoyo. Siempre le recordaré.

Sinceramente:
Ing. Rosalino Gasga Peña

DEDICATORIA

El presente trabajo es la culminación de un largo camino lleno de esfuerzos y entrega, y lo dedico especialmente a:

MIS PADRES

Noemí Peña Meléndez y Moisés Gasga Vásquez

Por su gran amor y sacrificio, con respeto y gratitud eterna, porque sus valiosos consejos me han guiado por el buen camino y porque han sido y seguirán siendo por y para siempre la razón de mi existencia y el estímulo para seguir superándome día con día.

A MIS HERMANOS

José Alfredo, Rigoberto, Humberto, Zoraida, Mayra Fabiola y Adrianita

Por confiar en mí, alentarme a seguir adelante en mis metas y seguir siempre unidos. Además por todo el apoyo brindado durante el tiempo que hemos compartido.

A mi tía Ojilvia y a mis primos Javier y Luz Oliva Ramírez Peña

A MIS SOBRINOS

José Alexis, Ilce Dayana, Rigoberto y Humberto, Danna Scarlet y Andrik

A MIS AMIGOS (AS)

Angélica Morales Cárdenas, Ángela Hernández, Bertha Callejas, Deysi Tapia, Eduardo Pimentel, Isabel Estrada, Liliana Silva, Luis G. Ramírez, Mariana Altamirano, Melina Barrón, por su gran amistad desinteresada, por el apoyo y comprensión que siempre encontré en ellos, **especialmente** al buen Nereo Martínez y a su familia, por los momentos de tristezas y alegrías que compartimos juntos durante mi estancia en la Maestría.

Sinceramente:

Ing. Rosalino Gasga Peña

DATOS BIOGRÁFICOS

El autor de la presente Tesis, nació en el Municipio de Santa María Jalapa del Marqués, Distrito de Tehuantepec, Oaxaca, el 26 de agosto de 1977. En el mismo Municipio realizó sus estudios en la Escuela Primaria Vespertina “Justo Sierra”, Escuela Secundaria Particular “Benito Juárez” y en el Telebachillerato “TELECOBAO 05”. En 1997 ingresó a Universidad Autónoma Chapingo donde realizó sus estudios de licenciatura. En el 2002 obtuvo el Título de Ingeniero Agrónomo especialista en Fitotecnia en dicha Universidad. De agosto-2002 a agosto-2003 se desempeñó como asesor técnico de “Agricultores y Ganaderos de La Magdalena Petlascalco, S.P.R. de R. I.” en La Magdalena Petlascalco, Tlalpan, D. F. En el 2004 ingresó a la Universidad Autónoma Chapingo, donde realizó estudios de Maestría en Ciencias en Horticultura, en el Instituto de Horticultura del Departamento de Fitotecnia de la misma universidad.

INDICE	PAGINA
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	2
2.1 Objetivos.....	2
2.3 Hipótesis.....	2
III. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
3.1 Análisis de crecimiento.....	3
3.1.1 Análisis de crecimiento mediante el método funcional.....	5
3.2 Índices de eficiencia fisiológica.....	5
3.3 Los elementos minerales esenciales y sus funciones.....	9
3.4 Nutrición mineral en la producción de cultivos.....	11
3.5 Técnicas para el estudio de la nutrición mineral de los cultivos.....	14
3.6 Mediciones del estado nutrimental.....	15
3.6.1 Análisis de Tejido Vegetal.....	16
3.6.1.1 Análisis de la parte aérea de la planta.....	17
3.6.1.1.1 Análisis secuencial.....	17
3.6.1.1.2 Análisis al final del ciclo de crecimiento.....	18
3.6.1.2 Análisis de hojas u otros órganos de referencia.....	18
3.7 Criterios para la interpretación de los análisis de tejido vegetal.....	19
3.7.1 Intervalos de concentración.....	19
3.8 Extracción nutrimental por el cultivo de chile.....	22
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
4.1 Localización del experimento.....	25
4.2 Genotipo y solución nutriente.....	25
4.3 Unidad y diseño experimental.....	26

4.4 Muestreos.....	26
4.5 Caracteres evaluados.....	27
4.6 Índices de eficiencia fisiológica.....	27
4.7 Extracción y tasa absoluta de absorción nutrimental.....	28
4.8 Análisis de datos.....	29
4.9 Manejo experimental.....	29
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
5.1 Análisis de crecimiento.....	31
5.1.1 Distribución de la biomasa aérea.....	34
5.1.2 Índices de eficiencia fisiológica.....	37
5.2 Dinámica nutrimental.....	42
5.2.1 Macronutrientes.....	43
5.2.2 Micronutrientes.....	49
VI. CONCLUSIONES.....	55
VII. LITERATURA CONSULTADA.....	57

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1	Niveles de macro y micronutrientos en follaje de chile (<i>Capsicum annuum</i> L.).....	21
CUADRO 2	Cantidad de fertilizantes para preparar 1 000 litros de solución nutritiva a una concentración del 100 %.....	26
CUADRO 3	Modelos matemáticos con los que se estimaron los datos observados en el experimento en chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i> R y P).....	31
CUADRO 4	Correlaciones entre los caracteres evaluados en plantas de chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i> R y P) cultivadas en hidroponía con fertirriego por goteo. Chapingo, México, 2005...	36
CUADRO 5	Modelos matemáticos con los que se estimaron los datos de extracción de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn y B, por el cultivo de chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i> R y P) cultivadas en hidroponía. Chapingo, México, 2005.....	42
CUADRO 6	Contenido de N, P, K, Ca y Mg en la biomasa aérea total en plantas de chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i> R y P) cultivadas en hidroponía. Chapingo, México, 2005.....	44
CUADRO 7	Extracción de N, P, K, Ca y Mg en la biomasa aérea total en plantas de chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i> R y P) cultivadas en hidroponía. Chapingo, México, 2005.....	47
CUADRO 8	Contenido de Fe, Mn, Cu, Zn y B en la biomasa aérea total en plantas de chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i> R y P) cultivadas en hidroponía. Chapingo, México, 2005.....	50
CUADRO 9	Extracción de Fe, Mn, Cu, Zn y B en la biomasa aérea total en plantas de chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i> R y P) cultivadas en hidroponía. Chapingo, México, 2005.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1	Comportamiento de altura de planta y diámetro de tallo (a), número de bifurcaciones del tallo principal (b), número y tamaño de hoja (c), número y peso fresco de frutos (d), a través del tiempo. BIF:Bifurcación del tallo principal; FLO:Floración; FRU:Fructificación; MC:Madurez comercial; UM:Último muestreo.....	33
FIGURA 2	a) Acumulación y b) distribución relativa de la materia seca en plantas de chile manzano en función del tiempo. BIF:Bifurcación del tallo principal; FLO:Floración; FRU:Fructificación; MC:Madurez comercial; UM:Último muestreo.....	35
FIGURA 3	a) Tasa absoluta de crecimiento (TAC), b) Tasa relativa de crecimiento (TRC), c) Tasa de asimilación neta (TAN) y d) Razón de área foliar (RAF) en función de los días después del transplante. BIF:Bifurcación del tallo principal; FLO:Floración; FRU:Fructificación; MC:Madurez comercial; UM:Último muestreo.....	41
FIGURA 4	Contenido promedio de N, P, K, Ca y Mg en la biomasa aérea total del cultivo de chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i> R y P) cultivado en hidroponía. Chapingo, México, 2005.....	45
FIGURA 5	Extracción de N, P, K, Ca y Mg en la biomasa aérea total del cultivo de chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i> R y P) cultivado en hidroponía. Chapingo, México, 2005.....	46
FIGURA 6	Tasa absoluta de absorción (TAA) de N, P, K y Ca en plantas de chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i> R y P) cultivadas en hidroponía. Chapingo, México, 2005.....	48
FIGURA 7	Tasa absoluta de absorción (TAA) de Mg en plantas de chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i> R y P) cultivadas en hidroponía. Chapingo, México, 2005.....	49

FIGURA 8	Contenido promedio de Fe y Mn en la biomasa aérea total del cultivo de chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i> R y P) cultivado en hidroponía. Chapingo, México, 2005.....	50
FIGURA 9	Contenido promedio de Cu, Zn y B en la biomasa aérea total del cultivo de chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i> R y P) cultivado en hidroponía. Chapingo, México, 2005.....	51
FIGURA 10	Extracción de Fe, Mn, Cu, Zn y B en la biomasa aérea total del cultivo de chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i> R y P) cultivado en hidroponía. Chapingo, México, 2005.....	52
FIGURA 11	Tasa absoluta de absorción (TAA) de Fe, Mn, Cu, Zn y B en plantas de chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i> R y P) cultivadas en hidroponía. Chapingo, México, 2005.....	54

ANÁLISIS DE CRECIMIENTO Y DINÁMICA NUTRIMENTAL DEL CHILE MANZANO (*Capsicum pubescens* R y P)

Rosalino Gasga Peña¹, Rogelio Castro Brindis², Mario Pérez Grajales² y
J. Enrique Rodríguez Pérez²

RESUMEN

El estudio se realizó de febrero a noviembre de 2005, en Chapingo, México, con el objetivo de determinar la tasa absoluta de crecimiento (TAC), tasa relativa de crecimiento (TRC), tasa de asimilación neta (TAN) y razón de área foliar (RAF) para cada órgano, así como el contenido, la extracción y la tasa absoluta de absorción (TAA) de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn y B de la planta de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) en condiciones de hidroponía con la solución nutritiva de Steiner al 100 % de concentración. Los frutos acumularon el 60 % de la biomasa aérea al final del ciclo del cultivo. Estos órganos también tuvieron el valor máximo de TAC ($4.78 \text{ g}\cdot\text{día}^{-1}$) y TAN ($0.204 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$) durante la madurez comercial, en tanto que durante la fructificación tuvieron los valores máximos de TRC ($0.054 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$) y RAF ($790.88 \text{ cm}^2\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$). Durante el ciclo de cultivo los valores de contenido en las plantas de chile manzano oscilaron entre 2.12 y 4.35 % de N; 0.21 y 0.44 % de P; 1.39 y 4.32 % de K; 1.4 y 4.14 % de Ca; 0.43 y 2.48 % de Mg; 111.1 y 273.5 ppm de Fe; 125.1 y 301.1 ppm de Mn; 1.5 y 3.3 ppm de Cu; 10.6 y 64.4 ppm de Zn; 227.02 y 456.1 ppm de B. La extracción por planta al final del ciclo fue de 12.3, 1.23, 7.95, 7.61, 2.56 g de N, P, K, Ca y Mg, así como 64.7, 70.0, 0.954, 6.9 y 128.8 mg de Fe, Mn, Cu, Zn y B, respectivamente. La máxima TAA de N, P, K, Ca, Fe, Mn, y B se tuvo en plena

¹ Estudiante de Maestría en Ciencias en Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo, México

² Profesor-Investigador, Universidad Autónoma Chapingo, México.

fructificación con 0.13, 0.014, 0.15, 0.13, 0.00121, 0.00092 y 0.00183 g·día⁻¹, respectivamente. En tanto que Mg y Zn tuvo la máxima TAA al inicio de la fructificación con 0.072 y 0.00017 g·día⁻¹ y de Cu al inicio de la madurez comercial con 0.000009 g·día⁻¹.

Palabras claves: índices de eficiencia fisiológica, hidroponía, nutrición, contenido, extracción, tasa absoluta de absorción.

ABSTRACT

Rosalino Gasga Peña

ANALYSIS OF GROWTH AND NUTRITION DYNAMICS IN MANZANO HOT PEPPERS (*Capsicum pubescens* R and P)

(Under the direction of R. Castro-Brindis)

The study was done from February to November, 2005, in Chapingo, Mexico, to determine the absolute growth rate (AGR), relative growth rate (RGR), rate of net assimilation (RNA) and foliar area relation (FAR) for each organ, as well as the content, the extraction and the absolute rate of absorption (ARA) of N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn and B in the manzano hot pepper plant (*Capsicum pubescens* R and P) in conditions of hydroponics with nutritive solution Steiner at 100% concentration. The fruit accumulated 60% of the aerial biomass at the end of the crop cycle. These organs also had the maximum value of AGR ($4,78 \text{ g}\cdot\text{day}^{-1}$) and RNA ($0,204 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$) during commercial ripeness, whereas during the period of fruit growth, they had the maximum values of RGR ($0,054 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{day}^{-1}$) and FAR ($790,88 \text{ cm}^2\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{day}^{-1}$). During the crop cycle, the content values in the manzano hot pepper plants oscillated between 2.12 and 4.35% of N; 0.21 and 0.44% of P; 1.39 and 4.32% of K; 1.4 and 4.14% of Ca; 0.43 and 2.48% of Mg; 111.1 and 273.5 ppm of Fe; 125.1 and 301.1 ppm of Mn; 1.5 and 3.3 ppm of Cu; 10.6 and 64.4 ppm of Zn; 227.02 and 456.1 ppm of B. The extraction at the end

of the cycle per plant was 12.3, 1.23, 7.95, 7.61, 2.56 g of N, P, K, Ca and Mg, as well as 64.7, 70.0, 0.954, 6.9 and 128.8 mg of Fe, Mn, Cu, Zn and B, respectively. Maximum ARA of N, P, K, Ca, Fe, Mn, and B occurred during the period of fruit growth with 0.13, 0.014, 0.15, 0.13, 0.00121, 0.00092 and 0.00183 g·day⁻¹, respectively, whereas Mg and Zn had maximum ARA at the beginning of the period of fruit growth with 0.072 and 0.00017 g·day⁻¹ and of Cu at the beginning of commercial ripeness with 0.000009 g·day⁻¹.

Key words: indexes of physiological efficiency, hydroponics, nutrition, content, extraction, absolute rate of absorption.

I. INTRODUCCIÓN

La expresión del potencial de rendimiento de los cultivos depende de varios factores, los internos que están determinados por su constitución genética y otros que son de tipo externo como las condiciones climáticas, las características del suelo, factores nutrimentales, la técnica de producción y los factores bióticos. De éstos, algunos salen de manera absoluta del control humano (factores climáticos en los cultivos abiertos), otros en alguna medida pueden ser objeto de control (plagas y enfermedades); mientras que otros, como los factores nutrimentales, pueden ser controlados de manera precisa. Por lo que es fundamental conocer la distribución de la biomasa y los requerimientos nutrimentales en las diferentes etapas fenológicas del cultivo tanto para abastecer a la planta de forma suficiente y oportuna de nutrientes como para optimizar el uso y manejo de los insumos e incrementar la cantidad y calidad de los productos de interés comercial. Por ello, en este trabajo se estudió la distribución de la biomasa aérea, los índices de eficiencia fisiológicas así como el contenido, la extracción y la tasa absoluta de absorción de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn y B en la biomasa aérea total en diferentes fases fenológicas del cultivo del chile manzano, mismos que permitan hacer más eficiente el uso de los nutrientes aplicados en la fertilización e incrementar la productividad y calidad del producto.

II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos

1. Estimar mediante el modelo logístico el área foliar y la acumulación de materia seca en cada órgano de la parte aérea de la planta de chile manzano y obtener los índices de eficiencia fisiológica (tasa absoluta de crecimiento, tasa relativa de crecimiento, tasa absoluta de crecimiento y razón de área foliar) para cada órgano.
2. Determinar el contenido y estimar la extracción y la tasa de absorción de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn y B en diferentes etapas fenológicas del chile manzano en condiciones de hidroponía.

2.2 Hipótesis

El mayor requerimiento de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn y B del chile manzano se da en la etapa de fructificación, por lo que es en esta etapa donde ocurre la mayor velocidad de crecimiento, así como la máxima velocidad de extracción y la máxima tasa absoluta de absorción de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn y B, ya que los frutos en crecimiento son los órganos de mayor demanda nutrimental. El comportamiento de la extracción nutrimental es de tipo sigmoide ya que está en función de la acumulación de la materia seca la cual tiene el mismo comportamiento.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Análisis de crecimiento

El análisis de crecimiento (AC) es una metodología que ha demostrado ser útil para cuantificar los efectos simultáneos de factores ambientales que influyen en la eficiencia y utilización de la radiación y, por tanto, en la estimación de la producción fotosintética neta (Evans, 1972; Hunt, 1978), por lo que el AC es el análisis cuantitativo del ciclo de vida de un organismo o de ciertas fenofases, y su correlación con factores ambientales.

El AC puede implicar subjetividad debido a las variaciones del ambiente, al tamaño de muestra, y a la variación de los individuos analizados, por lo que se recomienda considerar al análisis de crecimiento como una herramienta más en el estudio del crecimiento de las plantas, y no como una verdad absoluta (Evans, 1972).

El crecimiento puede ser evaluado mediante el análisis de la variación del peso seco y el área foliar, en función del tiempo. Pero también mediante las curvas de crecimiento, que según Hunt (1982), son la expresión gráfica de una función matemática que describe el comportamiento del crecimiento de un organismo o población. En el estudio cuantitativo del crecimiento se realizan muestreos del material de estudio, los cuales son destructivos y su frecuencia varía de acuerdo con los objetivos que se persigan.

El análisis de crecimiento 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. Es útil para cuantificar la

producción fotosintética neta, es decir, la cantidad de biomasa acumulada menos las pérdidas por respiración (Roberts *et al.*, 1985). Estas técnicas se emplean para demostrar el efecto de un ambiente o de una práctica de manejo en particular sobre un cultivo, y para explicar el comportamiento diferencial de las especies o variedades que crecen bajo las mismas condiciones (Reta, 1986). Además, permite estudiar el crecimiento mediante índices de eficiencia, así como cuantificar los efectos simultáneos de los factores ambientales que influyen en la eficiencia en la utilización de la radiación solar y, por tanto, la producción y distribución de la materia seca. El análisis de crecimiento tiene su base en la medición de la producción de materia seca (MS) y del área foliar (AF), variables que caracterizan el estado morfológico de las plantas en diferentes intervalos de muestreo. 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 (Evans, 1972). Al graficar esta información generalmente se obtiene una curva sigmoide en la que se reconocen tres fases: *i*) fase exponencial que va desde la germinación hasta parte de la etapa juvenil, *ii*) fase lineal donde el crecimiento vegetativo es más rápido y se tiene la mayor demanda de agua y nutrimentos, y *iii*) la fase del estado constante o final donde se acumula la mayor cantidad de materia seca y disminuye la demanda de agua y nutrimentos (Brown y Scott, 1986).

El AC puede efectuarse mediante dos enfoques: a) el *Método clásico*, en el cual se evalúa el crecimiento con base en datos provenientes de muestras con un alto número de plantas utilizadas (repeticiones) tomadas con intervalos de tiempo largos; en este método no se realiza el ajuste de los datos mediante modelos matemáticos, aunque

pueden analizarse estadísticamente; y b) *Método funcional*, en donde los datos provienen de plantas con un número bajo de repeticiones, pero con intervalos de tiempo cortos, los cuales son ajustados con modelos estadísticos (Hunt, 1982; Torres, 1984). Estos métodos no son mutuamente excluyentes, pues si el tiempo y el espacio no son problema, los muestreos pueden ser grandes y frecuentes, pero esto no es lo común. De esta manera el esquema a seguir deberá de hacer un uso eficiente de los recursos disponibles, lo cual influirá en el diseño y la ejecución del experimento (Hunt, 1982).

3.1.1 Análisis de crecimiento mediante el método funcional

Su principio consiste en seleccionar una función matemática adecuada, representada por una curva suave, que ajusta los valores registrados del área foliar y de la biomasa acumulada, de manera que se aproxime a la curva real de crecimiento (Kvet *et al.*, 1971). Evans (1972) señala algunos problemas que ocasionan variabilidad en un análisis de crecimiento, tales como: *i*) diferencias en la constitución genética de la población en estudio; *ii*) diferencias en el ambiente de muestreo a muestreo; *iii*) diferencias en estructura y función entre plantas y muestreos; y *iv*) imposibilidad para realizar las mediciones necesarias sin destruir la planta. Al respecto, Beadle (1988) sugiere que las plantas a utilizar en un análisis de crecimiento deben seleccionarse y agruparse al inicio del experimento de acuerdo con su tamaño, para que así cada grupo de plantas que constituya un muestreo tengan similitud en morfología y tasas de crecimiento, de tal manera que las evaluaciones no sean afectadas por las variaciones.

3.2 Índices de eficiencia fisiológica

Otra forma de analizar el crecimiento vegetal es mediante el cálculo de los índices de

eficiencia fisiológica, con el inconveniente que al calcularlos se incluye el efecto de las variables controladas y no controladas (Ruselle *et al.*, 1984). Entre estos índices se encuentran la tasa relativa de crecimiento (TRC), tasa de asimilación neta (TAN), el índice de área foliar (IAF) y la duración del área foliar (DAF), que se pueden calcular, de acuerdo con Hunt (1982), con los datos periódicos de la biomasa total o de algunos de los órganos y del área foliar de la planta.

El análisis mediante funciones del crecimiento se puede realizar en plantas individuales o en comunidades vegetales. En plantas individuales se utiliza la tasa absoluta del crecimiento (TAC), la tasa relativa de crecimiento (TRC), la tasa de asimilación neta (TAN), la razón de área foliar (RAF), área foliar específica (AFE), y la razón de peso foliar (RPF). Para el análisis de comunidades se utiliza el índice de área foliar (IAF), la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) y la duración del área foliar (DAF). Sin embargo, no existe razón por la cual no se puedan utilizar en el análisis de comunidades, los mismos índices utilizados en el análisis de plantas individuales (Hunt, 1978). Mediante el registro del rendimiento económico y el rendimiento biológico, durante la madurez fisiológica se puede calcular el índice de cosecha (IC), que es el cociente entre el rendimiento económico y la biomasa total o rendimiento biológico.

La tasa de asimilación neta (TAN) es un estimador de la eficiencia fotosintética, y la tasa relativa de crecimiento (TRC) es un estimador de la eficiencia general del crecimiento (Sestak *et al.*, 1971); así mismo la tasa absoluta de crecimiento (TAC) es un índice importante para cuantificar la fuerza de demanda de cualquier órgano demandante (Leal, 1999).

Tasa absoluta de crecimiento (TAC). Es un índice de crecimiento simple que corresponde a la tasa de cambio o de incremento en tamaño, por unidad de tiempo. Se aplica comúnmente en peso seco total o área foliar total por planta. La biomasa por unidad de área o por individuo de cualquier cultivo y especie, en función del tiempo, se expresa en $g \cdot día^{-1}$, se calcula con la diferencia entre dos puntos consecutivos de la curva de crecimiento dividida en el intervalo de tiempo; es decir, proporciona la pendiente promedio de la curva en ese periodo.

Al principio del ciclo biológico la TAC es cada vez mayor, posteriormente se mantiene casi constante (lineal) y luego comienza a disminuir, porque la muerte de hojas es superior al crecimiento nuevo (Milthorpe y Moorby, 1982). En los cultivos anuales, la acumulación de biomasa durante la fase inicial del crecimiento está limitada por el tamaño reducido del dosel; durante la fase lineal, la máxima acumulación de biomasa está limitada por el sombreado, ya que el cultivo está completamente cerrado y los niveles de radiación en la parte inferior disminuyen (Hsiao, 1982).

Tasa relativa de crecimiento (TRC). Representa el incremento de peso seco por unidad de peso seco presente por unidad de tiempo, cuyas unidades son $g \cdot g^{-1} \cdot día^{-1}$. Blackman (Hunt, 1990) propuso el cálculo de la TRC de una planta con base en el principio de la tasa de interés compuesto, donde la materia seca producida por la planta es dependiente de los tres factores siguientes: 1) el peso de la semilla, representando el capital inicial; 2) la tasa promedio, mediante la cual la planta hace uso del material ya presente para construir nuevo material, que representa la tasa de interés; y 3) el periodo de crecimiento. Asimismo, el crecimiento ya efectuado

contribuye en la producción del nuevo material, por lo que el índice apropiado a utilizar es la TRC, que representa el incremento en biomasa por unidad de biomasa presente por unidad de tiempo (Milthorpe y Moorby, 1982; Hunt, 1978; Radford, 1967). Generalmente se debe calcular para un intervalo de tiempo que corresponda a una sección específica de la curva que resulte de graficar la biomasa contra el tiempo.

Tasa de asimilación neta (TAN). Este índice involucra una relación de incremento en peso seco (g) por unidad de área foliar (m^2) por unidad de tiempo (día), y es una medida indirecta de la fotosíntesis, ya que la materia seca es producida por la actividad fotosintética, y sus unidades son $mg \cdot m^{-2} \cdot día^{-1}$, y proporciona estimación precisa sólo si la relación entre el peso y el área foliar es lineal en el tiempo de t_1 a t_2 ; en intervalos cortos de una a dos semanas, esta condición se satisface. Quizás es el índice de eficiencia más afectado por las condiciones ambientales, ya que es derivada del área foliar, y ésta a su vez se ve afectada por los cambios en los niveles de radiación solar, temperatura, humedad, etc. La TAN está correlacionada positivamente con la temperatura y negativamente con el sombreado de las hojas; también correlaciona positivamente con el peso específico de las hojas, e inversamente con la RAF (Ramírez, 1985). Durante las primeras semanas de crecimiento, en diferentes cultivos, los valores de la TAN son altos por el poco autosombreo de las hojas; conforme transcurre el desarrollo, el índice de área foliar y el autosombreo aumentan, por lo que el valor de la TAN tiende a disminuir, aunque ocasionalmente puede incrementar su valor, principalmente en la floración y durante el llenado del fruto (Reta, 1986).

Razón de área foliar (RAF). La RAF de una planta o un cultivo es la razón de material asimilatorio por unidad de material presente (Beadle, 1988). Esto es, la relación que existe entre el área foliar total y el peso seco total o por órgano de la planta.

3.3 Los elementos minerales esenciales y sus funciones

De los 92 elementos minerales naturales que se conocen, solamente 60 de ellos se han encontrado en las plantas. Aunque no todos estos elementos son considerados esenciales, se puede decir que cualquier elemento que este presente en la solución del suelo o sustrato es absorbido por las raíces de las plantas en alguna cantidad. Sin embargo, las plantas son selectivas en cuanto a los elementos que absorben, así como el contenido y la velocidad con que los absorben. Esto significa que no siempre la absorción es proporcional a la disponibilidad nutrimental. Para que un nutrimento se considere esencial para las plantas debe cumplir con tres criterios, llamados principios de esencialidad: 1) Las plantas deben ser incapaces de completar su ciclo de vida en ausencia del elemento mineral, 2) Las funciones del elemento deben ser específicas y ningún otro elemento puede sustituirlo completamente, 3) El elemento debe estar directamente involucrado 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, o ser un antagonista de un efecto tóxico de otros elementos (Resh, 2001).

Se ha demostrado la esencialidad de los siguientes elementos: N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, B, Cl, Cu, Zn y Mo. Estos se pueden clasificar atendiendo a caracteres estructurales, de los que dependen los tipos de enlaces en los que intervienen o bien,

por el papel biológico que desempeñan (Mengel y Kirkby, 1987), también se han clasificado funcionalmente en dos grupos: los que participan en la estructura de un compuesto importante y los que tienen una función activadora de enzimas. También se pueden clasificar en términos de la cantidad o concentración de estos en la planta y de su requerimiento como fertilizante por la misma. De acuerdo con esta última clasificación, los elementos que la planta requiere en su metabolismo han sido clasificados como macronutrientes; cuando se encuentran en la planta cantidades de por lo menos 0.02 % y presentan una relación directa con la nutrición, y su ausencia impide el desarrollo de órganos, ocasionando por tanto reducción o pérdidas en el rendimiento. Micronutrientes; cuando se encuentran cantidades entre 0.0002 y 0.02 %, tienen una función específica e indispensable para completar ciertas funciones fisiológicas, si se encuentran presentes por arriba de los requerimientos óptimos la planta manifiesta síntomas de toxicidad (Davidescu, 1982).

El crecimiento está en función de la concentración de un nutriente en el tejido vegetal, por lo que en el intervalo de concentraciones bajas (zona de deficiencia), el crecimiento aumenta de manera radical cuando se agrega alguna cantidad del elemento, de manera que se eleva su concentración en la planta. Por encima de la concentración crítica (la concentración tisular mínima que proporciona un crecimiento cercano al máximo, quizá un 90 % del máximo), el incremento en la concentración (por fertilizaciones) no afecta el crecimiento en forma apreciable (zona de concentración adecuada). La zona adecuada representa el consumo extra del elemento, durante el cual hay almacenamiento de éste en vacuolas. Esta zona es más amplia para los macronutrientes pero mucho más estrecha para los micronutrientes. Un incremento

continuo de cualquier elemento produce toxicidad y disminución en el crecimiento, por lo que el rendimiento también se ve afectado (Salisbury y Ross, 1994).

Los elementos esenciales en ocasiones se han clasificado funcionalmente en dos grupos: Los que participan en la estructura de un compuesto importante, y los que tienen una función activadora de enzimas. Varios elementos forman parte estructural de enzimas esenciales y ayudan a catalizar la reacción química en la que participa la enzima, por lo que no existe una función clara entre estas funciones. C, H y O son los ejemplos más claros de elementos que realizan ambas funciones. Otro ejemplo con función estructural y de activador enzimático es el Mg, es parte estructural de la molécula de clorofila y también activa muchas enzimas. La mayoría de los micronutrientes son esenciales en especial debido a que activan enzimas (Salisbury y Ross, 1994).

3.4 Nutrición mineral en la producción de cultivos

Por nutrición se entiende el conjunto de fenómenos o procesos de alimentación que contribuyen al crecimiento y desarrollo de un ser viviente, un nutriente es entonces un alimento para la conservación, crecimiento y desarrollo de un ser vivo. Los avances científicos en nutrición vegetal y fertilización han revolucionado la producción de los cultivos. La ciencia de la nutrición comenzó aproximadamente hace 150 años con los experimentos clásicos de Liebig, Lawes y Gilbert, de Saussure entre otros, y es una de las grandes esperanzas para solucionar la crisis mundial de alimentos (Gardner *et al.*, 1985). La nutrición mineral incluye el suministro, absorción y utilización de los nutrientes esenciales para el crecimiento y producción de los cultivos (Fageria *et al.*,

1997). 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) (Davidescu, 1982).

Es importante tomar en consideración la etapa fenológica del cultivo para la fertilización; ya que la tasa de absorción de nutrimentos por el cultivo, e incluso para cada órgano en particular, varía en función del tiempo. La importancia práctica de la fenología del cultivo radica en que el conocimiento de la tasa de absorción de nutrimentos y la dinámica de éstos en el suelo, así como la producción de materia seca por la planta, son de gran utilidad para la realización de los aportes de agua y nutrimentos de acuerdo a las exigencias nutrimentales del cultivo durante sus etapas fenológicas (Burgueño *et al.*, 1994).

El potencial de rendimiento de los cultivos, esta determinado por factores incontrolables y controlables: 1) factor genético, 2) condiciones ambientales y 3) manejo técnico del cultivo. El factor genético corresponde a las características fenotípicas y potencial de desarrollo determinado por la constitución genética *in situ* del material vegetal empleado, cuya expresión será el resultado de la interacción con factores externos, como la nutrición mineral del cultivo (Davidescu, 1982).

Un especialista en nutrición de cultivos se preocupa de que ninguno de los elementos esenciales para el crecimiento de las plantas sea o se vaya a constituir en un factor limitativo para que las plantas alcancen los rendimientos máximos posibles en un ambiente dado. Ello exige conocer cuál es el rendimiento máximo posible (Galvis *et al.*,

1993). Desde un punto de vista agronómico, la demanda nutrimental de un cultivo aumentará a medida que aumentan el rendimiento y la producción de biomasa asociada con éste. En el caso específico de las hortalizas, flores y frutales, además de los aspectos de rendimientos relacionados con la nutrición, debe considerarse el efecto que tiene la nutrición en la calidad de los productos (Etchevers, 1999).

Gran parte del esfuerzo en el área de nutrición de cultivos, en el pasado, ha sido dedicado a evaluar la capacidad de abastecimiento nutrimental que poseen los suelos y los requerimientos nutrimentales de los cultivos (Westerman, 1990). Esta tarea cae dentro del área llamada diagnóstico de la fertilidad del suelo y estado nutrimental de los cultivos. En la actualidad, además de medir esa capacidad de abastecimiento, es común que en la agricultura de altos insumos se de un seguimiento del estado nutrimental de los cultivos a lo largo del ciclo de crecimiento, para evitar que la nutrición pudiese ser un factor limitativo para la producción (Reuter y Robinson, 1986).

Si el diagnóstico señala que el abastecimiento nutrimental es deficiente, es necesario balancear dicho abastecimiento mediante la aplicación fertilizantes o corregir directamente el desabasto con aplicaciones al cultivo. Las relaciones entre producción y calidad, y la cantidad y tipo de fertilizante que se debe aplicar, son parte del dominio de lo que se llama la fertilidad cuantitativa. En ocasiones, como en la ferti-irrigación, se da la oportunidad de calcular y abastecer día a día las necesidades de nutrimentos que tendrá la planta aumentando en gran medida la eficiencia de uso y disminuyendo las probabilidades de contaminación que se generan cuando todo el fertilizante es aportado en una o dos aplicaciones. Se sabe que las aplicaciones de fertilizantes no son cien por

ciento efectivas. Esto quiere decir que la planta sólo puede utilizar una parte de lo aplicado. De aquí que haya la necesidad de conocer la eficiencia de uso de los distintos fertilizantes en los diferentes cultivos. Esta eficiencia depende de la naturaleza de los fertilizantes, del tipo de cultivo, del suelo y de la tecnología de aplicación. Si la demanda del cultivo es menor o igual al suministro, la dosis de fertilizante a aplicar sería cero, aunque, en estos casos agrónomicamente es aconsejable aplicar una fertilización de mantenimiento equivalente a la exportación de nutrientes por el producto de la cosecha más una pequeña cantidad. Si la demanda nutrimental es mayor que el suministro por el suelo, será necesario fertilizar. La dosis de fertilizante que se aplicará será proporcional a la magnitud del déficit encontrado. Para medir demanda, suministro y eficiencia de recuperación del fertilizante, así como para analizar los problemas de carácter nutrimental que se presentan o pudiesen presentar durante la producción de un cultivo, y para determinar algunos aspectos relacionados con la calidad del agua y del suelo es necesario contar con procedimientos químicos adecuados (Etchevers, 1999).

3.5 Técnicas para el estudio de la nutrición mineral de los cultivos

Son muchos los factores que afectan el rendimiento y la calidad de los cultivos, la nutrición es uno de los más importantes. El estado nutrimental es un factor invisible en el crecimiento de la planta, excepto cuando existe un desequilibrio nutricional severo, que ocasionan síntomas visuales en la planta. La única manera de saber si un cultivo está nutrido es hacer un análisis de tejido durante la estación de crecimiento. El análisis de tejido es una herramienta que nos ayuda en el monitoreo y en la evaluación del estado nutrimental de los cultivos (Reuter y Robinson, 1986). Por lo que se requiere de

un modelo que describa la relación entre el rendimiento y la concentración nutrimental de la planta, una vez obtenido dicho modelo, éste nos sería útil para determinar la concentración nutrimental crítica. Dicha concentración puede variar bajo condiciones diferentes.

Entre los análisis que se hacen durante el crecimiento de la planta se encuentran: análisis de la solución del suelo, análisis químico de la planta y diagnóstico visual. Del análisis químico de plantas, existen tres variantes: 1) Parte aérea de la planta; con dos modalidades: a) Análisis secuencial, que se practica periódicamente en la planta entera desde el comienzo del crecimiento hasta la madurez del cultivo y tiene como finalidad conocer la dinámica de absorción de la planta, b) análisis único final, se realiza al final del ciclo de crecimiento, sirve para conocer la cantidad total de elementos absorbida por el cultivo. 2) Análisis de hoja u otros órganos de referencia durante el periodo de crecimiento y, 3) Análisis de savia durante el periodo de crecimiento (Etchevers, 1997).

3.6 Mediciones del estado nutrimental

En la actualidad se utilizan espectrofotómetros de absorción atómica para determinar metales y no metales. Con este instrumento se puede medir con gran sensibilidad, en menos de un minuto, las concentraciones de más de 20 elementos en una solución (Salisbury y Ross, 1994).

Para verificar que el estado nutrimental de un cultivo sea el ideal en cada momento de su ciclo de desarrollo, se cuenta con herramientas analíticas químicas que sirven para medir concentraciones nutrimentales en los tejidos vegetales y en el suelo. Las

herramientas de diagnóstico que requieren de laboratorio son el análisis químico de tejido vegetal, savia y extracto tisular (Reuter y Robinson, 1986; Westerman, 1990).

3.6.1 Análisis de Tejido Vegetal

Los valores medidos en la planta pueden ser transformados en índices o utilizados directamente y comparados con criterios previamente establecidos como: niveles críticos, rangos de concentración, y otros índices de distinta naturaleza los cuales deben ser determinados con anterioridad a la aplicación del instrumento de diagnóstico indicado (Westerman, 1990). Hasta el momento sólo se conocen algunos de estos valores, pero cada día se agregan más a la lista; por lo general, la información disponible se refiere a concentraciones que se deben satisfacer en ciertos órganos de la planta en momentos muy específicos de su desarrollo. La determinación de estas concentraciones de referencia puede hacerse directamente en el campo o en el laboratorio por diversos procedimientos claramente establecidos, pero que requieren de un buen control de la calidad de los análisis. En el análisis de tejido vegetal el principal órgano observado es la hoja, de ahí que a la técnica se le llame diagnóstico foliar, sin embargo, es posible analizar cualquier otro órgano para el que se cuente con información sobre sus concentraciones de referencia o la savia.

La estimación de las cantidades de nutrientes requeridas para alcanzar cierto rendimiento (establecido por las condiciones particulares de suelo y clima del sitio y por la planta y manejo en cuestión) precisa ciertos conocimientos teóricos y el empleo de técnicas de análisis químico de suelo y planta. Estas últimas se emplean para medir los contenidos totales de nutrientes en la planta al momento de la colecta (cualquiera que

éste sea), y son análisis que se realizan con anterioridad y sus valores son conocidos. Este dato, junto con los rendimientos esperados o posibles y los índices de cosecha respectivos, se emplea para calcular la demanda nutrimental, esto es, los kilos por hectárea de un nutrimento que la planta debe poder extraer desde el suelo e incorporar a sus tejidos para alcanzar los rendimientos indicados. El análisis de tejido vegetal tiene tres variantes bien definidas, cuyos objetivos son, en general, distintos. Estas variantes son: el análisis del total de la parte aérea de la planta, el análisis de hojas u otros órganos de referencia y el análisis de savia (Etchevers, 1999).

3.6.1.1 Análisis de la parte aérea de la planta

Los análisis de la parte aérea de la planta proporcionan información acerca de la concentración de los nutrientes en ésta y, cuando están debidamente relacionados con la producción de materia seca, sobre la cantidad de cada nutriente en ella. Existen dos variantes, el análisis secuencial o en varias etapas del crecimiento y el análisis al final del ciclo de crecimiento.

3.6.1.1.1 Análisis secuencial

El análisis secuencial se hace periódicamente desde el inicio del crecimiento hasta la madurez de la planta. Se emplea para establecer la dinámica de la absorción, esto es, cuáles son las concentraciones nutrimentales que se observan en distintas fases del desarrollo de la planta y las demandas particulares de nutrientes (cantidades de nutrientes presentes en la parte aérea) en los diversos estados fisiológicos de la planta. Esta última información sirve para determinar los momentos más adecuados para el suministro de fertilizantes dentro del ciclo de desarrollo del cultivo.

3.6.1.1.2 Análisis al final del ciclo de crecimiento

Los resultados de este análisis se emplean para obtener información sobre la cantidad total de elementos absorbida por la planta (exportación de nutrientes desde el suelo) y también para determinar el requerimiento interno, esto es, la concentración mínima de nutrientes que se requiere para alcanzar el rendimiento máximo posible. También se usa como indicador primario de la necesidad de nutrientes que tiene un cultivo determinado. En general, la demanda nutrimental menos la cantidad de nutriente que puede proporcionar el suelo, considerando un apropiado factor de eficiencia de uso de fertilizante, debe ser la dosis de fertilización.

3.6.1.2 Análisis de hojas u otros órganos de referencia

El análisis foliar se emplea para evaluar el estado nutrimental de las plantas e indirectamente la disponibilidad de nutrimentos por el suelo. Se puede medir la concentración total de un elemento en la planta o una fracción de ésta. El análisis de plantas se emplea principalmente para diagnosticar deficiencias nutrimentales y como base para formular recomendaciones de fertilización.

El órgano que se usa con mayor frecuencia con el propósito de diagnosticar el estado nutrimental de los cultivos es la hoja, de ahí que también se le llame análisis foliar. Otros órganos pueden prestar igual utilidad, como por ejemplo: los tejidos meristemáticos nodales, los frutos, etc. La precisa definición del órgano muestreado obedece a que las concentraciones en las hojas varían con la edad del órgano y con el hecho de existir en la rama sitios de demanda. El análisis foliar requiere de definiciones precisas en cuanto a la edad de la hoja a observar, orientación, altura, posición, cultivar

y, en ciertos casos, hasta de la hora del día en que se hace el muestreo. La interpretación de los resultados requiere de una investigación previa para establecer niveles de referencia. El fundamento del análisis foliar es la relación que existe entre la concentración de un nutrimento en un órgano específico de la planta, colectado en un momento también específico de su desarrollo y el rendimiento de ésta.

3.7 Criterios para la interpretación de los análisis de tejido vegetal

3.7.1 Intervalos de concentración

Los principales criterios para la interpretación de los análisis de tejido vegetal son el nivel crítico de deficiencia y toxicidad y los rangos de concentración. Se define como nivel (valor o concentración) crítico de deficiencia de la parte especificada, la concentración de un nutriente en particular, determinada en condiciones experimentales, donde todos los factores de crecimiento se encuentran en un nivel óptimo, que se asocia con un valor predeterminado del rendimiento (o calidad) máximo. Este valor predeterminado corresponde a 90 ó 95 % del rendimiento máximo y está comprendido dentro del rango bajo o marginal. La concentración nutrimental de un cultivo siempre debería mantenerse ligeramente arriba del nivel crítico (Etchevers, 1999).

El nivel crítico de toxicidad es aquel que se asocia con una reducción, por exceso nutrimental, de 5 a 20 % del rendimiento máximo. Los rangos de concentración se han dividido en deficiente, bajo o marginal, adecuado o suficiente, alto y tóxico o excesivo. A continuación se define cada uno de ellos.

Deficiente. Es el rango de concentración, en la parte especificada, que se asocia con síntomas visibles de deficiencia en plantas y con una severa reducción del crecimiento y la producción. Cada vez que se encuentren valores en este rango es preciso tomar medidas correctivas inmediatas.

Bajo o Marginal. Este es el rango de concentraciones, en la parte especificada que se asocia con una reducción del crecimiento o producción, pero en el cual la planta no muestra síntomas visibles de deficiencia. Cuando se observan niveles de este tipo, es preciso efectuar algunos cambios en las prácticas de fertilización. Sin embargo, para ciertos cultivos pudiera ser conveniente operar en este nivel, por ejemplo en el caso de las flores.

Adecuado o Suficiente. Dentro de este rango de concentración, en la parte especificada, los cambios que ocurren no provocan aumentos o disminución del crecimiento o producción. Esta clase también se conoce como intermedia, normal, o satisfactoria. Si los valores de un análisis de planta caen en esta clase no es necesario realizar ningún cambio en las prácticas de fertilización.

Alto. Esta clase representa el rango de concentración, de la parte especificada, comprendido entre los rangos adecuado y tóxico o excesivo. En algunos cultivos esta clase puede definirse objetivamente por su asociación con una tendencia hacia la producción de calidad o vigor indeseables. El uso de fertilizantes en las plantas que muestren concentraciones nutrimentales en este rango debe reducirse o suspenderse hasta que éstas se establezcan en el rango adecuado o suficiente.

Tóxico o Excesivo. La presencia de concentraciones tóxicas de un nutriente, en la parte especificada, se asocia generalmente con síntomas de toxicidad y algunas veces con reducción en el rendimiento y casi siempre con reducción de calidad y vigor excesivo. Cuando se encuentran valores en este rango, es preciso tomar medidas correctivas inmediatas.

Al respecto, Arcos *et al.* (1998) presentan valores de cada uno de los nutrimentos para los niveles bajo, adecuado y alto en follaje del chile (Cuadro 1), trabajo muy importante ya que considera intervalos más que un valor de concentración para establecer la situación nutrimental del cultivo.

CUADRO 1. Niveles de macro y micronutrimentos en follaje de chile (*Capsicum annuum* L.)

Nutriente	Bajo	Adecuado	Alto
	-----(%)-----		
Nitrógeno	0-3.0	3.15-5.0	+5.10
Fósforo	0-0.35	0.36-1.0	+1.01
Potasio	0-4.0	4.01-6.0	+6.01
Calcio	0-2.0	2.01-4.0	+4.01
Magnesio	0-0.3	0.31-1.0	+1.01
Azufre	0-0.3	0.31-0.7	+0.71
	-----($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)-----		
Manganeso	0-30	31-100	+101
Hierro	0-80	81-300	+301
Cobre	0-8	9-30	+31
Boro	0-25	26-80	+81
Zinc	0-30	31-150	+151

Fuente: Tomado de Arcos *et al.* (1998)

3.8 Extracción nutrimental por el cultivo de chile

Las solanáceas generalmente absorben grandes cantidades de nutrimentos, las cantidades dependen de la cantidad de frutos y materia seca que produzcan, que a la vez están influenciados por variables genéticas y ambientales. Las plantas de chile necesitan absorber en promedio 3 a 3.5 kg de N, 0.8 a 1 kg de P y 5 a 6 kg de K para producir una tonelada de frutos, éstos y las partes en fructificación contienen el 45 a 60 % del N total absorbido por la planta, así como el 50 a 60 % de P y 55 a 70 % de K (Hedge, 1997).

En el cultivo de bell pepper Burgueño (1995) monitoreo cinco lotes comerciales manejados con fertirrigación para determinar la extracción de nutrimentos del cultivo. Las plantas fueron establecidas a una densidad de plantación de 37 037 por hectárea y se obtuvieron 71 toneladas de fruto. La extracción total de nutrimentos por el cultivo de bell pepper cosechado en rojo, en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ fueron: 319 de N-total, 35 de N-NO_3 , 82 de P_2O_5 , 507 de K_2O , 192 de CaO , 81 de MgO , 7 de Na, 3 de Fe, 3 de Cu, 0.33 de Zn y 1.2 de Mn. Además señala que el cultivo requiere aproximadamente 111 días para sintetizar el 50% de su materia seca y 52 días solamente para sintetizar el 50 % restante, el crecimiento comienza acelerarse al inicio del llenado de frutos; la demanda de P tiene un incremento durante la aparición de las primeras flores. También indica que durante el amarre de los primeros frutos comienza un periodo de fuerte demanda de nutrimentos que se continua durante todo el ciclo; al inicio de la cosecha las exportaciones de calcio disminuyen, la extracción de K aumenta hasta la floración y después se mantiene.

Hedge (1997) señala que en bell pepper el periodo de mayores requerimientos de N, P y K inicia aproximadamente 10 días después de la floración hasta que comienza la maduración de los frutos. Este cultivo prefiere al NO_3 como fuente de N, ya que concentraciones altas de NH_4 en el medio de crecimiento reducen mucho el crecimiento y la productividad. Una pequeña proporción del N, P y K se translocan de las partes vegetativas a los frutos.

Rincón *et al.* (1995) mencionan que en plantas de *Capsicum annuum* cv. Lamuyo, a una densidad de $2.5 \text{ plantas}\cdot\text{m}^{-2}$, las cantidades totales de macronutrientes absorbidos por el cultivo en $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ fue de 29.3 de N, 3.3 de P, 38.33 de K, 12.07 de Ca y 6.31 de Mg, con una producción total de materia seca de $1.17 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, de la cual los frutos contribuyeron con el 66.7 %. De igual forma menciona que la mayor cantidad de N y P se acumulan en los frutos, Ca y Mg en las hojas y K en frutos y en el resto de la parte aérea de la planta. Además, las tasas de absorción de N, P y K fueron mayores en el periodo de la mayor producción de frutos y las de Ca y Mg durante el periodo de mayor crecimiento foliar.

Núñez *et al.* (1996) indican que de las cantidades totales extraídas por el cultivo de chile tipo Lamuyo F1, los frutos acumulan la mayor parte de N (64 %) y P (75 %), siendo el resto de órganos vegetativos (hojas, tallos y peciolas) los que acumulan la mayor cantidad de Ca (95 %) y Mg (75 %). El K es acumulado prácticamente en partes iguales en frutos y resto de órganos vegetativos. Las mayores cantidades de nutrientes extraídos por el cultivo, se consumen desde la primera cosecha hasta el final del

periodo del cultivo, siendo las proporciones extraídas en esta etapa del 70 % de N, 79 % de P_2O_5 , 62 % de K_2O , 54 % de Ca y 65 % de Mg.

Para el cultivo pimiento morrón Martínez-Cañada *et al.* (1985) en un trabajo para determinar la influencia de la posición de la hoja en la planta sobre los parámetros de control nutrimental, y para proponer el tipo de hoja más adecuado para su muestreo, dividieron la planta en tres partes (basal, medio y apical); dentro de lo más sobresaliente encontraron que en la parte media se presentó la menor variabilidad en la concentración de N, P, K, Ca y Mg con 3.78, 3.33, 3.22, 4.55 y 1.38, respectivamente.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Localización del experimento

La presente investigación se llevó a cabo en los invernaderos de postgrado del Instituto de Horticultura del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México, ubicada a 19° 29' LN y 98° 53' LO, a una altitud de 2240 msnm, de febrero a noviembre de 2005. La medición de las variables morfológicas se realizó en los Laboratorios de Fenología de Cultivos y Fisiología de frutales del mismo Departamento y la determinación de la concentración de los nutrimentos de las muestras vegetales se llevó a cabo en el Laboratorio de Nutrición Vegetal de Edafología, del Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México.

4.2 Genotipo y solución nutriente

Se evaluó un híbrido intervarietal (F1) que se obtuvo a partir de las variedades criollas Zongolica y Puebla, del programa "Producción y mejoramiento genético de chile manzano" de la Universidad Autónoma Chapingo. La primera corresponde a una colecta realizada en Zongolica, Veracruz y la otra en la Sierra Norte de Puebla.

Como fuente de nutrimentos en el sistema hidropónico, se empleó la Solución Nutritiva de Steiner (1984), al 100 % de concentración (Cuadro 2). La cual se caracteriza por tener una relación mutua de aniones y cationes y una concentración total de solutos (macronutrimentos) de 30 mole ión·m⁻³ que corresponde a un potencial osmótico de -0.072 Mpa, y un pH de 5.0 - 5.5

CUADRO 2. Cantidad de fertilizantes para preparar 1000 litros de solución nutritiva a una concentración del 100 %.

Nutriente	Cantidad (g)
Nitrato de calcio.....	1062.0
Sulfato de potasio.....	261.2
Nitrato de potasio.....	303.0
Fosfato monopotásico.....	136.0
Sulfato de magnesio.....	240.0
Sulfato ferroso.....	50.0
Sulfato de manganeso.....	10.0
Sulfato de zinc.....	5.0
Sulfato de cobre.....	5.0
Bórax.....	15.0

4.3 Unidad y diseño experimental

Se empleó un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones, cuya unidad experimental consistió de una planta, sembrada en maceta de polietileno blanco calibre 700 de 45 x 50 cm, colocadas a una distancia de 1.50 m entre hileras y 0.5 m entre macetas. Como sustrato se utilizó tezontle rojo.

4.4 Muestreos

Se realizaron siete muestreos destructivos, durante el ciclo del cultivo, de tres plantas cada uno, con intervalos de 30 días a partir de los 3 días después del transplante (ddt). Los muestreos se realizaron entre 9:00 y 10:00 a.m.

4.5 Caracteres evaluados

Morfológicos y agronómicos. En cada muestreo se realizó la medición de los siguientes caracteres:

Altura de planta (cm). Se midió de la superficie del sustrato al punto de crecimiento del tallo principal.

Diámetro del tallo principal (cm). Se midió a una altura de 2 cm por arriba del sustrato, en cada planta.

Número de bifurcaciones. Se cuantificó sólo en el tallo principal de cada planta.

Número de hojas. Se cuantificó en cada planta.

Área foliar (cm²). Se determinó con un integrador de área foliar LI-3100 (LI-COR, INC. Lincoln, Nebraska, EUA), en cada planta.

Número de frutos. Se cuantificó en cada planta.

Rendimiento (kg por planta). Los frutos de cada planta se pesaron en una balanza digital Sartorius 1205 MP.

Materia seca de tallos, hojas y frutos (g). Los órganos fueron previamente secados a 70 °C, en una estufa marca THELCO modelo 6M, hasta peso constante, posteriormente fueron pesados en una balanza digital Sartorius 1205 MP.

4.6 Índices de eficiencia fisiológica

Con el propósito de realizar análisis de crecimiento en plantas de chile manzano, a partir de los datos observados, se generó un modelo de regresión no lineal para materia seca (MS) y área foliar (AF), mediante el modelo logístico (Richard, 1959):

$$MS = F(x) = A / (1 + B \cdot e^{-C \cdot x})$$

$$AF = F(x) = A / (1 + B \cdot e^{-C \cdot x})$$

$$MS' = F'(x) = (A \cdot B \cdot C \cdot e^{-C \cdot x}) / (1 + B \cdot e^{-C \cdot x})^2$$

Donde:

MS y AF = Representan a la variable respuesta materia seca (g) y área foliar (m²).

MS' = Primera derivada del modelo logístico.

A = Valor máximo de los valores observados en el experimento.

A/2 = Ordenada del punto de inflexión.

B = No tiene significado biológico y sólo toma lugar en el tiempo inicial cuando x = 0.

C = Parámetro relacionado con el valor de x para el punto de inflexión, determina la amplitud de la curva.

x = Días después del transplante (ddt).

Utilizando estos modelos se obtuvieron los siguientes índices de eficiencia fisiológica:

$$TAC = MS' = (A \cdot B \cdot C \cdot e^{-C \cdot x}) / (1 + B \cdot e^{-C \cdot x})^2$$

$$TRC = MS' / MS = [(A \cdot B \cdot C \cdot e^{-C \cdot x}) / (1 + B \cdot e^{-C \cdot x})^2] / [A / (1 + B \cdot e^{-C \cdot x})]$$

$$TAN = MS' / AF = [(A \cdot B \cdot C \cdot e^{-C \cdot x}) / (1 + B \cdot e^{-C \cdot x})^2] / [A / (1 + B \cdot e^{-C \cdot x})]$$

$$RAF = AF / MS = [A / (1 + B \cdot e^{-C \cdot x})] / [A / (1 + B \cdot e^{-C \cdot x})]$$

4.7 Extracción y tasa absoluta de absorción nutrimental

En cada muestreo se cuantificó el contenido y se estimó la extracción y la tasa de absorción de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu y B, en la biomasa aérea total. La extracción se estimó mediante el modelo logístico y la tasa absoluta de absorción con la primera derivada del modelo logístico (Richard, 1959):

$$W(\text{ddt}) = A / (1 + n \cdot e^{-k \cdot \text{ddt}})$$

$$W'(\text{ddt}) = A \cdot n \cdot k \cdot e^{-k \cdot \text{ddt}} / (1 + n \cdot e^{-k \cdot \text{ddt}})^2$$

Donde: **W(ddt)** representa la variable respuesta acumulación de materia seca (MS) y N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn y B en función de los días después del transplante (**ddt**); **A** es el valor límite de la MS o absorción de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn y B; **k** es una tasa constante que determina la amplitud de la curva y **n** no tiene significado biológico y sólo toma lugar en el tiempo inicial cuando $ddt = 0$.

4.8 Análisis de los datos

Consistió en un análisis de varianza (ANAVA), de acuerdo con el diseño experimental completamente al azar. Para establecer las diferencias estadísticas entre las medias en la acumulación de materia seca de cada órgano, se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey, con $\alpha \leq 0.05$, al final del ciclo del cultivo. También se estimaron las correlaciones de Pearson para las variables de estudio y entre los datos observados en el experimento y los estimados mediante el modelo logístico. Mediante el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS, 1999) se determinaron los estimadores de los parámetros (A, B y C) del modelo logístico.

4.9 Manejo experimental

Producción de plántula. La siembra se realizó en invernadero el 12 de febrero del 2005, en vasos de unicel Núm. 10 en donde fueron depositadas tres semillas por vaso a 0.5 cm de profundidad, para asegurar al menos una planta por vaso. El sustrato utilizado fue Growin Mix Núm. 2, previamente humedecido. Por las mañanas y por las tardes se aplicaron riegos ligeros diariamente, y una vez emergidas las plántulas se le proporcionó sombra a 50 % con mallas a una altura de 2 metros sobre el nivel del piso.

La fertilización se proporcionó con solución nutritiva al 25 %, utilizando los fertilizantes que se señalan en el Cuadro 2.

Transplante. Las plántulas fueron transplantadas el 3 de mayo del 2005 en macetas de polietileno blanco calibre 700 de 45 x 50 cm colocadas a una distancia de 1.50 m entre hileras y 0.5 m entre macetas.

Colocación de tutores. Los tutores se colocaron a los 25 días después del transplante, constaron de estacas de 2 m de alto ubicadas en los extremos de cada hilera como soporte, e hilos de rafia a lo largo de las hileras de las plantas, los cuales se colocaron horizontalmente a una distancia de 20 cm entre cada uno. Las estacas se colocaron en forma de "V" con la finalidad de que se tuviera una mayor captación de luz.

Nutrición del cultivo. La aplicación de la solución nutritiva se hizo mediante riego por goteo. La solución nutritiva se preparó disolviendo en 1000 litros de agua los fertilizantes que se señalan en el Cuadro 2, siguiendo el mismo orden para disolverlos. La solución se aplicó a una concentración de 100 % durante todo el ciclo.

Control de plagas y enfermedades. En plántula la enfermedad que se presentó fue fusarium (*Fusarium spp*), el cual se controló con Sportak ® 45 CE (Procloraz) a una dosis de 1 ml por litro de agua. Después del transplante, se presentó araña roja (*Tetranychus urticae*). Los productos para su control fueron Folimat ® (Ometoato) y Agrimec ® 1.8% CE (Abarnectina) a una dosis de 1.0 ml por litro de agua. Para prevenir las enfermedades cada dos semanas se hicieron aplicaciones de Cupravit ® Mix (Oxicloruro de cobre) a una dosis de 0.5 gramos por litro de agua.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 ANÁLISIS DE CRECIMIENTO

A los datos observados de altura de planta, diámetro de tallo, número de bifurcaciones del tallo principal, número de hojas, área foliar, número y peso fresco de frutos y, materia seca (tallos, hojas y frutos), se aplicó regresión no lineal con el modelo logístico. Una vez estimados los parámetros correspondientes (Cuadro 3), la correlación entre datos observados y estimados fue mayor a 0.9, lo que implicó la elección de un modelo adecuado que permite la estimación del crecimiento con respecto a los caracteres evaluados. En cada curva se localizó el punto de inflexión con la finalidad de determinar el momento en que la planta inicia la disminución en su velocidad de crecimiento (Cuadro 3).

CUADRO 3. Modelos matemáticos con los que se estimaron los datos observados en el experimento en chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P)

Caracter	Modelo	r [†]	Pi
Altura de planta	$y = 305.1 / (1+19.7853e^{-0.0434*ddt})$	0.99	73
Diámetro de tallo	$y = 1.3178 / (1+2.219e^{-0.0251*ddt})$	0.97	33
Bifurcaciones del tallo principal	$y = 24.6043 / (1+14.8783e^{-0.0369*ddt})$	0.99	72
Número de hojas	$y = 822.4 / (1+61.0245e^{-0.0527*ddt})$	0.97	78
Área foliar	$y = 24136.7 / (1+89.164e^{-0.0685*ddt})$	0.98	66
Número de frutos	$y = 136.3 / (1+17.4229e^{-0.0296*ddt})$	0.91	91
Peso fresco de frutos	$y = 3197.1 / (1+413.2e^{-0.0521*ddt})$	0.97	114
Materia seca en hoja	$y = 89.3322 / (1+45.3477e^{-0.05*ddt})$	0.98	76
Materia seca en tallo	$y = 133.6 / (1+37.3173e^{-0.045*ddt})$	0.96	80
Materia seca en frutos	$y = 341.9 / (1+843.4e^{-0.0568*ddt})$	0.96	118

† Correlación lineal entre valores observados y estimados; ddt = Días después del transplante; Pi = Punto de inflexión (ddt).

Con respecto a la altura, la planta inició la disminución de la velocidad de crecimiento a partir de los 73 ddt; en tanto que en diámetro y número de bifurcaciones del tallo principal ocurrió a partir de los 33 y 73 ddt, respectivamente (Figuras 1a y 1b).

Antes de la fructificación el incremento en número y tamaño de hoja tuvo la misma tendencia; a partir de los 78 ddt la producción de hojas comenzó a disminuir, mientras que el área foliar presentó dicho comportamiento a los 66 ddt. En número de frutos, a los 91 ddt la planta comenzó a producir cada vez menos frutos por unidad de tiempo, con respecto al rendimiento por planta a los 114 ddt se presentó tal comportamiento. A los 63 ddt la planta produjo 37 no comerciales; en promedio cada fruto pesó 5.2 g por lo que el rendimiento fue de 193 g; en tanto que al final del ciclo la planta produjo 120 frutos; cada fruto pesó en promedio 27 g, con lo que se obtuvo un rendimiento total por planta de 3.24 kg de fruto fresco.

En general, la planta inició la disminución de la velocidad de crecimiento a partir de la fructificación. Al final del ciclo del cultivo (176 ddt), la altura de planta fue de 3.0 m, diámetro de tallo de 1.3 cm, 24 bifurcaciones del tallo principal, 818 hojas con un área de 2.4 m², 120 frutos con un peso en fresco de 3.24 kg.

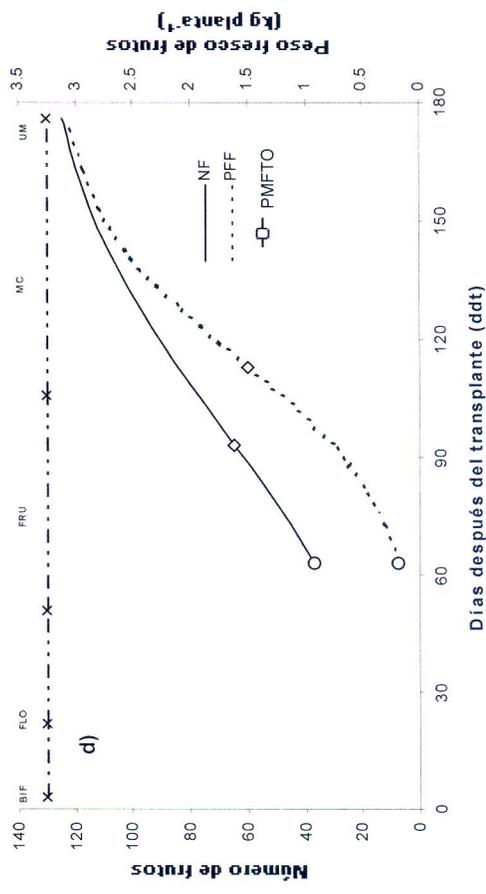
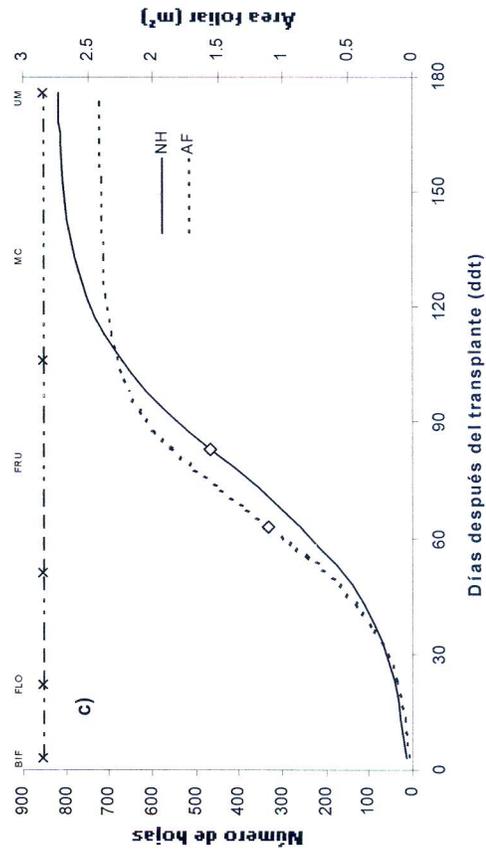
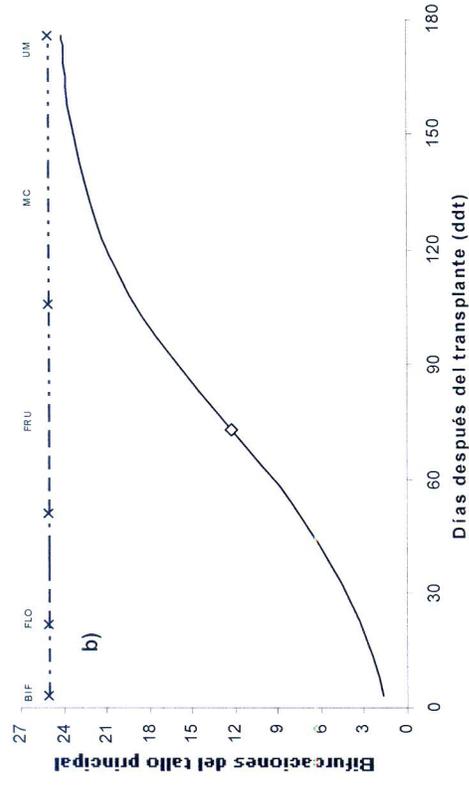
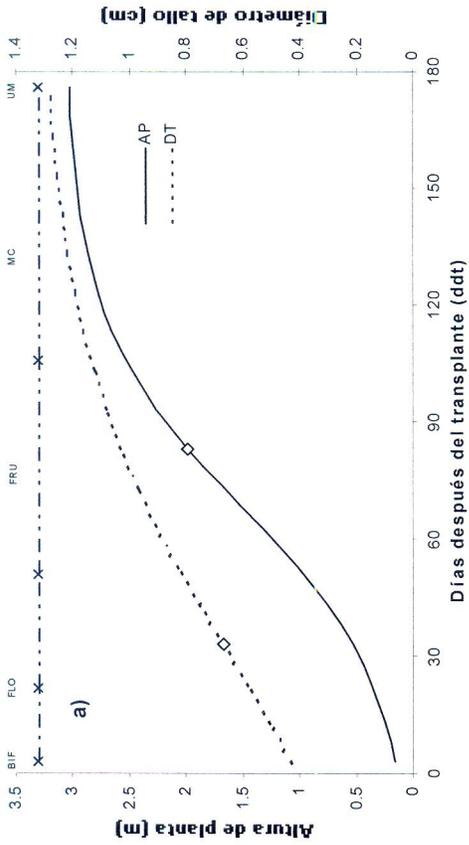


Figura 1. Comportamiento de altura de planta y diámetro de tallo (a), número de bifurcaciones del tallo principal (b), número de hojas y área foliar (c), número y peso fresco de frutos (d), a través del tiempo. BIF:Bifurcación del tallo principal; FLO:Floración; FRU:Fructificación; MC:Madurez comercial; UM:Último muestreo. ◇ Punto de inflexión. PMFTO:Primer muestreo con frutos.

5.1.1 Distribución de la biomasa aérea

Durante el desarrollo vegetativo, en los dos primeros muestreos (3 y 33 ddt), la mayor acumulación de materia seca se tuvo en tallos con 64 y 61 % (Figura 2b) y el resto en hojas (36 y 39 %). A los 63 ddt (tercer muestreo), el 49 % de la materia seca se tuvo en tallos, 35 % en hojas y 16 % en frutos. Sin embargo, en el último muestreo (176 ddt), sólo el 24 % de la materia seca se acumuló en tallos, 16 % en hojas y el 60 % en frutos (Figura 2b). Estos resultados permiten deducir que la planta tuvo diferentes tasas de crecimiento a lo largo de su desarrollo, menores al inicio y mayores al final del ciclo. Al respecto Mengel y Kirkby (1978), mencionan que la proporción de fotoasimilados dirigidos hacia los órganos de demanda depende de la edad fisiológica de la planta. En plantas jóvenes, el crecimiento estructural domina, y por tanto, más de la mitad de los fotoasimilados es usada en la síntesis de material almacenado (almacenamiento o acumulación); y durante el período de llenado de frutos (formación de frutos) aproximadamente el 80 % de los fotoasimilados transportados a los frutos son usados como metabolitos para la síntesis de numerosos compuestos orgánicos.

Al final del ciclo del cultivo existieron diferencias estadísticamente significativas en la acumulación de materia seca en los órganos de la planta. El órgano que presentó mayor acumulación de materia seca fue el fruto con 329.25 g, en tanto que tallos y hojas acumularon 131.81 y 88.73 g, respectivamente (Figura 2a). Por lo tanto, el efecto de los frutos en la competencia por fotoasimilados causó una reducción relativa en la demanda de tallos y hojas.

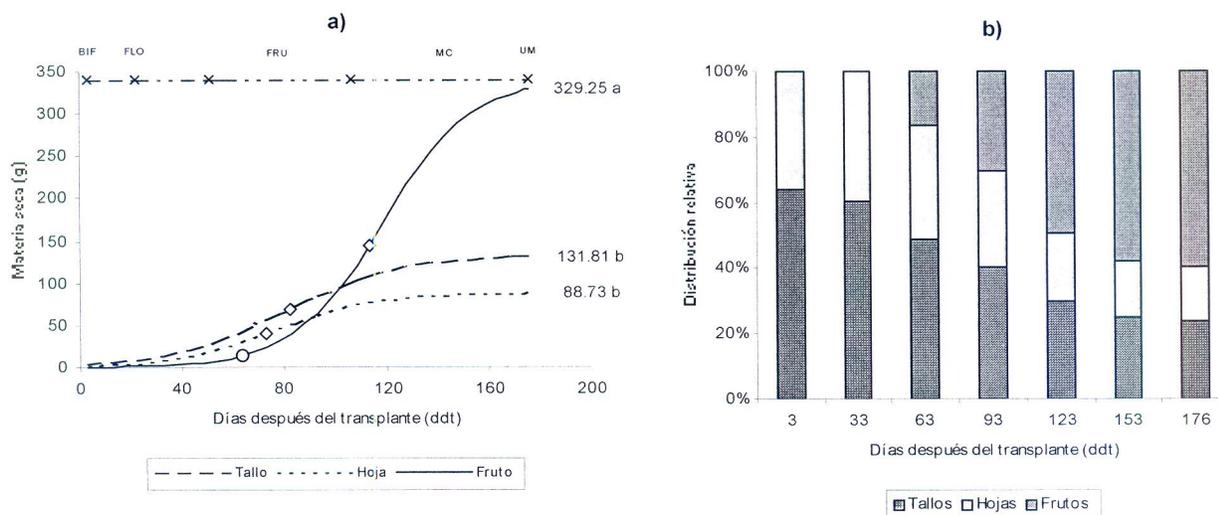


Figura 2. a) Acumulación y b) distribución relativa de la materia seca en plantas de chile manzano en función del tiempo. BIF:Bifurcación del tallo principal; FLO:Floración; FRU:Fructificación; MC:Madurez comercial; UM:Último muestreo. ◻ Muestreo con frutos. ◇ Punto de inflexión.

Correlaciones

Los caracteres que mostraron asociaciones de tipo lineal en forma significativa ($\alpha \leq 0.05$) con el rendimiento fueron el número de bifurcaciones del tallo principal ($r=0.95$) y el número de frutos por planta ($r=0.95$). Estos componentes también correlacionaron positiva y significativamente con el índice de cosecha mostrando una “r” de 0.96 y 0.90, respectivamente, por lo que se deduce que a mayor número de bifurcaciones del tallo principal, se tuvo mayor número y peso fresco de frutos. Otro componente que correlacionó significativamente con el índice de cosecha fue el peso seco de frutos ($r=0.94$), ya que el fruto aportó el 60 % de la materia seca total.

La altura de planta presentó una alta correlación positiva significativa con el diámetro de tallo ($r=0.92$), número de bifurcaciones del tallo principal ($r=0.99$), número de frutos ($r=0.77$), número de hojas ($r=0.98$), área foliar ($r=0.97$) y acumulación de materia seca

total ($r=0.92$), esto debido a que a mayor altura de planta se tuvo mayor número de bifurcaciones del tallo principal y al contar con un mayor número de bifurcaciones se tiene un mayor número de frutos, número de hojas, área foliar; ya que un aspecto morfológico característico del género *Capsicum* es que en cada bifurcación la planta presenta al menos un fruto y una hoja, por lo que éstos componentes también correlacionan positiva y significativamente con el rendimiento de frutos y materia seca total (Cuadro 4).

CUADRO 4. Correlaciones fenotípicas entre 11 caracteres de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) cultivado en hidroponía. Chapingo, México, 2005.

	DT	BTP	NH	AF	NF	PFF	PSH	PST	PSF	PSTOT	IC
AP	0.92**	0.99**	0.93**	0.98**	0.77**	0.87**	0.98**	0.97**	0.82**	0.92**	0.87**
DT		0.95**	0.89**	0.90**	0.83**	0.82**	0.91**	0.91**	0.84**	0.85**	0.78**
BTP			0.98**	0.97**	0.88**	0.95**	0.98**	0.97**	0.92**	0.94**	0.96**
NH				0.98**	0.87**	0.92**	0.99**	0.98**	0.87**	0.96**	0.88**
AF					0.74**	0.82**	0.99**	0.98**	0.74**	0.91**	0.80**
NF						0.95**	0.89**	0.84**	0.95**	0.95**	0.90**
PFF							0.94**	0.87**	0.99**	0.99**	0.95**
PSH								0.99**	0.89**	0.96**	0.90**
PST									0.82**	0.94**	0.82**
PSF										0.99**	0.94**
PSTOT											0.94**

** Altamente significativo (Tukey, $\alpha=0.01$); DT:Diámetro de tallo; BTP:Bifurcaciones del tallo principal; NH:Número de hojas; AF:Área foliar; NF:Número de frutos; PFF:Peso en fresco de frutos; PSH:Peso seco de hojas; PST:Peso seco de tallos; PSF:Peso seco de frutos; PSTOT:Peso seco total.

5.1.2 Índices de eficiencia fisiológica

Tasa absoluta de crecimiento (TAC)

Las plantas mostraron tendencias similares en TAC en tallos y hojas en un intervalo de 3 a 176 días después del transplante. En frutos la TAC es muy marcada durante el periodo entre inicio de fructificación (51 ddt) y el último muestreo (176 ddt).

De los 3 a los 51 ddt la planta fue mas eficiente en la acumulación de materia seca por día en tallos y hojas, ya que aún la planta no contaba con frutos. En el segundo muestreo (63 ddt) los frutos acumularon $0.76 \text{ g}\cdot\text{día}^{-1}$, en tanto que tallos y hojas acumularon 1.29 y $1.0 \text{ g}\cdot\text{día}^{-1}$, respectivamente.

De los 63 a los 123 ddt la planta presentó un incremento acelerado en la acumulación de materia seca en frutos pasando de 0.76 a $4.78 \text{ g}\cdot\text{día}^{-1}$. Durante dicho periodo la velocidad de acumulación de materia seca en tallos y hojas disminuyó de 1.29 a 0.67 y de 1.0 a $0.36 \text{ g}\cdot\text{día}^{-1}$, respectivamente. Ambos órganos presentaron su máxima TAC durante el periodo de fructificación; tallos a los 83 ddt con $1.5 \text{ g}\cdot\text{día}^{-1}$ y hojas a los 73 ddt con $1.1 \text{ g}\cdot\text{día}^{-1}$. Los frutos tuvieron su máxima TAC durante la madurez comercial con $4.78 \text{ g}\cdot\text{día}^{-1}$ (Figura 3a). Tal comportamiento se atribuye a que una vez iniciada la fructificación (51 ddt) las hojas senescen y caen y la planta destina gran parte de los fotoasimilados a los órganos de mayor demanda, que en este caso fueron los frutos, de tal manera que los frutos acumularon mayor materia seca al final del ciclo (329.5 g) (Figura 2a).

Tasa relativa de crecimiento (TRC)

La TRC es un índice que representa la eficiencia de la planta para producir nuevo material a partir de una unidad de peso en un tiempo determinado. Durante el ciclo del cultivo (3 a 176 ddt) los órganos mostraron la misma tendencia, sin embargo, los frutos fueron más eficientes, ya que tuvieron valores superiores que tallos y hojas. A los 63 ddt (tercer muestreo, cuando la planta contaba con frutos) los frutos acumularon $0.054 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$, en tanto que tallos y hojas acumularon 0.031 y $0.033 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$, respectivamente (Figura 3b). El decremento en las TRC de los órganos en estudio se hizo más notorio en la etapa de madurez comercial. La eficiencia de cada órgano para producir nuevo material disminuyó en función de la edad de la planta.

Es importante destacar que durante el desarrollo vegetativo (3 a 51 ddt), tallos y hojas fueron los órganos más eficiente en su crecimiento hasta inicio de la fructificación; del inicio de fructificación hasta el final del ciclo, los frutos se constituyeron como los órganos más eficiente en el crecimiento, aunque la eficiencia en la TRC de tallos, hojas y frutos fue menor al final del ciclo.

Hedge (1997) en un estudio en bell pepper (*Capsicum annuum* L.), encontró que los valores mayores de TRC se dan durante el desarrollo vegetativo, comportamiento semejante encontrado en el presente trabajo.

Beese *et al.* (1982) en un estudio en *Capsicum annuum* L. también encontraron que la TRC fue mayor durante el desarrollo vegetativo y ésta declinó conforme el transcurso

del tiempo, al respecto Teasdale y Abdul-Baki (1997) mencionan que esta es una respuesta típica atribuida al incremento en la producción de tejidos estructurales no fotosintéticos conforme la planta madura.

Tasa de asimilación neta (TAN)

La TAN mide el incremento del peso seco total de la planta o de cada órgano por unidad de área foliar por unidad de tiempo, por lo que es una medida dependiente de la actividad fotosintética que se expresa en miligramo de peso seco por centímetro cuadrado de área foliar por día.

Durante la etapa vegetativa tallos y hojas presentaron mayor TAN con 0.53 y 0.33 $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$. Conforme avanzó la edad de la planta la TAN en estos órganos decreció hasta alcanzar valores bajos de 0.003 y 0.001 $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$ al final del ciclo, respectivamente. Dicho comportamiento se debe al envejecimiento de la hoja, lo que implica que varíe la cantidad de fotoasimilados y la dirección en que se transporta; en este sentido, las hojas adultas exportan principalmente hacia abajo, a la base del tallo y raíz (Bidwell, 1979).

En el caso de frutos, éstos tuvieron comportamiento contrastante, ya que la TAN incrementó hasta alcanzar su valor máximo a los 113 ddt con 0.204 $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$, y después disminuyó a 0.03 $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$ al final del ciclo. La mayor TAN en frutos se tuvo en la madurez comercial.

En general, los frutos presentaron mayor eficiencia en producción de materia seca por centímetro cuadrado de área foliar por día. Dicho comportamiento se presentó durante el periodo entre la fructificación y madurez comercial.

Razón de área foliar (RAF)

La variación de área foliar con respecto al peso seco de los diferentes órganos estructurales de la planta fue distinta entre éstos. El comportamiento de la RAF en frutos ($790.88 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$) se mostró superior a tallos ($263.11 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$) y hojas ($362.92 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$) a los 63 ddt; dichos valores disminuyeron hasta presentar valores de RAF inferiores en frutos ($73.23 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$) que tallos ($183.02 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$) y hojas ($271.9 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$). El decremento en RAF fue más notorio en frutos, ya que tallos y hojas se mantuvieron constantes hasta el final del ciclo. Este patrón de comportamiento se debe a que en la etapa vegetativa se disponía de mayor área foliar por cada gramo de fruto existente, una vez iniciada la madurez comercial (106 ddt) además de incrementarse el número de frutos, éstos eran de mayor tamaño, por lo que se tuvo menor área foliar por cada gramo de materia seca, esto también puede atribuirse a que en ésta etapa la planta producía cada vez menos número de hojas y de menor área por unidad de tiempo (Figura 3d). La tendencia y los valores de RAF encontrados en el presente trabajo son similares a los reportados por Beese *et al.* (1982) y Hedge (1997).

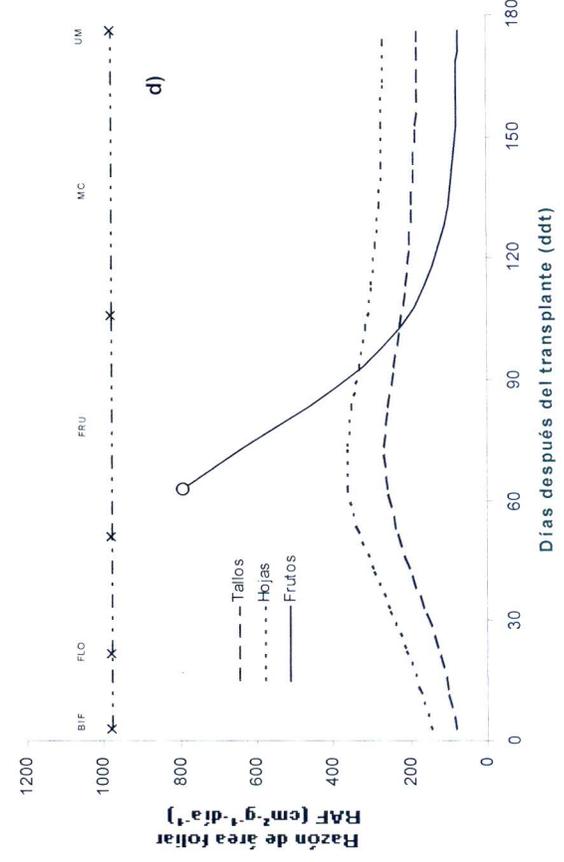
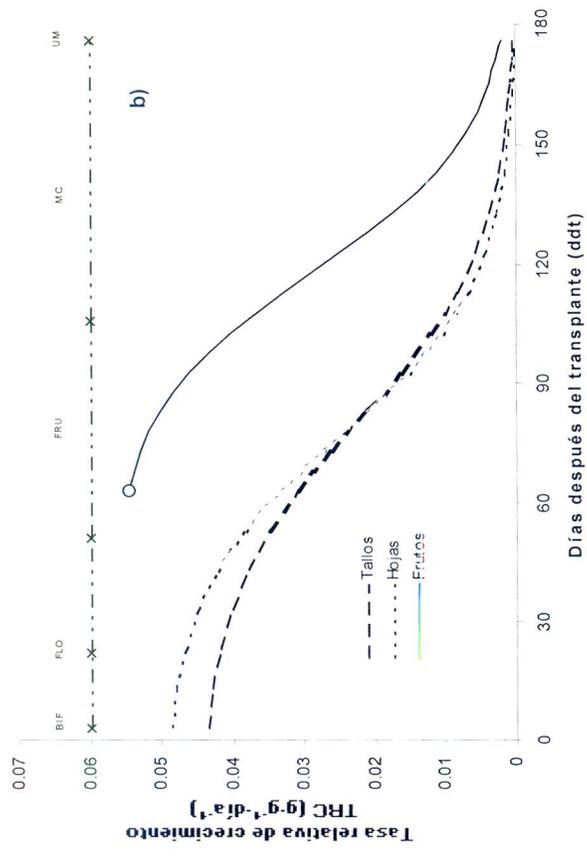
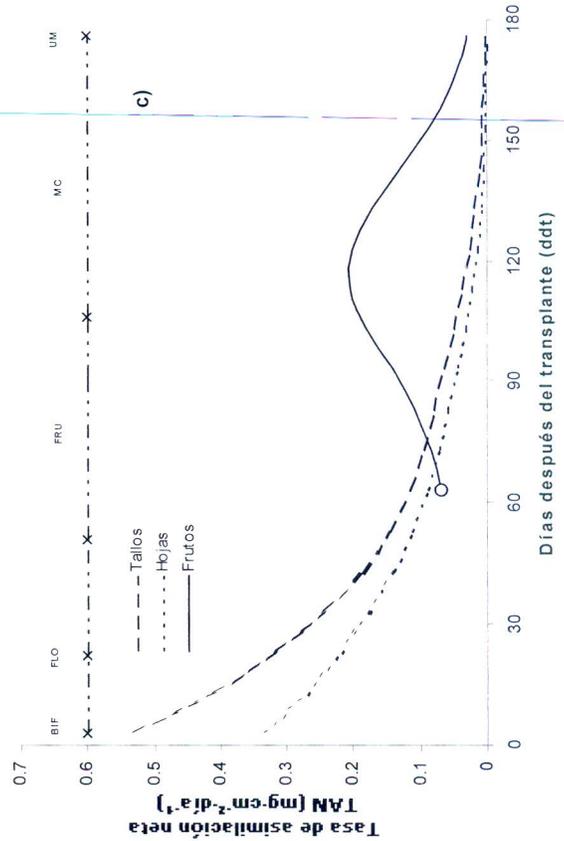
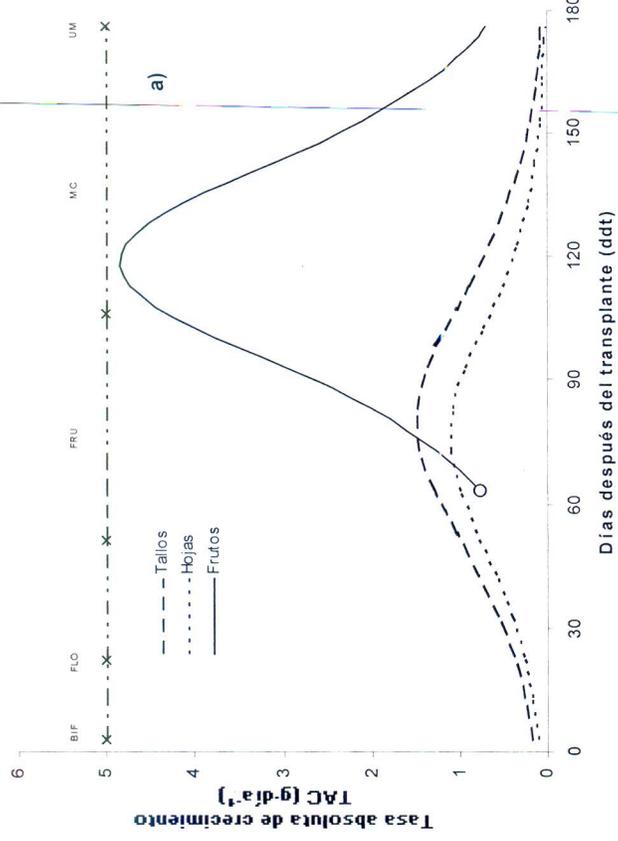


Figura 3. a) Tasa absoluta de crecimiento (TAC), b) Tasa relativa de crecimiento (TRC), c) Tasa de asimilación neta (TAN) y d) Razón de área foliar (RAF) en función de los días después del transplante. BIF: Bifurcación del tallo principal; FLO: Floración; FRU: Fructificación; MC: Madurez comercial; UM: Último muestreo. -○- Primer muestreo con frutos

5.2 DINÁMICA NUTRIMENTAL

A los datos de extracción de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn y B se ajustaron mediante el modelo logístico. Una vez estimados los parámetros correspondientes (Cuadro 5), la correlación entre datos observados y estimados en todos los modelos fue mayor que 0.9, lo que indica que estos modelos permitieron la adecuada descripción de la extracción nutrimental. En cada curva se localizó el punto de inflexión (Pi) con la finalidad de determinar el momento en que la planta inicia la disminución en su velocidad de extracción (Cuadro 5), el cual coincide con el máximo valor de la tasa absoluta de absorción (TAA).

CUADRO 5. Modelos matemáticos con los que se estimaron los datos de extracción de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn y B, por el cultivo de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) cultivado en hidroponía. Chapingo, México, 2005.

Nutrimento	Modelo	r [†]	Pi
N	$y = 12.7367 / (1+47.548e^{-0.0403*ddt})$	0.98	94
P	$y = 1.2611 / (1+54.1071e^{-0.0431*ddt})$	0.95	91
K	$y = 7.9508 / (1+190.5e^{-0.0754*ddt})$	0.96	70
Ca	$y = 7.6191 / (1+174.7e^{-0.0684*ddt})$	0.97	75
Mg	$y = 2.5616 / (1+472.0e^{-0.1136*ddt})$	0.94	54
Fe	$y = 0.0647 / (1+608.5e^{-0.075*ddt})$	0.96	85
Mn	$y = 0.0705 / (1+73.6543e^{-0.0524*ddt})$	0.96	83
Cu	$y = 0.00105 / (1+44.9391e^{-0.0351*ddt})$	0.95	106
Zn	$y = 0.00695 / (1+204.4e^{-0.0965*ddt})$	0.91	54
B	$y = 0.1301 / (1+202.7e^{-0.0563*ddt})$	0.98	94

[†] Correlación lineal entre valores observados y estimados; ddt: Días después del transplante; Pi: Punto de inflexión (ddt).

5.2.1 Macronutrientos

El mayor contenido de N, Ca y Mg en la biomasa aérea total (BAT) se tuvo al momento de la bifurcación principal, en tanto que en plena floración los nutrientes que se tuvieron en mayor cantidad fueron P y K (Cuadro 6). El contenido de N, P, K, Ca y Mg disminuyó desde la floración hasta final del ciclo del cultivo (Figura 4), este comportamiento es debido a que al transcurrir los días después del transplante la tasa de acumulación de materia seca fue mayor a la tasa de absorción de dichos nutrientes.

En *Capsicum annuum* el contenido de N en la planta inicia con 4.6 % en la etapa vegetativa, 3.09 % al inicio de la fructificación y 2.35 % al final del ciclo (Morales, 1999), en bell pepper el contenido de P es de 0.4 % durante la floración, 0.3 % durante la formación de frutos y 0.23 % durante la producción, en cuanto a contenido de K en la etapa vegetativa intermedia es de 4 a 5.4 % y al inicio de fructificación de 5% (Burgueño *et al*, 1994). En la etapa vegetativa intermedia el intervalo de suficiencia de Ca es de 0.4 a 0.6 y durante el inicio de fructificación de 1.3 a 3.7 % (Piggott, 1988), en cuanto al contenido de Mg los valores óptimos en las hojas y peciolo de chile bell son 0.85 % en la floración, 0.8 en la formación y producción de frutos. Por tanto, aunque no sería válido comparar los datos de este experimento con los mencionados por los diversos autores por la diferencia en cultivos además de que la parte analizada en los estudios mencionados es en tejido foliar en tanto que en este experimento es en la parte aérea de la planta, los datos de N, P y Ca son similares.

CUADRO 6. Contenido de N, P, K, Ca y Mg en la biomasa aérea total en plantas de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) cultivadas en hidroponía. Chapingo, México, 2005.

Etapa fenológica	N	P	K	Ca	Mg
	----- (%) -----				
PBTP	4.35	0.43	3.97	4.14	2.48
FLO	4.31	0.44	4.32	3.54	2.20
FRU	3.58-2.76	0.33-0.29	3.37-3.1	2.57-2.69	1.3-2.06
MPC	2.41-2.12	0.26-0.21	2.18-1.39	1.4-1.97	0.43-0.69

PBTP:Primera bifurcación del tallo principal; FLO:Floración; FRU:Fructificación; MPC:Madurez y producción comercial.

La extracción de N, P, K y Ca comienza a incrementarse considerablemente durante la fructificación. El Mg tuvo tal comportamiento al inicio de la fructificación. La máxima velocidad de acumulación de N, P, K, Ca y Mg se tuvo a 94, 91, 70, 75 y 54 ddt con 6.13, 0.61, 3.97, 3.81 y 1.28 g, respectivamente (Figura 5). Estos resultados se deben a que durante el amarre de los primeros frutos comienza un periodo de fuerte demanda de nutrimentos y durante el llenado de frutos (formación de frutos) aproximadamente el 80 % de los fotoasimilados transportados a los frutos son usados como metabolitos para la síntesis de numerosos compuestos orgánicos (Mengel y Kirkby, 1982).

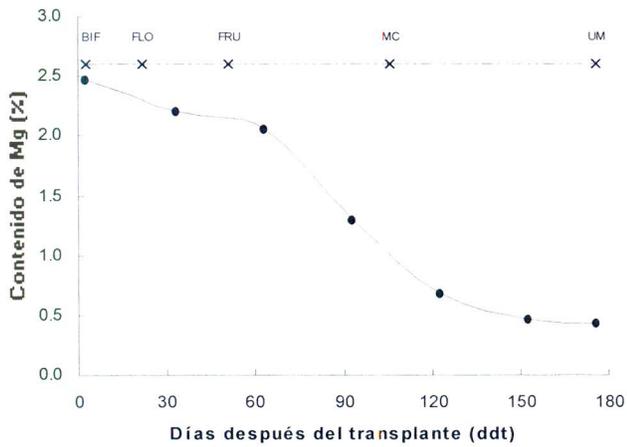
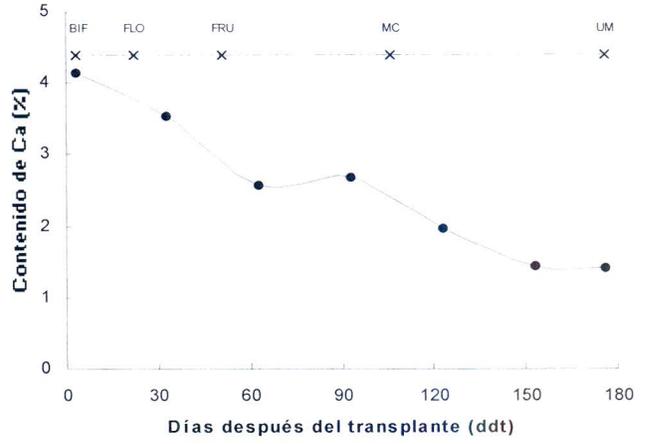
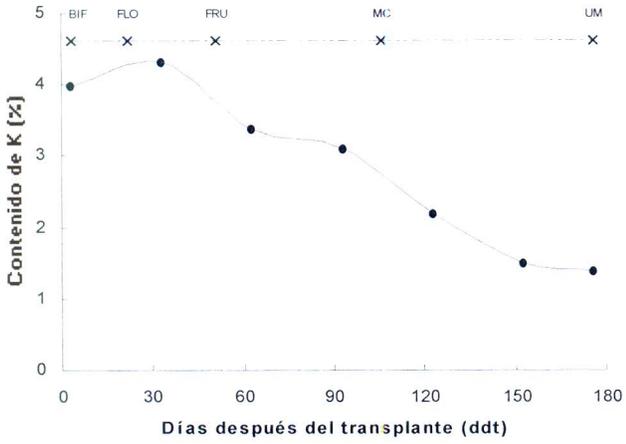
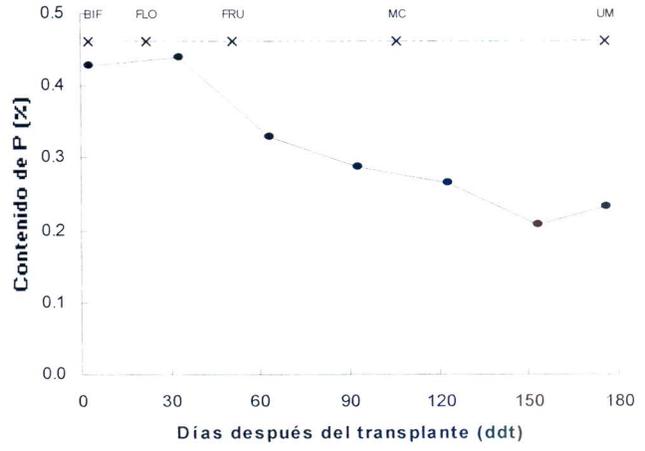
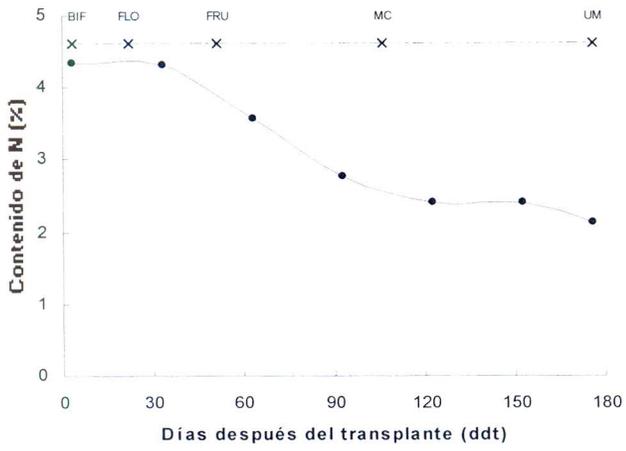


FIGURA 4. Contenido promedio de N, P, K, Ca y Mg en la biomasa aérea total del cultivo de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) cultivado en hidroponía. Chapingo, México, 2005.

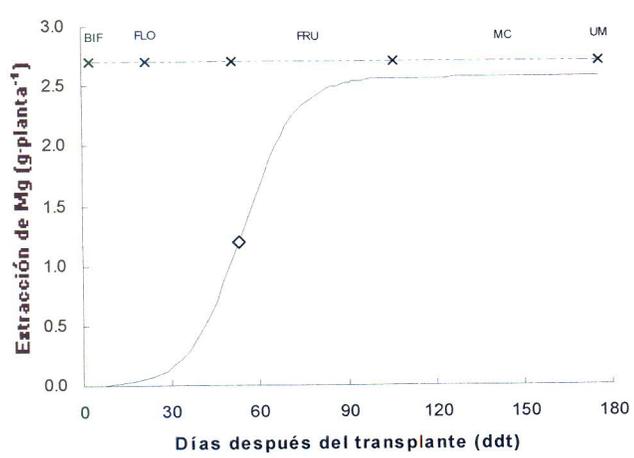
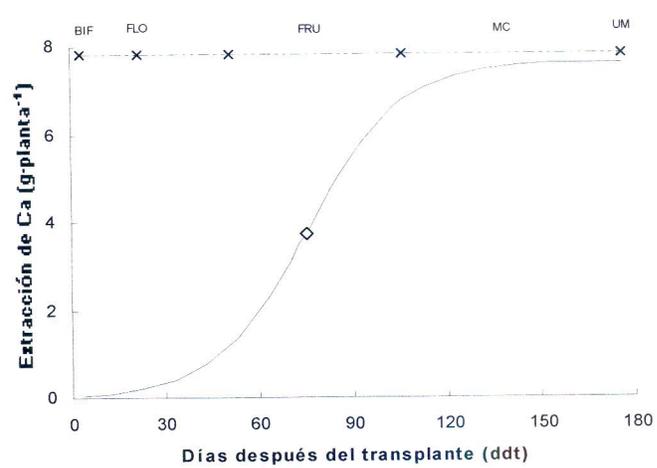
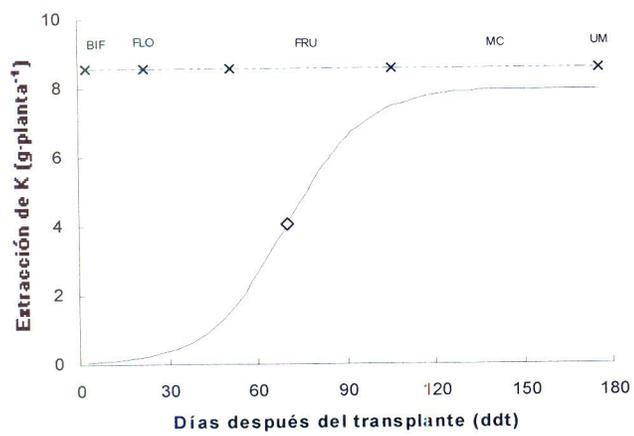
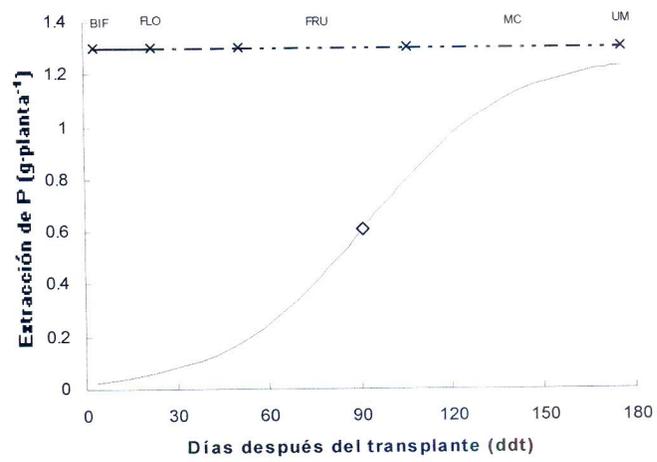
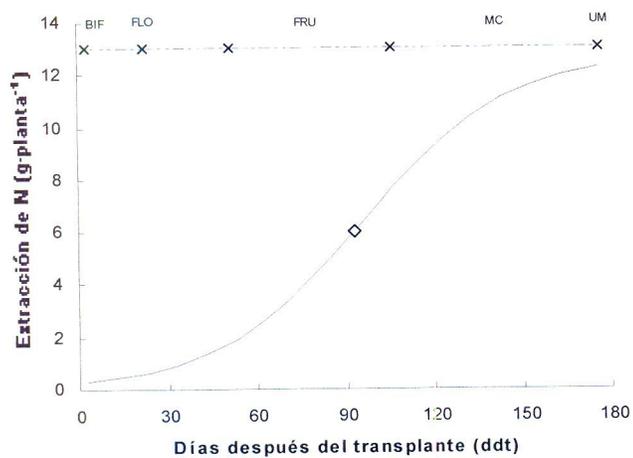


FIGURA 5. Extracción de N, P, K, Ca y Mg en la biomasa aérea total del cultivo de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) cultivado en hidroponía. Chapingo, México, 2005. ◊ Punto de inflexión.

Con el rendimiento por planta (3.24 kg) y la extracción de cada nutrimento al final del ciclo del cultivo (Cuadro 7), se determinó que para producir una tonelada de fruto fresco de chile manzano se requiere 3.8 kg de N, 0.38 kg de P, 2.45 kg de K, 2.35 kg de Ca y 0.79 kg de Mg. En tanto que para *Capsicum annuum* se requiere de 7.5 kg de N, 0.85 kg de P, 9.8 Kg de K, 3.1 kg de Ca y 1.6 kg de Mg (Rincón *et al.*, 1995); en bell pepper 4.5 kg de N, 1.15 kg de P, 7.15 kg de K, 2.7 kg de Ca y 1.14 kg de Mg (Burgueño, 1995). Estos valores de extracción difieren con los obtenidos en el presente trabajo, esto posiblemente se deba a que son especies diferentes.

CUADRO 7. Extracción de N, P, K, Ca y Mg en la biomasa aérea total en plantas de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) cultivadas en hidroponía. Chapingo, México, 2005.

Etapa fenológica	N	P	K	Ca	Mg
	----- (g) -----				
PBTP	0.3	0.03	0.05	0.05	0.01
FLO	0.6-1.4	0.06-0.13	0.23-0.94	0.2-0.75	0.07-0.56
FRU	1.9-7.7	0.19-0.81	1.77-7.47	1.35-6.78	1.19-2.55
MPC	8.5-12.3	0.89-1.23	7.66-7.95	7.08-7.61	2.56

PBTP:Primera bifurcación del tallo principal; FLO:Floración; FRU:Fructificación; MPC:Madurez y producción comercial.

La máxima tasa absoluta de absorción (TAA) de N, P, K y Ca se tuvo a 94, 91, 70 y 75 ddt con 0.13, 0.014, 0.15 y 0.13 g·día⁻¹, respectivamente. Dichos valores se tuvieron en plena fructificación (Figura 6) cuando los frutos constituyen la principal demanda de nutrimentos. En tanto que la máxima TAA de Mg (0.072 g·día⁻¹) se tuvo al inicio de fructificación (Figura 7); es decir el mayor requerimiento nutrimental ocurre a inicio y durante la fructificación. En el caso de bell pepper, el periodo de requerimiento de N, P

y K es de aproximadamente 10 días después de la floración a justo antes que empiece la maduración de los frutos (Hedge, 1997). En tanto que en *Capsicum annuum* las tasas de absorción de N, P y K fueron mayores en el periodo de mayor producción de frutos y las de y las de Ca y Mg durante el periodo de mayor crecimiento foliar (Rincón *et al.*, 1995).

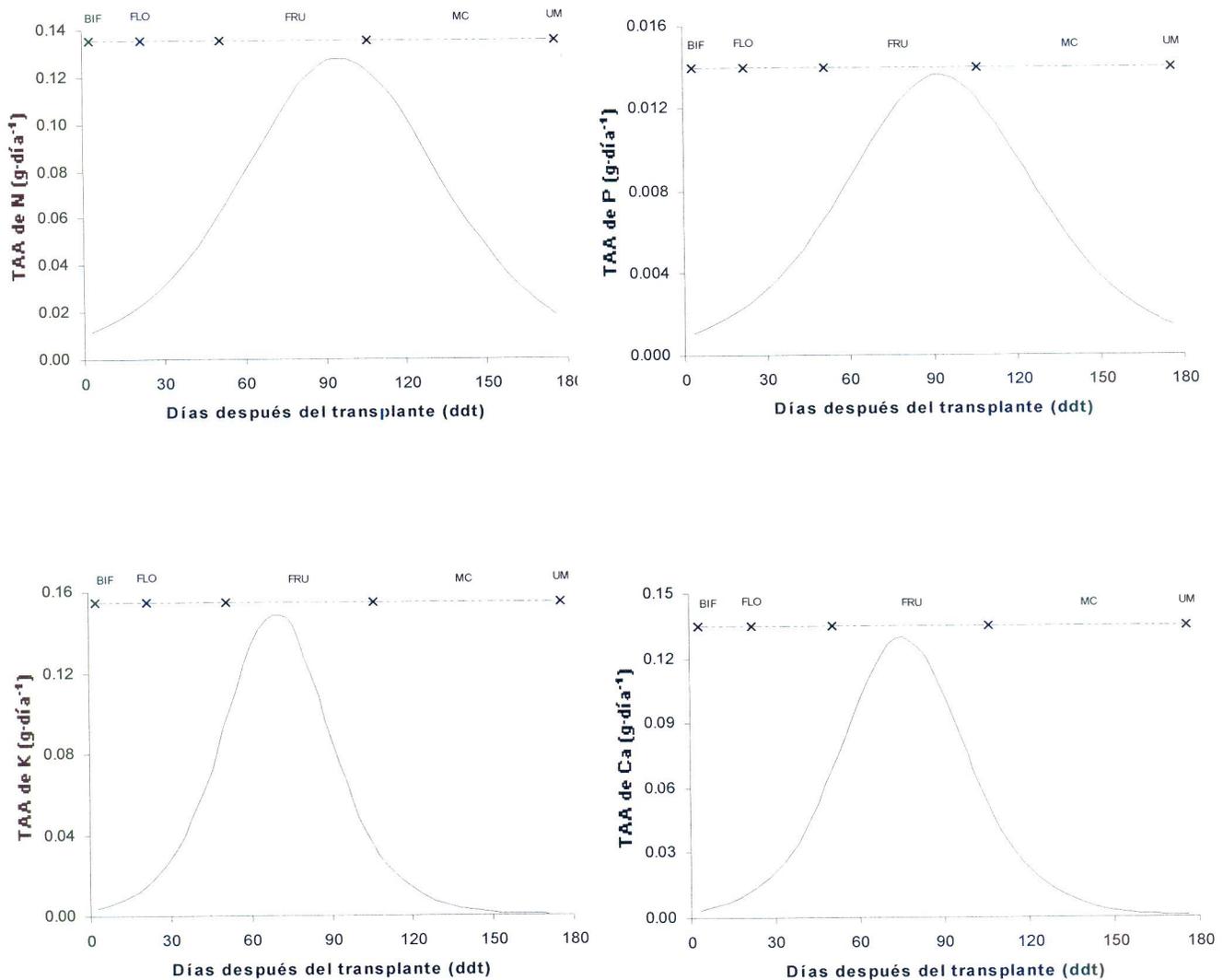


FIGURA 6. Tasa absoluta de absorción (TAA) de N, P, K y Ca en plantas de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) cultivadas en hidroponía. Chapingo, México, 2005.

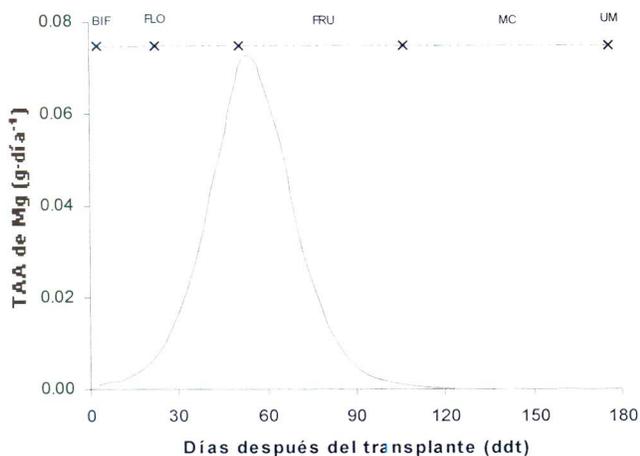


FIGURA 7. Tasa absoluta de absorción (TAA) de Mg en plantas de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) cultivadas en hidroponía. Chapingo, México, 2005.

5.2.2 Micronutrientos

El mayor contenido de Fe, Mn, Cu y B en la biomasa aérea total (BAT) se tuvo al momento de la bifurcación principal, en tanto que en plena floración el nutrimento que se tuvo en mayor cantidad fue Zn (Cuadro 8). El contenido de estos micronutrientos disminuyó desde la floración hasta final del ciclo del cultivo (Figuras 8 y 9), este comportamiento es debido a que al transcurrir los días después del transplante la tasa de acumulación de materia seca fue mayor a la tasa de absorción de dichos nutrimentos.

En *Capsicum annum* el intervalo de suficiencia del contenido de Fe varía de 60 a 300 ppm (Jones *et al.*, 1991), el valor crítico durante la floración es de 130 ppm, en la formación de frutos es de 120 ppm y en la producción es de 110 ppm (Burgueño, 1994). En cuanto a Mn el intervalo de concentración es de 26 a 300 ppm (Piggott, 1988). El valor óptimo de Cu durante la floración es 30 ppm y en la formación y producción de frutos es de 25 ppm (Burgueño, 1994). Con respecto a Zn la concentración adecuada va de 31 a 150 ppm (Arcos *et al.*, 1998). El intervalo de suficiencia del contenido de B

en hojas de *Capsicum annuum* es de 40 a 100 ppm en la fase vegetativa intermedia y de 30 a 100 al inicio de la fructificación. El contenido de Fe, Mn y Zn están dentro de los intervalos mencionados, el Cu tuvo valores inferiores en tanto que B tuvo valores muy altos durante el ciclo del cultivo (Cuadro 8).

CUADRO 8. Contenido de Fe, Mn, Cu, Zn y B en la biomasa aérea total en plantas de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) cultivadas en hidroponía. Chapingo, México, 2005.

Etapa fenológica	Fe	Mn	Cu	Zn	B
	(ppm)				
PBTP	273.5	301.1	3.3	59.5	456.1
FLO	247.6	294.3	2.8	64.4	331.9
FRU	153.7-169.3	239.3-195.3	2.3-1.6	52.7-32.2	288.1-254.9
MPC	190.8-111.1	176.9-125.1	1.9-1.5	21.0-10.6	299.6-227.02

PBTP:Primera bifurcación del tallo principal; FLO:Floración; FRU:Fructificación; MPC:Madurez y producción comercial.

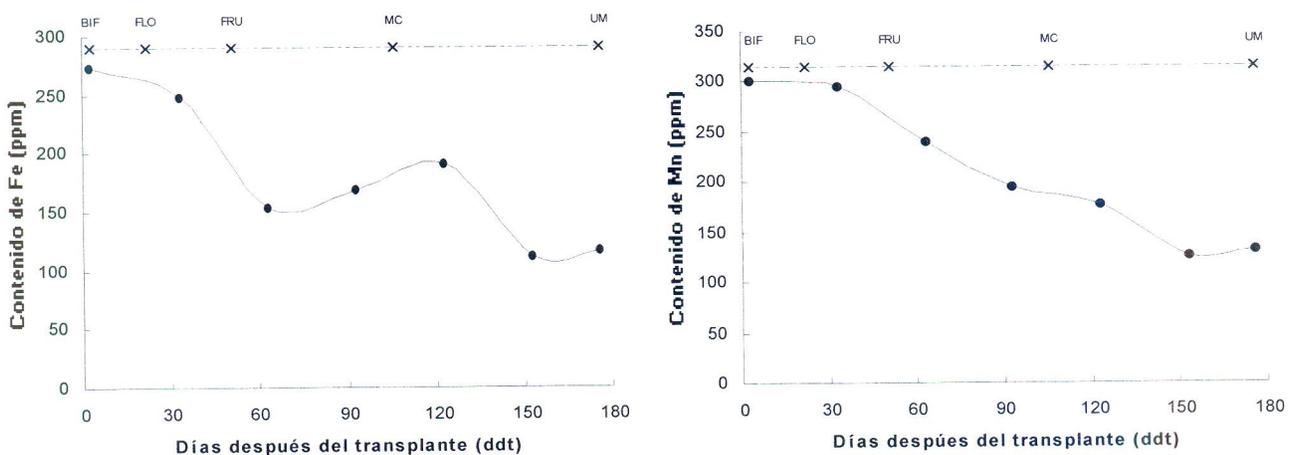


FIGURA 8. Contenido promedio de Fe y Mn en la biomasa aérea total del cultivo de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) cultivado en hidroponía. Chapingo, México, 2005.

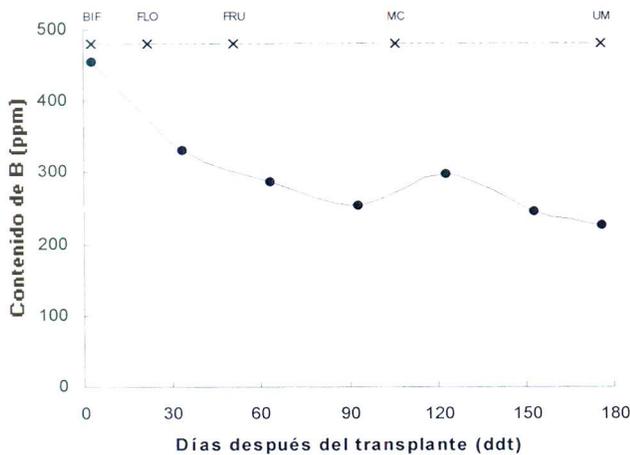
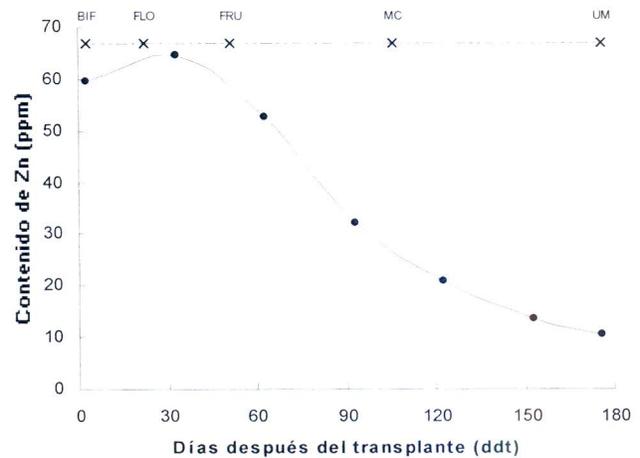
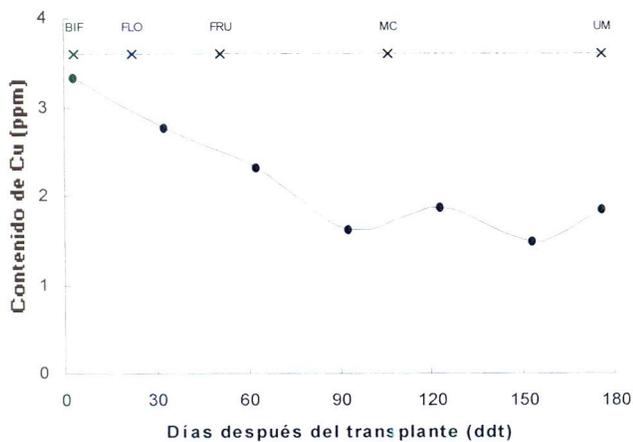


FIGURA 9. Contenido promedio de Cu, Zn y B en la biomasa aérea total del cultivo de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) cultivado en hidroponía. Chapingo, México, 2005.

La extracción de Fe, Mn, Cu y B comienza a incrementarse considerablemente durante la fructificación. El Zn tuvo tal comportamiento al inicio de la fructificación (Figura 10). Este comportamiento se debe a que durante el amarre de los primeros frutos comienza un periodo de fuerte demanda de nutrimentos. La máxima velocidad de acumulación (punto de inflexión de la curva) de Fe, Mn, Cu, Zn y B se tuvo a 85, 83, 106, 54 y 94 ddt con 32.0, 35.0, 0.48, 3.5 y 64.0 mg, respectivamente. Fe, Mn y B tuvieron su máxima velocidad de extracción en plena fructificación, Zn al inicio de fructificación y Cu al inicio de la madurez comercial (Figura 10).

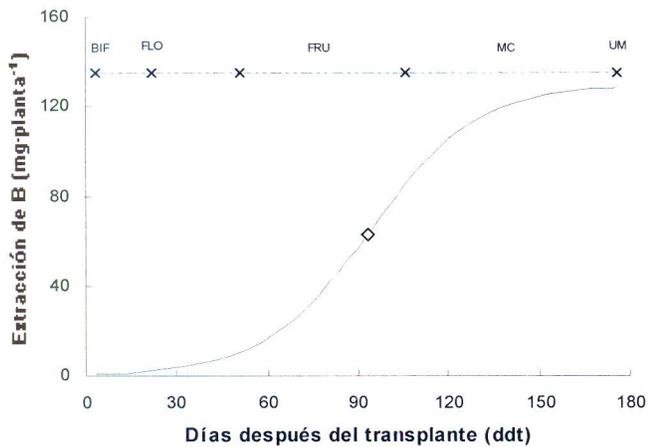
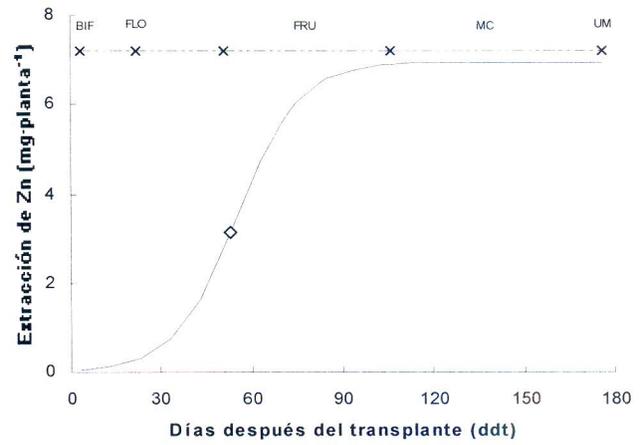
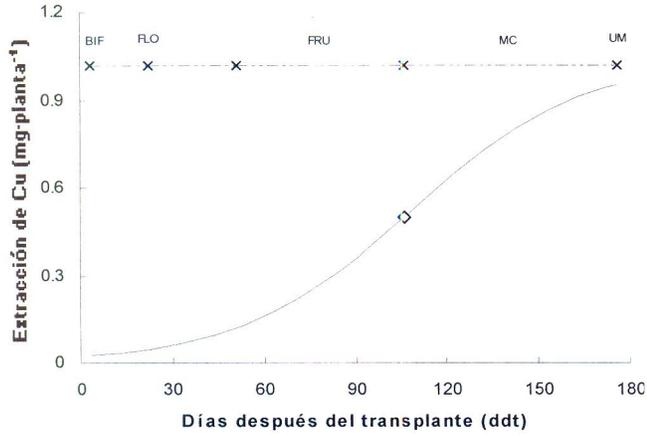
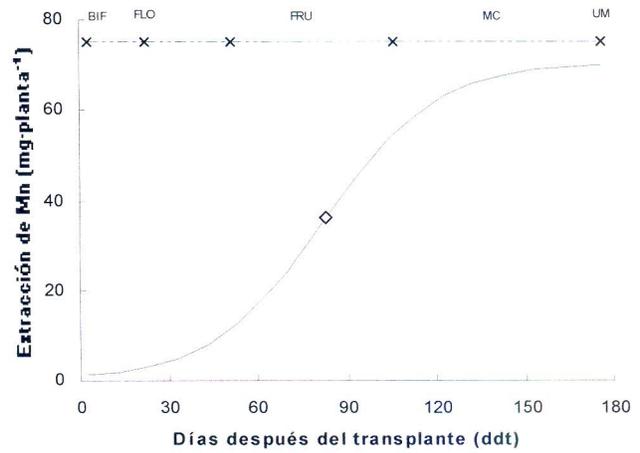
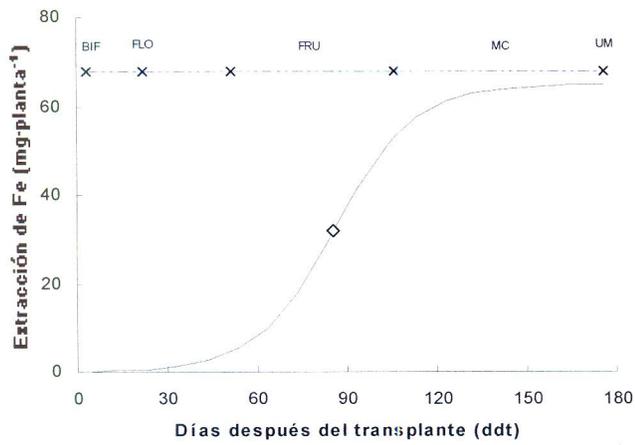


FIGURA 10. Extracción de Fe, Mn, Cu, Zn y B en la biomasa aérea total del cultivo de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) cultivado en hidroponía. Chapingo, México, 2005. \diamond Punto de inflexión.

Con el rendimiento por planta (3.24 kg) y la extracción de cada nutrimento al final del ciclo del cultivo (Cuadro 9), se determinó que para producir una tonelada de fruto fresco de chile manzano se requiere 19.97 g de Fe, 21.6 g de Mn, 0.29 g de Cu, 2.13 g de Zn y 39.75 g de B.

CUADRO 9. Extracción de Fe, Mn, Cu, Zn y B en la biomasa aérea total en plantas de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) cultivadas en hidroponía. Chapingo, México, 2005.

Etapa fenológica	Fe	Mn	Cu	Zn	B
	----- mg -----				
PBTP	0.13	1.1	0.03	0.05	0.76
FLO	0.6-2.6	3.1-8.1	0.05-0.095	0.3-1.7	2.3-6.9
FRU	5.2-53.3	12.7-54.9	0.13-0.499	3.1-6.9	11.6-85.7
MPC	57.4-64.7	58.9-70.0	0.563-0.954	6.9	96.4-128.8

PBTP:Primera bifurcación del tallo principal; FLO:Floración; FRU:Fructificación; MPC:Madurez y producción comercial.

La máxima tasa absoluta de absorción (TAA) de Fe, Mn y B se tuvo a 85, 83 y 94 ddt con 1.21, 0.92 y 1.83 mg·día⁻¹, respectivamente. Dichos valores se tuvieron en plena fructificación cuando los frutos constituyen la principal demanda de nutrimentos. En tanto que la máxima TAA de Zn (0.17 mg·día⁻¹) se tuvo al inicio de la fructificación y Cu (0.009 mg·día⁻¹) al iniciar la madurez comercial (Figura 11); es decir el mayor requerimiento de Fe, Mn, Zn y B ocurre en la etapa de fructificación, en el caso de Cu ocurre en la madurez comercial (Figura 11).

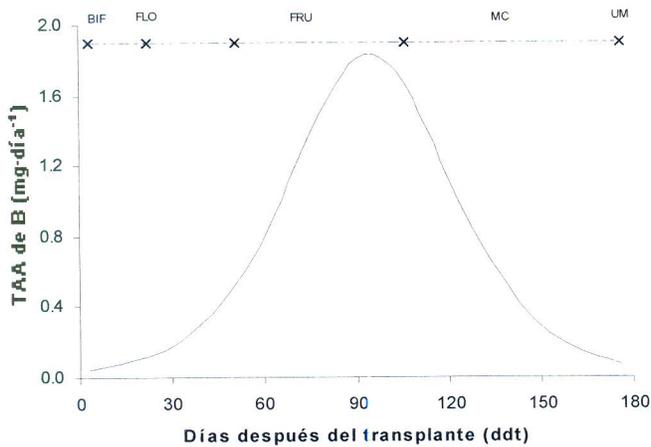
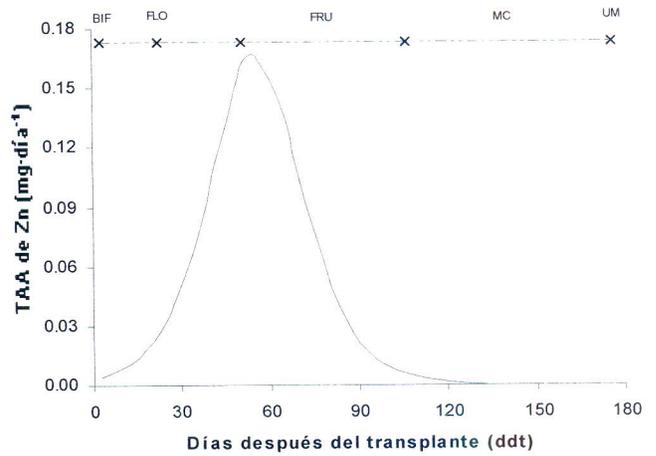
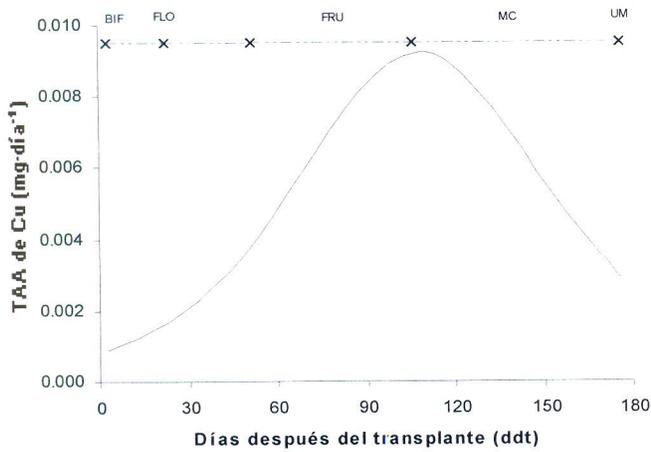
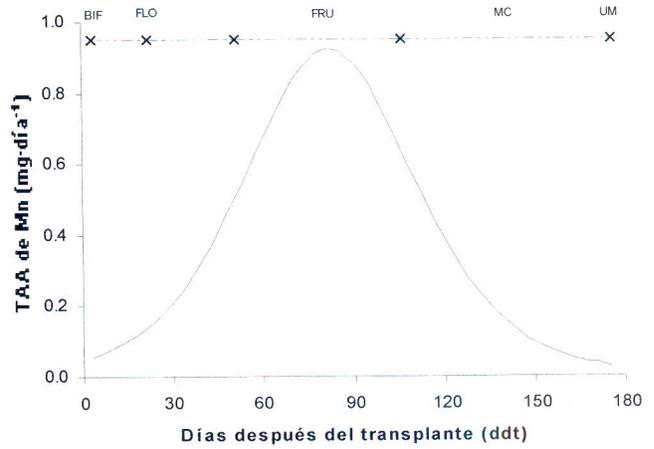
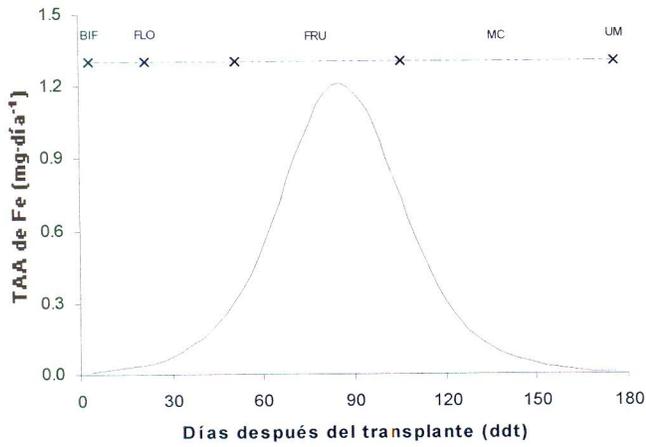


FIGURA 11. Tasa absoluta de absorción (TAA) de Fe, Mn, Cu, Zn y B en plantas de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) cultivadas en hidroponía. Chapingo, México, 2005.

VI. CONCLUSIONES

Los frutos acumularon el 60 % de la biomasa aérea al final del ciclo del cultivo y también mostraron el valor máximo de tasa absoluta de crecimiento ($4.78 \text{ g}\cdot\text{día}^{-1}$) y tasa de asimilación neta ($0.204 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$) durante la madurez comercial, en tanto que durante la fructificación tuvieron los valores máximos de tasa relativa de crecimiento ($0.054 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$) y razón de área foliar ($790.88 \text{ cm}^2\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$).

Los valores de contenido nutrimental determinados en las plantas de chile manzano, durante la bifurcación del tallo principal, floración, fructificación y madurez y producción comercial, fueron: 4.35, 4.31, 2.76 a 3.58, 2.12 a 2.41 % de N; 0.43, 0.44, 0.29 a 0.33, 0.21 a 0.26 % de P; 3.97, 4.32, 3.1 a 3.37, 1.39 a 2.18 % de K; 4.14, 3.54, 2.57 a 2.69, 1.4 a 1.97 % de Ca; 2.48, 2.2, 1.3 a 2.06, 0.43 a 0.69 % de Mg; 273.5, 247.6, 153.7 a 169.3, 111.1 a 190.8 ppm de Fe; 301.1, 294.3, 195.3 a 239.3, 125.1 a 176.9 ppm de Mn; 3.3, 2.8, 1.6 a 2.3, 1.5 a 1.9 ppm de Cu; 59.5, 64.4, 32.2 a 52.7, 10.6 a 21 ppm de Zn; 456.1, 331.9, 254.9 a 288.1, 227.02 a 299.6 ppm de B, respectivamente.

La mayor velocidad de extracción de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn y B ocurrió durante la etapa de fructificación, en tanto que la extracción por planta al final del ciclo fue de 12.3, 1.23, 7.95, 7.61, 2.56 g de N, P, K, Ca y Mg, así como 64.7, 70.0, 0.954, 6.9 y 128.8 mg de Fe, Mn, Cu, Zn y B, respectivamente. Por lo que para producir una tonelada de fruto fresco de chile manzano las cantidades requeridas son: 3.8, 0.38, 2.45, 2.35 y 0.79 kg de N, P, K, Ca y Mg, así como 19.97, 21.6, 0.29, 2.13 y 39.75 g de Fe, Mn, Cu, Zn y B, respectivamente. Tanto el comportamiento de la extracción nutrimental como la acumulación de materia seca fueron de tipo sigmoideal.

La máxima tasa absoluta de absorción de N, P, K, Ca, Fe, Mn, y B por el cultivo de chile manzano se presentó en plena fructificación con 0.13, 0.014, 0.15, 0.13 , 0.00121, 0.00092 y 0.00183 g·día⁻¹, respectivamente. En tanto que la máxima tasa absoluta de absorción de Mg y Zn se tuvo al inicio de la fructificación con 0.072 y 0.00017 g·día⁻¹ y de Cu al inicio de la madurez comercial con 0.000009 g·día⁻¹.

VII. LITERATURA CITADA

- ARCOS C., G.; HERNÁNDEZ H., J.; URIZA A., D.; POZO C.; OLIVERA A. 1998. Tecnología para producir Chile jalapeño en la planicie costera del Golfo de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Folleto Técnico 24. Veracruz, México. 206 p.
- BEADLE, C.L. 1988. Análisis del Crecimiento Vegetal. pp. 17-21. *In: Técnicas en Fotosíntesis y Bioproductividad*. Traducción al español de la 2da. edición en inglés. Patrocinada por el Programa Ambiental de las Naciones Unidas (UNEP) y Colegio de Postgraduados. Ed. Futura. Chapingo, México.
- BEESE F.; HORTON R.; WIERENGA P. J. 1982. Growth and yield response of chili pepper to trickle irrigation. *Agronomy Journal* 74:556-561
- BIDWELL, R.G.S. 1979. Fisiología Vegetal. 2a. Edición. Traducido al español por Guadalupe G. Cano y Cano y Manuel Rojas Garcidueñas. A.G.T. Editor S. A. D.F., México. 784 p.
- BROWN D., A.; SCOUT H., D. 1986. Dependence of Crop Growth and Yield on Root Development Activity *in: Roots nutrient and water influx, and plant growth*. Special Bulletin No. 49. ASA, USA. 135 p.
- BURGUEÑO H.; URIBE F.; VALENZUELA M. 1994. La fertirrigación de cultivos hortícola con acolchado plástico. Vol. 1. BURSAG S. A de C. V. Sinaloa, México. 46 p.
- BURGUEÑO, H. 1995. La fertirrigación en cultivos hortícola con acolchado plástico. Vol. 2. BURSAG S. A de C. V. Sinaloa, México. 71 p.

- DAVIDESCU D. D.; DAVIDESCU D. V. 1982. Evaluation of fertility by plant and soil analysis. Editura Academiei. Bucaresti, Romania.
- ETCHEVERS, J. D. 1997. Análisis de suelo, planta y agua como herramienta de decisión para el manejo de los cultivos. p: 81-110. En: Curso Nacional de Fertirrigación. Universidad Autónoma de Sinaloa y Fundación Produce Sinaloa. Culiacán, Sinaloa, México.
- 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.
- EVANS, C. E. 1972. The Quantitative Analysis of Plant Growth. University of California Press. Berkeley. 253 p.
- FAGERIA N.; BALIGAR V.; JONES CH. 1997. Growth and Mineral Nutrition of field Crops. Ed. Marcel Decker Inc. New York, USA. 476 p.
- GALVIS S. A.; ETCHEVERS J. D.; RODRÍGUEZ J. S. 1993. Estimación de los rendimientos máximos alcanzables de maíz en áreas de temporal del estado de Tlaxcala. Terra 11: 93-99.
- GARDNER F., P.; BRENT P., R.; MITCHELL R., L. 1985. Physiology of Crop Plants. Iowa State University Press. 327 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, Taiwán. No. 441, 9. 9 p.

- HSIAO, T. C. 1982. Spacing canopy development and light interception. Agron. Abst. 99 p.
- HUNT, R. 1978. Plant growth analysis: studies in biology. No. 96. Edward Arnold (Publisher). London. 67 p.
- HUNT, R. 1982. Plant growth curves: the functional approach to plant growth analysis. Edward Arnold (Publisher). Ltd. London. 248 p.
- HUNT, R. 1990. Basic growth analysis: plant growth analysis for beginners. Academic Division Unwin Hyman Ltd. London, England. 112 p.
- JONES J. R.; WOLF B., J.; MILLS H., A. 1991. Plant Analysis Handbook. Micro-Macro Publishing, Inc. USA. 213 p.
- KVET J.; ONDOK P.; NECAS J.; JARVIS P. 1971. Method of growth analysis In: Plant photosynthetic production, manual of methods. Sestak, Z., Catski and P. G. Jarvis (eds.) Pr. W. Junk N. V. Publishers. The Hague. pp. 343-391.
- LEAL, L., V. M. 1999. Estudio fisiológico y anatómico de la proliferación en maíz (*Zea mays* L.). Tesis de Doctor en Ciencias. IREGEP. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 95 p.
- MARTÍNEZ-CAÑADAS M., A.; MARTÍNEZ-SÁNCHEZ J., V.; ALCARAZ F., C. 1985. Sistemática de muestreo foliar en plantas de pimiento dulce cultivadas en invernadero bajo riego localizado. II. Influencia de la posición de la hoja en la planta sobre la composición mineral. Anales de Edafología y Agrobiología. 44. (3/4): 513-527

- MENGEL K.; KIRKBY E., A. 1978. Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute. Switzerland. 593 p.
- MITHORPHE F., L.; MOORBY J. 1982. An Introduction to Crop Physiology. Cambridge University. Press. 202 p.
- MORALES, G. D. 1999. Nutrición del cultivo de chile (*Capsicum annum* L.). Dinámica nutrimental, fertirrigación nitrogenada y fertilización basal. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo. México. 145 p.
- NÚEZ V., F.; GIL R.; COSTA J. 1996. El Cultivo de Pimientos, Chiles y Ajíes. Tercera Edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 607 p.
- PIGGOTT, T. J. 1988. Vegetable Crops. pp: 148-187. *In*: Plant Análisis, and Interpretation Manual. Reuter, J.D.; Robins, B. J. (eds.). Inakata Press. Melbourne, Australia.
- RADFORD P. J. 1967. Growth analysis formulae: Their use and abuse. *Crop Sci.* 7:171-175.
- RAMÍREZ D., P. J. 1985. Análisis de crecimiento y componentes del rendimiento de los híbridos de maíz H-30 y H-31 y de sus progenitores. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 181 p.
- RESH, H. 2001. Cultivos Hidropónicos. Nuevas Técnicas de Producción. Quinta Edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 558 p.
- RETA, S. D. 1986. Crecimiento y aprovechamiento de la energía solar del frijol, (*Phaseolus vulgaris* L.) en asociación con maíz (*Zea mays* L.). Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo. México. 206 p.

- REUTER, D.J.; ROBINSON, J. B. 1986. Plant analysis and interpretation manual. Inkata Press. Sydney, Australia.
- RICHARD, F. 1959. A flexible growth function empirical use. J. Exp. Bot. 10:290-300.
- RINCÓN L.; SÁEZ J., BALSALOBRE E.; PELLICER C. 1995. Crecimiento y absorción de nutrientes del pimiento grueso en cultivo bajo invernadero. Investigación Agraria, Producción y Protección Vegetales. 10 (1):47-59.
- ROBERTS, M. J.; LONG, S. P.; TIESZEN, L. L.; BEADLE, C. L. 1985. Measurement of plant biomass and net primary production. pp 1-19. *In: Techniques y bioproductivity and photosynthesis.* Coombs, J., D. O. Hall, S. P. Long and J. M. O. Scurlock (eds.) edit. Pergamon Press.
- RUSELLE M. P.; WILHELM W. W.; OLSON R. A.; POWER J. F. 1984. Growth analysis based on degrees days. Crop Sci. 24:28-32.
- SALISBURY F., B.; ROSS C., W. 1994. Fisiología Vegetal. Ed. Iberoamérica S.A de C.V. D.F., México. 759 p.
- SAS, 1999. SAS/STAT User's Guide: Statistics. Versión 8th ed. SAS institute, Inc. Cary, N.C. 956 p.
- SESTAK, A.; CATSKI, J.; JARVIS P. G. 1971. Plant Photosynthetic Production: Manual of methods. W. Junk N., publisher the Hague. 343-391.

STEINER, A. 1984. The Universal Nutrient Solution. pp. 633–649. *In*: Proceedings of the 6th International Congress on Soils Culture. ISOSC. Wageningen, The Netherlands.

TEASDALE J. R.; ABDUL-BAKI. 1997. Growth analysis of tomatoes in black polyethylene and hairy vetch productions systems. *HortScience* 32:659-663

TORRES, N. W. 1984. Análisis del crecimiento de las plantas. Cultivos tropicales. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INIA). Revista del Ministerio de Educación Superior de la República de Cuba. 38 p.

WESTERMAN, R. L. (ED.). 1990. Soil testing and plant analysis. Third ed. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.