

Universidad Autónoma Chapingo

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

**CRECIMIENTO DEL CHILE MANZANO
(*Capsicum pubescens* R. y P.) EN CUATRO SOLUCIONES
NUTRITIVAS BAJO INVERNADERO**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA:

FITOTECNIA

FERNANDO VICENTE BARRAZA ALVAREZ

BIB. 94020

Chapingo, México, septiembre del 2000

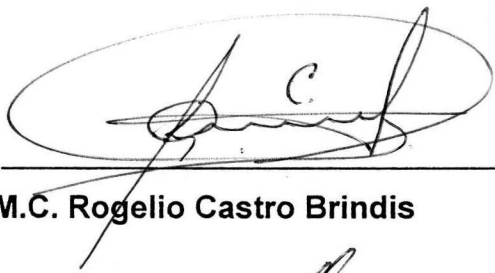


CRECIMIENTO DEL CHILE MANZANO
(*Capsicum pubescens* R. y P.) EN CUATRO SOLUCIONES NUTRITIVAS
BAJO INVERNADERO

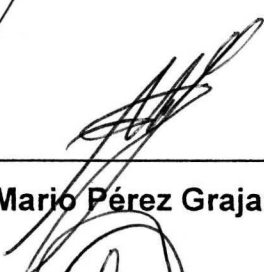
Tesis realizada por **Fernando Vicente Barraza Alvarez** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

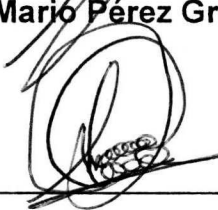
DIRECTOR: _____


M.C. Rogelio Castro Brindis

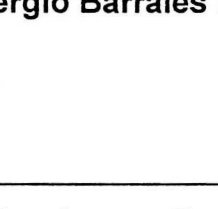
ASESOR: _____


M.C. Mario Pérez Grajales

ASESOR: _____


Dr. José Sergio Barrales Domínguez

ASESOR: _____


Dr. Carlos Acosta Zamudio †



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
CHAPINGO
Chapingo, Méx.

CRECIMIENTO DEL CHILE MANZANO
(*Capsicum pubescens* R. y P.) EN CUATRO SOLUCIONES NUTRITIVAS
BAJO INVERNADERO

El jurado que revisó y aprobó el examen de grado de **Fernando Vicente Barraza Alvarez** autor de la presente tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura estuvo constituido por:

PRESIDENTE: _____

M.C. Rogelio Castro Brindis

ASESOR: _____

M.C. Mario Pérez Grajales

ASESOR: _____

Dr. José Sergio Barrales Domínguez

ASESOR: _____

Dr. Carlos Acosta Zamudio



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
CHAPINGO
Chapingo, Méx.

A. 37197

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo por permitirme obtener el grado de Maestro en Ciencias en Horticultura.

Al Dr. Alejandro F. Barrientos Priego por todas sus observaciones al proyecto de tesis y colaboración permanente y oportuna como Coordinador de la Maestría en Ciencias en Horticultura.

Al M.C. Rogelio Castro Brindis por la excelente dirección dada al presente trabajo en todas sus fases y todo su apoyo, atención y asesoría permanentes.

Al M.C. Mario Pérez Grajales, por su profesional y acertada asesoría desde el comienzo de la idea de este trabajo y por su amplia amistad, colaboración y apoyo.

Al Dr. José Sergio Barrales Domínguez por su valiosa amistad, asesoría y colaboración durante la realización de esta investigación.

Al Dr. Carlos Acosta Zamudio por su gran amistad, asesoría y colaboración, que en paz descanse.

Al Programa de Investigación y Mejoramiento Genético del Chile Manzano del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, por el apoyo brindado al presente trabajo.

A la Srta. Alejandra Varela Rojo, por toda su colaboración y apoyo en la Coordinación de Posgrado del Departamento de Fitotecnia de la UACH.

A la Srta. Angela Barrera Cortez, por su esmerada colaboración en el Laboratorio de Fisiología de Frutales de la UACH.

Al Sr. Jorge Palafox Caballero por su valiosa colaboración y atención en el Laboratorio de Fenología Agrícola de la UACH.

Al Ingeniero José Luis Contreras Vivar por toda su ayuda y apoyo en el Laboratorio de Cómputo del Departamento de Fitotecnia de la UACH.

A la Srta. Lilia Escárcega T. por su apoyo en el Laboratorio de Cómputo del Departamento de Fitotecnia de la UACH.

Al M.C. José Luis Escárcega T. por toda su colaboración en la Coordinación de Posgrado del Departamento de Fitotecnia de la UACH.

A la Sra. Gloria García I. por toda su colaboración en la Coordinación de Posgrado del Departamento de Fitotecnia de la UACH.

A la Universidad de Córdoba y su Facultad de Ciencias Agrícolas, Montería,
Córdoba, Colombia, por todo su apoyo y colaboración.

DEDICATORIA

**A la Santísima siempre Virgen Nuestra Señora de Guadalupe,
Reina de México, Madre de los Pueblos de América Latina.**



**Ayate sagrado que se conserva en la Basílica de Santa María de Guadalupe,
Distrito Federal, México.**

1531-2000: 469 años del milagro.

DATOS BIOGRÁFICOS

El autor nació en Barranquilla, la “Puerta de Oro de Colombia”, el 18 de junio de 1968. Siempre ha radicado en la ciudad de Montería, capital ganadera del mismo país. Realizó la primaria en el colegio “Paraíso Infantil”. De allí en adelante hizo sus estudios de Bachiller Académico en el colegio LA SALLE, egresando en 1985. Inició su formación técnica en el Servicio Nacional de Aprendizaje “SENA”, obteniendo Certificado de Aptitud Profesional como Oficial de Construcción, entre los años 1987 y 1988. Durante el año de 1989 se desempeñó en esta actividad, al tiempo que obtuvo en la misma institución créditos de Teneduría de libros, Cartera, Tesorería, Activos Fijos, Inventarios, Nómina y Estados Financieros, entre otros. En 1990 ingresó a la Universidad de Córdoba, para obtener el título de Ingeniero Agrónomo en el año 1995. De allí en adelante se inició como productor de hortalizas, principalmente en habichuela. En 1996 se graduó en la misma universidad como Especialista en Manejo de Suelos y Aguas e ingresó como docente de tiempo completo de la Facultad de Ciencias Agrícolas en las cátedras de Propagación de plantas, Producción de Cultivos de Hortalizas y Producción de Cultivos Frutales. Ese mismo año participó en los estudios agronómicos y de suelos de los proyectos de riego y drenaje “Marimba”, “El Siglo” y “San José” para el Instituto Nacional de Adecuación de Tierras “INAT”.

CONTENIDO

	Página
ÍNDICES DE CUADROS DEL TEXTO	xiii
ÍNDICE DE CUADROS DEL ANEXO	xvii
ÍNDICE DE FIGURAS DEL TEXTO	xxvii
ÍNDICE DE FIGURAS DEL ANEXO	xxx
RESUMEN	xxxi
ABSTRACT	xxxiii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos	2
1.2. Hipótesis	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Aspecto general	4
2.2. Antecedentes	4
2.2.1. Importancia del chile en México	4
2.2.2. Situación actual y futuro	7
2.3. Composición nutritiva del chile manzano	9
2.4. Origen y distribución	10
2.5. Clasificación botánica	12
2.6. Descripción de la especie	13
2.7. El crecimiento vegetal	15
2.7.1. Aspecto general	15
2.7.2. Factores ambientales que influyen en el crecimiento vegetal	16
2.7.3. Cinética del crecimiento vegetal	17
2.7.4. Metodología para el estudio del crecimiento vegetal	19
2.7.5. Análisis del crecimiento vegetal	22

2.7.5.1. Tasa relativa de crecimiento	24
2.7.5.2. Relación de área foliar	24
2.7.5.3. Tasa de asimilación neta	24
2.7.5.4. Índice de área foliar	25
2.7.5.5. Tasa de crecimiento del cultivo	26
2.7.5.6. Duración del área foliar	26
2.7.5.7. Duración de la biomasa	26
2.8. Crecimiento y desarrollo de la planta de chile	26
2.8.1. Etapas de crecimiento de la planta de chile	26
2.8.1.1. Etapa de desarrollo de plántula hasta la primera bifurcación	27
2.8.1.2. Etapa de rápido desarrollo de brotes y formación de flores	27
2.8.1.3. Etapa de lento crecimiento y desarrollo de frutos	27
2.8.2. Crecimiento del chile manzano en Chapingo, Estado de México	28
2.8.3. Tasa de asimilación y crecimiento vegetativo en chile	29
2.9. Suministro de nutrimentos y crecimiento	29
2.9.1. Importancia	29
2.9.2. Estudios del crecimiento vegetal de acuerdo al suministro de nutrimentos minerales	31
2.9.2.1. Liebig: Ley del mínimo	32
2.9.2.2. Blackman: factores óptimos y limitantes	32
2.9.2.3. Mitscherlich: ley de los rendimientos decrecientes	33
2.9.2.4. Macy: porcentajes críticos	35
2.10. Importancia de los nutrimentos minerales	35
2.10.1 Aspecto general	35
2.10.2. Los elementos esenciales para las plantas	36
2.10.3. Funciones de los elementos esenciales en las plantas	38
2.10.3.1. Estructura básica: carbono, hidrógeno y oxígeno	39
2.10.3.1.1. Carbono	39
2.10.3.1.2. Hidrógeno	39
2.10.3.1.3. Oxígeno	40
2.10.3.2. Nitrógeno	40

2.10.3.3. Fósforo	41
2.10.3.4. Potasio	42
2.10.3.5. Calcio	43
2.10.3.6. Magnesio	43
2.10.3.7. Hierro	44
2.10.3.8. Manganeseo	45
2.10.3.9. Zinc	45
2.10.3.10. Boro	46
2.10.3.11. Cobre	46
2.10.3.12. Molibdeno	47
2.10.3.13. Cloro	47
2.11. Extracción de nutrimentos por el cultivo del chile	48
2.12. Fertirrigación en el cultivo de chile	51
2.12.1. Equipo básico para la fertirrigación del chile	51
2.12.2. Fertirrigación del chile manzano en invernadero	53
2.13. Solución nutritiva universal de Steiner	54
2.14. Análisis foliares	57
2.14.1. Aspecto general	57
2.14.2. Análisis foliar en cultivo de chile	58
3. MATERIALES Y MÉTODOS	61
3.1. Localización y ubicación geográfica	61
3.2. Material vegetal	61
3.3. Diseño experimental y de tratamientos	61
3.4. Variables estudiadas	62
3.5. Análisis estadístico de las variables	63
3.6. Curvas de comportamiento de las variables	63
3.7. Cálculo de valores de los índices de crecimiento	64
3.8. Conducción del experimento	65
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	68
4.1. Fases fenológicas del cultivo	68
4.2. Altura de planta	70

4.3. Diámetro del tallo principal	72
4.4. Número de hojas	73
4.5. Área foliar	75
4.6. Peso seco del tallo	78
4.7. Peso seco de hojas	80
4.8. Peso seco de flores	81
4.9. Peso seco de frutos	84
4.10. Peso seco total	87
4.11. Producción por corte	89
4.12. Índices de crecimiento	94
4.12.1. Tasa de crecimiento del cultivo (TCC)	94
4.12.2. Tasa de asimilación neta	97
4.12.3. Tasa relativa de crecimiento (TRC)	99
4.12.4. Índice de área foliar	101
4.12.5. Duración del área foliar (DAF) basada en el índice de área foliar	103
4.12. Índice de cosecha	104
5. CONCLUSIONES	107
6. LITERATURA CITADA	108
7. ANEXOS	116

ÍNDICE DE CUADROS DEL TEXTO

		Página
Cuadro 1.	Composición nutritiva del chile manzano (Werner, 2000).	10
Cuadro 2.	Fases de crecimiento del chile manzano en Chapingo, México	28
Cuadro 3.	Cantidad de nutrimento o factor requerido para conseguir la mitad del rendimiento (unidad Baule), como se aplica en la ecuación de Mitscherlich, según Gardner <i>et al.</i> (1990).	34
Cuadro 4.	Niveles foliares de referencia para cultivo de chile, según Cadahía (1998, citado por Nuez <i>et al.</i> , 1996)	48
Cuadro 5.	Kg de nutrimentos extraídos por las plantas de chile por tonelada de fruto fresco producido	49
Cuadro 6.	Extracción periódica acumulativa de N, P ₂ O ₅ , K ₂ O, Ca y Mg del chile Bell-pepper de invernadero para una producción de 10 kg·m ⁻² , según Rincón <i>et al.</i> (1993, citados por Nuez <i>et al.</i> , 1996).	50
Cuadro 7.	Cantidad de fertilizantes en gramos utilizados para preparar 1,000 litros de solución nutritiva para irrigar plantas de chile manzano establecidas en maceta y en invernadero (Pérez y Castro, 1998).	54
Cuadro 8.	Fórmula de la solución nutritiva universal de Steiner, Steiner (1984).	56
Cuadro 9.	Solución nutritiva para propósitos investigativos, Steiner (1984).	56

Cuadro 10.	Concentraciones de micronutrientes en la solución nutritiva universal de Steiner (Steiner, 1984).	57
Cuadro 11.	Niveles de macro y microelementos en follaje de chile, Arcos <i>et al.</i> (1998).	59
Cuadro 12.	Niveles críticos de N, P y K para chiles picosos, Grageda (1999).	60
Cuadro 13.	Cantidades de fertilizantes, expresadas en gramos, requeridas para preparar 200 litros de solución nutritiva de Steiner al 50, 75, 100 y 125%	62
Cuadro 14.	Ecuaciones para el cálculo de los valores de los índices de crecimiento y cosecha, basadas en Gardner <i>et al.</i> (1990).	64
Cuadro 15.	Fases fenológicas y eventos de desarrollo del chile manzano. Chapingo, México, 1999-2000.	68
Cuadro 16.	Efecto de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner en la altura de plantas de chile manzano, a los 63 días después del trasplante, cultivadas bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.	71
Cuadro 17.	Efecto de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner sobre el número de hojas de plantas de chile manzano, a los 168 y 210 días después del trasplante, cultivadas bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.	75
Cuadro 18.	Efecto de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner sobre el área foliar de plantas de chile manzano, a los 126 días después del trasplante, cultivadas bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.	76

Cuadro 19.	Efecto de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner sobre el área foliar de plantas de chile manzano, a los 147, 168, 189 y 210 días después del trasplante, cultivadas bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.	77
Cuadro 20.	Efecto de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner sobre el peso seco del tallo de plantas de chile manzano, a los 168 y 189 días después del trasplante, cultivadas bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.	79
Cuadro 21.	Efecto de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner sobre el peso seco de hojas de plantas de chile manzano, a los 147 y 168 días después del trasplante, cultivadas bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.	81
Cuadro 22.	Efecto de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner sobre el peso seco de flores de plantas de chile manzano, a los 147 días después del trasplante, cultivadas bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.	83
Cuadro 23.	Efecto de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner sobre el peso seco de frutos de plantas de chile manzano, a los 63, 84, 105, 126, 147, 168, 189 y 210 días después del trasplante, cultivadas bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.	85
Cuadro 24.	Efecto de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner sobre el peso seco total de plantas de chile manzano, a los 105, 147 y 168 días después del trasplante, cultivadas bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.	88
Cuadro 25.	Efecto de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner sobre la producción por corte a los 141, 169, 188, 195, 203 y 224 días después del trasplante de chile manzano cultivado bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.	90

Cuadro 26.	Producción de frutos por corte y total en chile manzano cultivado bajo invernadero y sometido a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	93
Cuadro 27.	Efecto de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner sobre la producción total de plantas de chile manzano cultivadas bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.	94
Cuadro 28.	Modelos matemáticos del peso seco total, PST, con respecto al tiempo y ecuaciones de la derivada del peso seco total con respecto al tiempo, $dPST/dt$, para plantas de chile manzano cultivadas bajo invernadero y sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	95
Cuadro 29.	Valores de la derivada del peso seco total con respecto al tiempo ($dPST/dt$) para los cálculos de los índices de crecimiento de plantas de chile manzano sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	96
Cuadro 30.	Duración del área foliar (DAF) por tratamientos de plantas de chile manzano a los 210 días después del transplante y rendimiento total acumulado. Chapingo, México, 1999-2000.	104

ÍNDICE DE CUADROS DEL ANEXO

	Página
Cuadro 1A. Análisis de varianza para altura de plantas de chile manzano (a los 21 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	116
Cuadro 2A. Análisis de varianza para altura de plantas de chile manzano (a los 42 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	116
Cuadro 3A. Análisis de varianza para altura de plantas de chile manzano (a los 63 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	117
Cuadro 4A. Análisis de varianza para altura de plantas de chile manzano (a los 84 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	117
Cuadro 5A. Análisis de varianza para altura de plantas de chile manzano (a los 105 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	117

Cuadro 6A. Análisis de varianza para altura de plantas de chile manzano (a los 126 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	118
Cuadro 7A. Análisis de varianza para altura de plantas de chile manzano (a los 147 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	118
Cuadro 8A. Análisis de varianza para altura de plantas de chile manzano (a los 168 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	118
Cuadro 9A. Análisis de varianza para altura de plantas de chile manzano (a los 189 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	119
Cuadro 10A. Análisis de varianza para altura de plantas de chile manzano (a los 210 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	119
Cuadro 11A. Análisis de varianza para el diámetro del tallo principal de plantas de chile manzano (a los 210 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	119
Cuadro 12A. Análisis de varianza para el número de hojas de plantas de chile manzano (a los 105 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	120

Cuadro 13A. Análisis de varianza para el número de hojas de plantas de chile manzano (a los 126 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	120
Cuadro 14A. Análisis de varianza para el número de hojas de plantas de chile manzano (a los 147 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	120
Cuadro 15A. Análisis de varianza para el número de hojas de plantas de chile manzano (a los 168 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	121
Cuadro 16A. Análisis de varianza para el número de hojas de plantas de chile manzano (a los 189 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	121
Cuadro 17A. Análisis de varianza para el número de hojas de plantas de chile manzano (a los 210 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	121
Cuadro 18A. Análisis de varianza para el área foliar de plantas de chile manzano (a los 105 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	122
Cuadro 19A. Análisis de varianza para el área foliar de plantas de chile manzano (a los 126 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	122

Cuadro 20A. Análisis de varianza para el área foliar de plantas de chile manzano (a los 147 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	122
Cuadro 21A. Análisis de varianza para el área foliar de plantas de chile manzano (a los 168 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	123
Cuadro 22A. Análisis de varianza para el área foliar de plantas de chile manzano (a los 189 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	123
Cuadro 23A. Análisis de varianza para el área foliar de plantas de chile manzano (a los 210 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	123
Cuadro 24A. Análisis de varianza para el peso seco del tallo de plantas de chile manzano (a los 126 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	124
Cuadro 25A. Análisis de varianza para el peso seco del tallo de plantas de chile manzano (a los 147 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	124
Cuadro 26A. Análisis de varianza para el peso seco del tallo de plantas de chile manzano (a los 168 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	124

Cuadro 27A. Análisis de varianza para el peso seco del tallo de plantas de chile manzano (a los 189 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	125
Cuadro 28A. Análisis de varianza para el peso seco del tallo de plantas de chile manzano (a los 189 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	125
Cuadro 29A. Análisis de varianza para el peso seco de hojas de plantas de chile manzano (a los 105 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	125
Cuadro 30A. Análisis de varianza para el peso seco de hojas de plantas de chile manzano (a los 126 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	126
Cuadro 31A. Análisis de varianza para el peso seco de hojas de plantas de chile manzano (a los 147 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	126
Cuadro 32A. Análisis de varianza para el peso seco de hojas de plantas de chile manzano (a los 168 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	126
Cuadro 33A. Análisis de varianza para el peso seco de hojas de plantas de chile manzano (a los 189 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	127

Cuadro 34A. Análisis de varianza para el peso seco de hojas de plantas de chile manzano (a los 210 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	127
Cuadro 35A. Análisis de varianza para el peso seco de flores de plantas de chile manzano (a los 147 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	127
Cuadro 36A. Análisis de varianza para el peso seco de flores de plantas de chile manzano (a los 168 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	128
Cuadro 37A. Análisis de varianza para el peso seco de flores de plantas de chile manzano (a los 189 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	128
Cuadro 38A. Análisis de varianza para el peso seco de flores de plantas de chile manzano (a los 210 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	128
Cuadro 39A. Análisis de varianza para el peso seco de frutos de plantas de chile manzano (a los 63 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	129
Cuadro 40A. Análisis de varianza para el peso seco de frutos de plantas de chile manzano (a los 84 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	129

Cuadro 41A. Análisis de varianza para el peso seco de frutos de plantas de chile manzano (a los 105 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	129
Cuadro 42A. Análisis de varianza para el peso seco de frutos de plantas de chile manzano (a los 126 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	130
Cuadro 43A. Análisis de varianza para el peso seco de frutos de plantas de chile manzano (a los 147 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	130
Cuadro 44A. Análisis de varianza para el peso seco de frutos de plantas de chile manzano (a los 168 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	130
Cuadro 45A. Análisis de varianza para el peso seco de frutos de plantas de chile manzano (a los 189 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	131
Cuadro 46A. Análisis de varianza para el peso seco de frutos de plantas de chile manzano (a los 210 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	131
Cuadro 47A. Análisis de varianza para el peso seco total de plantas de chile manzano (a los 105 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	131

Cuadro 48A. Análisis de varianza para el peso seco total de plantas de chile manzano (a los 126 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	132
Cuadro 49A. Análisis de varianza para el peso seco total de plantas de chile manzano (a los 147 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	132
Cuadro 50A. Análisis de varianza para el peso seco total de plantas de chile manzano (a los 168 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	132
Cuadro 51A. Análisis de varianza para el peso seco total de plantas de chile manzano (a los 189 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	133
Cuadro 52A. Análisis de varianza para el peso seco total de plantas de chile manzano (a los 210 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	133
Cuadro 53A. Análisis de varianza para la producción por corte de plantas de chile manzano (a los 141 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	133
Cuadro 54A. Análisis de varianza para la producción por corte de plantas de chile manzano (a los 162 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	134

Cuadro 55A. Análisis de varianza para la producción por corte de plantas de chile manzano (a los 169 días después del trasplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	134
Cuadro 56A. Análisis de varianza para la producción por corte de plantas de chile manzano (a los 188 días después del trasplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	134
Cuadro 57A. Análisis de varianza para la producción por corte de plantas de chile manzano (a los 195 días después del trasplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	135
Cuadro 58A. Análisis de varianza para la producción por corte de plantas de chile manzano (a los 203 días después del trasplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	135
Cuadro 59A. Análisis de varianza para la producción por corte de plantas de chile manzano (a los 224 días después del trasplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	135
Cuadro 60A. Análisis de varianza para la producción total de plantas de chile manzano sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	136
Cuadro 61A. Valores de la TCC ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$) durante los días después del trasplante de chile manzano sometido a cuatro niveles de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	136

Cuadro 62A. Valores de la TAN ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$) durante los días después del trasplante de chile manzano sometido a cuatro niveles de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	137
Cuadro 63A. Valores de la TRC ($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$) durante los días después del trasplante de chile manzano sometido a cuatro niveles de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	137
Cuadro 64A. Valores instantáneos del IAF durante los días después del trasplante de chile manzano sometido a cuatro niveles de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	138
Cuadro 65A. Valores medios de la DAF (días) durante los días después del trasplante de chile manzano sometido a cuatro niveles de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.	138

ÍNDICE DE FIGURAS DEL TEXTO

	Página
Figura 1. Comportamiento de la altura de planta de chile manzano en función de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, cultivadas bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.	71
Figura 2. Curva de comportamiento del diámetro del tallo principal de plantas de chile manzano en función de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, cultivadas bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.	73
Figura 3. Variación del número de hojas de plantas de chile manzano en función de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, cultivadas bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.	74
Figura 4. Área foliar de plantas de chile manzano en función de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, cultivadas bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.	78
Figura 5. Acumulación de peso seco del tallo de plantas de chile manzano en función de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, cultivadas bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.	80
Figura 6. Aumento del peso seco de hojas de plantas de chile manzano en función de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, cultivadas bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.	82

Figura 7.	Aumento del peso seco de flores de chile manzano en función de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, cultivadas bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.	83
Figura 8.	Acumulación de materia seca en frutos de chile manzano en función de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, cultivadas bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.	86
Figura 9.	Acumulación total de materia seca en plantas de chile manzano en función de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, cultivadas bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.	89
Figura 10.	Producción de frutos por corte de chile manzano en función de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, cultivado bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.	92
Figura 11.	Tasa de crecimiento del cultivo de chile manzano en función de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, cultivado bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.	96
Figura 12.	Tasa de asimilación neta del chile manzano en función de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, cultivado bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.	98
Figura 13.	Tasa relativa de crecimiento del chile manzano en función de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, cultivadas bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.	99
Figura 14.	Índice de área foliar de plantas de chile manzano en función de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, cultivadas bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.	102

Figura 15. Duración del área foliar de plantas de chile manzano en función de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, cultivadas bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000. 103

Figura 16. Índice de cosecha del chile manzano en función de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, cultivado bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000. 105

ÍNDICE DE FIGURAS DEL ANEXO

	Página
Figura 1A. Acumulación de peso seco total y curva ajustada en función de los días posteriores al trasplante para chile manzano sembrado bajo invernadero y sometido a fertirriego con la solución nutritiva de Steiner al 50%. Chapingo, México, 1999-2000.	139
Figura 2A. Acumulación de peso seco total y curva ajustada en función de los días posteriores al trasplante para chile manzano sembrado bajo invernadero y sometido a fertirriego con la solución nutritiva de Steiner al 75%. Chapingo, México, 1999-2000.	139
Figura 3A. Acumulación de peso seco total y curva ajustada en función de los días posteriores al trasplante para chile manzano sembrado bajo invernadero y sometido a fertirriego con la solución nutritiva de Steiner al 100%. Chapingo, México, 1999-2000.	140
Figura 4A. Acumulación de peso seco total y curva ajustada en función de los días posteriores al trasplante para chile manzano sembrado bajo invernadero y sometido a fertirriego con la solución nutritiva de Steiner al 125%. Chapingo, México, 1999-2000.	140
Figura 5A. Principales labores de manejo del experimento. A. Siembra de semillas en charolas, B. Trasplante a vasitos de unisel, C. Trasplante a bolsas plásticas negras en invernadero, D. Colocación de malla-sombra en invernadero, E. Colocación de tutores y rafias.	141
Figura 6A. Índices de madurez comercial en chile manzano (Color naranja característico y semillas negras).	142

CRECIMIENTO DEL CHILE MANZANO
(*Capsicum pubescens* R. y P.) EN CUATRO SOLUCIONES NUTRITIVAS
BAJO INVERNADERO

Fernando Barraza Alvarez¹, Rogelio Castro Brindis² Mario Pérez Grajales² y
J. Sergio Barrales D².

RESUMEN

Este trabajo se realizó en invernadero entre marzo de 1999 y marzo del 2000. El objetivo fue evaluar el efecto de varias concentraciones de la solución nutritiva de Steiner sobre el crecimiento de la planta de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) a través de las variables altura de planta, diámetro del tallo principal, número de hojas, área foliar, peso seco de cada órgano (tallo, hojas, flores, frutos) y peso seco total. Al mismo tiempo se estudió el efecto de la disponibilidad diferencial de nutrimentos sobre algunos índices fisiotécnicos de crecimiento como tasa de crecimiento del cultivo (TCC), tasa de asimilación neta (TAN), tasa relativa de crecimiento (TRC), índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar (DAF); también sobre el índice de cosecha, la producción por corte y el rendimiento total. Se utilizó el diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones y cuatro tratamientos, los cuales fueron: solución nutritiva de Steiner al 50, 75, 100 y 125%. Las plantas se sembraron en bolsas de plástico negro de 0.40 x 0.45 m, llenadas en su tercio inferior con tezontle grueso y en sus dos tercios restantes con una mezcla

¹ Profesor de la Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Córdoba, Montería, Colombia. Estudiante de Maestría en Ciencias en Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo, México.

² Profesor-investigador, Universidad Autónoma Chapingo, México.

formada por 75% de tezontle fino y 25% del sustrato "Growing-mix", separadas a 1 m entre hileras y 0.5 m entre plantas. Los resultados obtenidos indican que con cualquiera de las soluciones empleadas, se obtienen los mismos resultados en cuanto al crecimiento en altura de planta y diámetro del tallo principal. La solución nutritiva de Steiner al 125% maximizó, con respecto a la solución al 50%, a los 210 días después del transplante, el crecimiento en número de hojas en 27.52%, área foliar en 36.52%, peso seco de frutos en 78.67%, peso seco total (a los 168 días después del transplante) en 41.60% y producción total en 40.36%; también se obtuvo el mayor valor de índice de área foliar (2.85) y de índice de cosecha (68.85%). En cuanto a los índices de crecimiento, con esta misma solución se obtuvieron los mayores valores de tasa de crecimiento del cultivo ($2.99 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$), tasa de asimilación neta ($0.000806 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$) e índice de área foliar (2.85); también se obtuvo la mayor producción de frutos por corte (257.68 g) y rendimiento total (1,397.60 g por planta).

Palabras clave: *Capsicum pubescens* R y P, hidroponia, solución nutritiva de Steiner, crecimiento

ABSTRACT

FERNANDO VICENTE BARRAZA ALVAREZ

GROWTH OF THE APPLE PEPPER (*Capsicum pubescens* R y P) IN FOUR NUTITIVE SOLUTIONS UNDER HOT-HOUSE

(Septiembre del 2000)

(Under the direction of R. Castro B.)

This work was made in hot-house between March of 1999 and March of 2000. The objective was to evaluate the effect of several concentrations of the Steiner's nutritive solution over growth of apple pepper plant (*Capsicum pubescens* R y P) with regard to plant height, principal stem diameter, number of leafs, leaf area, dry weight of plant organs (stem, leafs, flowers and fruits) an whole dry weight. At the same time was studied the effect of differential nutriment availability on some growth index as crop growth rate (CGR), net assimilation rate (NAR), relative growth rate (RGR), leaf area index (LAI) and leaf area duration (LAD); even upon harvest index, production about cutting and whole yield. It was employed the completely hazard experimental design with four repetitions and four treatments: the Steiner's solution at the 50, 75, 100 and 125%. Plants were established in black plastic pockets of 0.40 x 0.45 m, learned in the lower third part with gross tezontle and remainder with a mixture of 75% of

fine tezontle and 25% of "Growing-mix", at a distance of 1 m between rows and 0.5 m between plants. Results suggest that with all Steiner's solutions utilized its obtained similar growth in plant height and principal stem diameter. Steiner's nutritive solution at the 125% exceed, in relation to solution at the 50%, to 210 days after transplantation, the growth variables number of leafs in 27.52%, leaf area in 36.52%, dry weight of fruits in 78.67%, whole dry weight (at 168 days after transplantation) in 41.60% and whole yield in 40.36%. Also with Steiner's solution at the 125% it was obtained the greater value of leaf area index (2.85) and greater value of harvest index (68.85%). With regard to growth index, with this same solution it was obtained the greater values of crop growth rate ($2.99 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$), net assimilation rate ($0.000806 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$) and leaf area index (2.85); also it was obtained the greater production of fruits about cutting (257.68 g) and whole yield (1,397.60 g by plant).

Key words: *Capsicum pubescens* R y P, hidroponic, Steiner's nutritive solution, growth

1. INTRODUCCIÓN

La actividad hortícola más importante de México es la producción de chiles (Arcos *et al.*, 1998). Se siembran unas 162,775 hectáreas (SAGAR, 2000) que incluyen muchos tipos de chile con colores, tamaños, formas, sabores y aromas diversos (Laborde y Pozo, 1982), y aunque el consumo en fresco es importante, también lo es su aporte como especia y condimento.

Para México el mercado estadounidense es de gran importancia ya que a partir del inicio de la década de los 90, el consumo de salsas picantes superó al de la tradicional salsa catsup (AgroRed, 2000). El 85% de la oferta de exportación de chiles mexicanos es absorbida por los Estados Unidos y 15% por Canadá (Laborde y Pozo, 1982). En particular, uno de los chiles frescos preferidos en Los Angeles (EUA) es el manzano, ya que el aroma, carnosidad y pungencia de sus frutos le proporciona gran aceptación comercial. En México su consumo se ha incrementado debido a la diversificación en las formas de preparación y aumento en las áreas y sistemas de producción; además, de acuerdo con Pérez y Castro (1998) este cultivo genera ganancias muy atractivas para los productores.

A la fecha, los patrones de intercambio comercial agrícola entre México y Estados Unidos se han desarrollado en función del Tratado de Libre Comercio de Norte América, y es importante destacar que con los nuevos acuerdos comerciales con la Unión Europea, se abrirán nuevas puertas con excelentes oportunidades para el agricultor mexicano a partir de este año 2000, recordando que actualmente la Unión Europea es el segundo socio comercial de México y la segunda fuente de inversión extranjera directa en el país (Villafán, 2000).

La creciente demanda de chiles manzanos de color anaranjado y forma de pera, tanto en México como en algunos estados de EUA, manifiesta el potencial comercial que tiene esta hortaliza. Por otra parte, la necesidad del conocimiento sobre la planta para llevar a cabo las prácticas agrícolas más adecuadas durante su cultivo, hacen que ésta requiera de un estudio amplio en diferentes aspectos. Uno de ellos es el fisiotécnico, ya que es una herramienta básica para conocer el comportamiento de las plantas y su interacción con los diferentes niveles de factores ambientales a que son expuestas, por ejemplo, el suelo o sustrato donde se desarrollan, y en particular, su aporte nutrimental. Por ello, en el presente trabajo se plantea realizar el estudio del comportamiento fisiotécnico del chile manzano en respuesta a cuatro niveles de disponibilidad nutrimental de la solución nutritiva de Steiner para identificar el nivel que maximice los diferentes índices fisiotécnicos, calidad y rendimiento de frutos, y con ello proponer el manejo más adecuado de la planta en diferentes sistemas de cultivo.

1.1. Objetivos

-Elaborar, a partir de los datos de altura de planta, diámetro del tallo principal, número de hojas, área foliar, peso seco del tallo, peso seco de hojas, peso seco de flores, peso seco de frutos y peso seco total, en función del tiempo, las curvas de crecimiento del cultivo bajo invernadero para las condiciones de Chapingo, Estado de México.

-Conocer el comportamiento fisiotécnico del chile manzano, en cuatro soluciones nutritivas, por medio de los índices de eficiencia como la tasa de asimilación neta (TAN), tasa de crecimiento del cultivo (TCC), tasa relativa de crecimiento (TRC), índice de área foliar (IAF), duración del área foliar (DAF) e índice de cosecha (IC), y determinar el nivel que optimice tanto los índices como el rendimiento del chile manzano.

1.2. Hipótesis

-Existe al menos un nivel de solución nutritiva de Steiner que maximiza los índices de eficiencia fisiotécnicos y rendimiento del chile manzano.

-Las variables que describen el crecimiento del cultivo como son altura de planta, diámetro del tallo principal, número de hojas, área foliar, peso seco del tallo, peso seco de hojas, peso seco de flores, peso seco de frutos y peso seco total, optimizan su comportamiento agronómico para un mejor rendimiento total al menos en uno de los cuatro niveles (50, 75, 100 y 125%) de la concentración de la solución nutritiva universal de Steiner.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Aspecto general

El chile manzano es un chile fresco en forma de bulbo, que parece una manzana. Su circunferencia llega a medir hasta 4 cm. Es muy carnosos, picoso, tiene epidermis tersa y brillante; los hay de color verde, amarillo, naranja, rojo o combinados. Se dice que los amarillos son los más picosos. Se usa en salsas, escabeches y encurtidos (Anónimo, 1999).

El chile manzano solamente se adapta a los lugares fríos en donde, inclusive, puede tolerar heladas. Aún bajo temperaturas de 5 a 15 ° C se comporta como planta perenne (Laborde y Pozo, 1982).

2.2 Antecedentes

2.2.1 Importancia del chile en México. El cultivo del chile cumple una función socioeconómica importante en el país. Por ser un cultivo hortícola intensivo, requiere de muchos cuidados en todas las etapas de su desarrollo vegetativo; se utiliza un promedio de 120 a 150 jornales por hectárea en las labores de cultivo, principalmente en las cosechas, lo cual beneficia a los trabajadores agrícolas de las regiones productoras así como a los trabajadores de las emparadoras y transportistas (Laborde y Pozo, 1982).

Es una introducción reciente al país, ya que no se ha hallado ninguna referencia histórica de este tipo de chile (Laborde y Pozo, 1982).

Juárez (1999) indicó que el chile manzano es una especie con alto potencial

productivo para muchas regiones que tienen altitudes de 1,700 a 2,400 msnm, principalmente en los estados de México, Michoacán, Morelos, Puebla y Veracruz, entre otros, que se localizan en la parte central del país.

Produce abundantes frutos muy carnosos, muy picantes y aromáticos que se consumen frescos, aunque preferentemente maduros, estado en el que adquieren un atractivo color rojo o más comúnmente amarillo. Se expende en los mercados de las partes altas y frías en donde tiene buena demanda y aceptación. Se venden indistintamente los frutos rojos y los amarillos (Laborde y Pozo, 1982). Usualmente el chile manzano solo se consume en fresco, debido a que es muy carnoso, lo cual dificulta su deshidratación. También se cortan en rajas y se usan en salsas o emparedados. Los chiles enteros algunas veces se rellenan con queso o carne y luego se hornean (Basil, 1996).

No existen registros exactos de superficie y volúmenes de producción en el país, pero se calculan 51 ha en el Estado de México, 50 en Michoacán y 20 en la Sierra Norte de Puebla, y generalmente se encuentra como cultivo asociado con frutales (Juárez, 1999).

En regiones como Coatepec de Harinas y San Miguel Tlaixpan en el estado de México; Zitácuaro y Morelia en el Estado de Michoacán; Zacapoaxtla y Tlatlauquitepec en el estado de Puebla y en Zongolica, Veracruz, entre otros, la producción de chile manzano se realiza en huertos no mayores de cinco hectáreas. Ahí se le encuentra asociado con árboles frutales avejentados como aguacates y duraznos, que le proporcionan sombra y sirven de tutores a las plantas (Pérez y Castro, 1998).

Según Juárez (1999) el chile manzano tiene un potencial industrial para procesarlo y venderlo en forma enlatada o en polvo. También se puede extraer capsaicina y sus análogos los capsaicinoides, compuestos que le confieren el sabor picante y que tienen uso industrial y farmacéutico.

A pesar de ser una especie poco investigada, en estudios recientes se ha observado e identificado caracteres de interés agronómico que están ligados directamente a la calidad del fruto, siendo uno de ellos su forma, la cual puede ser de pera si tiene uno o dos lóculos y manzana si tiene tres o cuatro. también se ha observado que en una misma planta hay frutos con uno, dos, tres, cuatro o más lóculos, por lo que se cree, que al igual que otras especies de *Capsicum*, que el carácter forma del fruto en esta especie es de herencia cuantitativa y de fuerte interacción genética-ambiental. Aunque todavía no se tiene determinado qué factores ni cómo actúan específicamente sobre la forma del fruto. No obstante, esta característica es de gran relevancia en el mercado de este tipo de chile, ya que los consumidores tienen una marcada preferencia por el tipo manzana (Juárez, 1999).

Actualmente la comercialización del chile manzano es principalmente en fresco y/o preparado en escabeche. la producción se comercializa principalmente a nivel local en las diferentes regiones productoras, aunque ocasionalmente se exporta a Los Angeles (EUA) como en el caso de Zitácuaro, Michoacán. En el centro del país, la producción se comercializa en la Central de Abastos de Iztapalapa, Distrito Federal. Los precios más altos (\$20.00 por kilogramo), se alcanzan durante los meses de diciembre a abril, en los que la oferta disminuye, debido a que la producción es generalmente de temporal. En esos meses existe baja precipitación y temperatura, lo cual induce a la planta a generar pocos frutos. En cambio de mayo a octubre se presentan altas precipitaciones y temperaturas, adecuadas para el cultivo, lo que provoca una alta producción de frutos en los meses de agosto a noviembre donde se alcanzan los precios más bajos durante el año (\$5.00 por kilogramo) (Pérez y Castro, 1998).

Existe una alta demanda regional de chile manzano en México, y su precio llega a ser el doble y en algunos casos el triple del que se paga por chile serrano (Chávez, 1999).

Normalmente, el chile manzano se empaca en rejas de madera de 20 kilogramos de capacidad, y algunas veces en platos de unicel cubiertos con plasti-pack, lo que da una buena presentación al producto (Pérez y Castro, 1998).

Juárez (1998) indicó que en Cochisquila, municipio de Coatepec de Harinas, Estado de México, la empresa comercial JOSMAC se dedica a la elaboración de conserva de chile manzano en vinagre. Dicho producto consiste en rajas o rodajas de chile manzano cocidas y envasadas en vinagre junto con nopales y zanahorias y condimentadas con cebollas, ajos y clavos. Sus principales expendedores son los supermercados de Toluca y el Distrito Federal.

Para profundizar en el estudio de esta especie, en 1994 se creó en la Universidad Autónoma Chapingo el “Proyecto de producción y mejoramiento genético de chile manzano”, el cual partió de una colecta de material criollo realizada en diversas partes del país, para su posterior clasificación y resguardo en el banco de germoplasma de especies nativas en la misma universidad. Es importante destacar que mientras mayor sea el número de colectas realizadas en diversos ambientes, mayor será la variabilidad de los caracteres de interés agronómico que se pueden explotar en esta especie (Juárez, 1998).

2.2.2 Situación actual y futuro. El consumo del chile manzano es cada vez mayor, debido a la diversificación en sus formas de consumo y el incremento en áreas y sistemas de producción. Esto lo convierte en un cultivo muy atractivo para los productores (Pérez y Castro, 1998).

El chile manzano se siembra generalmente en los valles andinos durante todo el año. Con buena manipulación agrícola se llega a rendimientos de 200,000 frutos por ha (Werner, 2000).

En países de América Latina como el Perú, el cultivo del chile está muy

difundido dado que el área de cultivo que ocupa representa del 6 al 7% del área total cultivada de hortalizas. Se estima que se siembran más de 2,000 ha con una producción promedio de 5,532 kg·ha⁻¹. Las zonas donde se producen en mayor escala son los valles de Lima, Chincha, Oxapampa y Cerro de Pasco. Allí se cultivan diferentes variedades a nivel comercial, entre las que se destaca el chile manzano como cultivo anual, debido a la fuerte incidencia de hongos que maltratan a las plantas (Werner, 2000).

En el Perú el cultivo del chile manzano se remonta desde épocas pre-incas hasta la actualidad. Por sus propiedades picantes y aromáticas se le utiliza seco, como base para las salsas y pastas, como estimulante digestivo, sazonador, como antioxidante en carnes y otros; lo que demuestra ser un recurso de amplísimo rango de aprovechamiento para su industrialización y menor pérdida con relación al fruto fresco. Juega un papel importante en la dieta diaria nacional por su valor alimenticio, específicamente vitamínico, aún cuando sea usado en pequeñas proporciones (Werner, 2000).

El Consejo Internacional de Recursos Fitogenéticos con sede en Costa Rica, desde 1979 ha reconocido a nivel mundial la importancia socio económica y científica del género *Capsicum*, al cual pertenece el chile manzano, siendo considerado dentro de los recursos fitogenéticos de primera prioridad, recomendando su recolección, evaluación en la estabilización y conservación (Werner, 2000).

En la actualidad, en el Perú se produce la Salsa Picante de Rocoto conocida comercialmente como 2^{HOT}®, la cual está hecha a base de chiles manzanos rojos molidos, agua, sal, vitamina C (ácido ascórbico) y goma xantan. Es usada para resaltar el sabor de las comidas y como estimulante del apetito. Este producto se exporta y tiene distribuidores en Miami (EUA) (Werner, 2000).

En Piemco (Perú) se produce y exporta la Amazonas Rocoto Sauce®, hecha a

base de chiles manzanos rojos, sal y ácido cítrico (ARS, 2000).

En el Distrito de Marcapata (Perú), está hecho el estudio, a nivel de perfil, del Proyecto de Industrialización del chile manzano por parte de la Asociación de Productores de Rocoto de Marcapata, con centros productores en las poblaciones de San Miguel, Mamabamba, Chaupichaca, Ttio y Palmabamba, ubicadas a 2,500 msnm. Está orientado a la industrialización del chile manzano (*Capsicum pubescens*) que se produce en el distrito de Marcapata, producción que permite satisfacer con materia la demanda del proyecto. Se estima una inversión de 183,0000 dólares americanos, mediante la modalidad Joint Venture de penetración al mercado extranjero (Gutiérrez, 2000).

2.3 Composición nutritiva del chile manzano. Werner (2000) indicó que los análisis dietéticos practicados por el Departamento de Nutrición del Ministerio de salud del Perú en 1978 le asignan los valores que se presentan en el Cuadro 1.

Chávez (1999) indicó que el chile manzano proporciona un alto potencial de estimulación cuando se agrega a los alimentos, a través de la salivación, calor, ardor en la boca y la sensación que permanece después de la ingestión. La preferencia de su consumo se basa en el color, generalmente amarillo intenso, el sabor picante y el aroma característico. Los capsaicionoides que presenta en mayor proporción (76-86%) son la capsaicina y la hidrocapsaicina en una relación 1:15. La hidrocapsaicina se encuentra en una proporción más alta en esta especie en comparación con *Capsicum annuum*, *Capsicum frutescens* y *Capsicum chinense*.

El aroma que desprende el fruto es producto de una combinación de ésteres de cinco y seis carbonos, alcoholes, carbonilos, ácidos carboxílicos, prazina y terpenos, entre otros compuestos (Chávez, 1999).

Cuadro 1. Composición nutritiva del chile manzano (Werner, 2000).

Por 100 g de peso neto	Mínimo	Máximo
Agua	20.7 g	93.1 g
Hidratos de Carbono	5.3 g	63.8 g
Proteínas	0.8 g	6.7 g
Extracto etéreo	0.3 g	0.8 g
Fibra	1.4 g	23.2 g
Cenizas	0.6 g	7.1 g
Calcio	7.0 mg	116.0 mg
Fósforo	31.0 mg	200.0 mg
Hierro	1.3 mg	15.1 mg
Caroteno	0.03 mg	25.2 mg
Tiamina	0.03 mg	1.09 mg
Riboflavina	0.07 mg	1.73 mg
Niacina	0.75 mg	3.30 mg
Acido ascórbico	14.4 mg	157.5 mg
Calorías	23	233
Capsicina	150 mg	335 mg por cada 10 g de peso

2.4 Origen y distribución. *C. pubescens* es la única de las especies domesticadas de *Capsicum* que no tiene formas silvestres. No obstante, dos especies silvestres, *C. cardenasii* y *C. eximium*, le están estrechamente emparentadas. El centro de origen de estas especies fue Bolivia, y fueron probablemente domesticadas alrededor de 6,000 años antes de Cristo, haciéndolas unas de las más antiguas plantas domesticadas en América (DeWitt, 2000).

El botánico Charles Heiser (basado en Garcilaso de la Vega), indicó que *C. pubescens* fue "el chile más común entre los Incas, justo en lo que hoy es Cuzco, la antigua capital del imperio Inca" (DeWitt, 2000).

La mayor diversidad genética parece ocurrir en los Andes y la especie está aparentemente limitada a regiones altas. Pero también ha sido descrita de México y Centroamérica (Casseres, 1980).

Capsicum pubescens R. y P. es una especie cultivada de flores púrpura que se encuentra distribuida de Bolivia a Colombia, Costa Rica, Guatemala, Honduras y México (Nuez *et al.*, 1996).

El conocimiento sistematizado sobre el uso y la distribución geográfica del chile manzano en México es escaso, y no existe un estudio sistemático de la variabilidad genética de la especie, ya que sólo se tienen reportes aislados (Chávez, 1999).

Chávez (1999) sugirió la necesidad de hacer una revisión más detallada de la variación genética del chile manzano, ya que en el estado de México se ha encontrado un tipo con flores blancas, variante que hasta ahora no había sido reportada ni aún en el centro de origen de esta especie. Indica además que existen evidencias de que la variabilidad en otros caracteres agronómicamente importantes (hábito de crecimiento, forma del fruto, altura de planta) es amplia entre poblaciones de chile manzano colectadas en el sur del estado de México, por lo que es de esperarse que la variación entre las poblaciones de diferentes estados sea mayor.

El cultivar Rocoto (Locato) de Perú, Ecuador y Bolivia es típico de esta especie (Casseres, 1980). Pérez *et al.* (1997) señalaron que *Capsicum pubescens* R. y P. no se encuentra en forma silvestre y que es conocida solo bajo cultivo. Además indican que se encuentra desde México atravesando América Central y en todas partes de la región Caribe. El nombre más común para *C. pubescens* en Sur América es *rocoto* o *locoto* (DeWitt, 2000). En México *C. pubescens* es llamado manzano (apple pepper) y chile perón (pear pepper), aludiendo ambos nombres a la forma del fruto. En algunas partes de México y Guatemala, *C. pubescens* es llamado *chile caballo*, "horse pepper". Los frutos amarillos son llamados *canarios* en algunas partes de México, particularmente en Oaxaca (DeWitt, 2000).

Pudiera pensarse que todos los chiles manzano que se cultivan en México tienen el mismo origen, ya que no se han observado diferencias entre aquellos cultivados en lugares tan distantes y aislados como Pátzcuaro, Mich., Pinal de Amoles, Qro. y la Grandeza, Chihuahua. En estas tres localidades, que están situadas arriba de los 2,000 msnm, únicamente se cultiva este tipo de chile y la dispersión y uso del mismo sólo se mantiene en lugares con el mismo clima (Laborde y Pozo, 1982).

Chávez (1999) indicó que el chile manzano a nivel mundial es un recurso genético importante como fuente de resistencia contra enfermedades y plagas. Sin embargo, la resistencia no es fácilmente incorporada a las especies cuya explotación y nivel de consumo son de mayor importancia mundial, pues se ve limitada por barreras naturales de incompatibilidad.

En el Perú se han encontrado plantas de chile manzano de hasta 15 años de edad, así como la mayor variación en el color del fruto en estado maduro, desde rojo hasta café. Esta variación en coloración es de gran valor genético, puesto que posibilita su uso como marcador, ya que en ninguna especie nativa se han observado frutos con tal diversidad en las coloraciones: blanco, rojo, amarillo, naranja y café-chocolate, entre otros (Chávez, 1999).

En Ambato (Ecuador) se ha reportado gran variación en formas, tamaño de fruto y en colores de rojo a amarillo dorado (Chávez, 1999).

2.5 Clasificación botánica. Nuez *et al.* (1996) consideraron que todas las formas de pimiento, chile o ají utilizadas por el hombre pertenecen al género *Capsicum*. Este género se incluye en la extensa familia de las solanáceas. El nombre técnico del chile manzano proviene de que tiene los tallos y hojas completamente cubiertos de vellosidades o pubescencias (Laborde y Pozo, 1982) y su clasificación botánica es la siguiente:

División	:	<i>Spermatophyta</i>
Línea XIV	:	<i>Angiospermae</i>
Clase A	:	<i>Dicotyledones</i>
Rama 2	:	Malvales-Tubiflorae
Orden XXI	:	<i>Solanales (Personatae)</i>
Familia	:	<i>Solanaceae</i>
Género	:	<i>Capsicum</i>

Heiser y Pickersgill (1969) indicaron que una de las cinco especies del género *Capsicum* ampliamente cultivada es el chile manzano, cuyo nombre correcto es *Capsicum pubescens* Ruiz & Pavon. Esta especie es notablemente distinta, lo cual se considera por unanimidad de opinión al respecto. El nombre Ruiz y Pavon claramente alude a esta especie y es el más antiguo válido.

Vulgarmente al chile manzano se le conoce también como chile perón o "cirhuelo". Curiosamente, en México, nadie le llama "peludo" como acontece con un tipo de chile jalapeño, el cual tiene la misma apariencia en el follaje. No obstante, en la Sierra de Chiapas al chile manzano se le llama "jalapeño" (Laborde y Pozo, 1982).

Otros nombres con que se le conoce al chile manzano son: chamburato, cera, canario, caballo, ladino y rocoto (Anónimo, 1999). De acuerdo con Andrews (1984, citado por Nuez *et al.*, 1996), el chile manzano no sería otra cosa que la variedad Rocoto, muy conocida en América central y del sur. El chile manzano recibe el nombre de *rocoto* en Perú y de *locoto* en Bolivia (Bowers, 1997)

2.6 Descripción de la especie. El chile manzano tiene los tallos y hojas completamente cubiertos de vellosidades o pubescencias (Laborde y Pozo, 1982).

A diferencia de otras especies de chile, los pétalos de las flores son de color

morado y, la semilla es arrugada y negra, en lugar de lisa y color crema claro (Casseres, 1980).

Por su parte Edwards (1998) señaló que las semillas de los frutos de chile manzano no son comestibles y que cuando se consumen los frutos, las mismas se descartan o se guardan para próximos cultivos.

Se han hecho buenos trabajos mediante aislamiento para conseguir semillas por autopolinización. No obstante, el aislamiento no es necesario a menos que crezcan otras variedades de *Capsicum pubescens* o las exóticas *Capsicum cardenassi* o *Capsicum eximium*. *Capsicum pubescens* no es compatible con las otras cinco especies domesticadas y no puede darse polinización cruzada (Edwards, 1998).

Nuez *et al.* (1996) indicaron que ocasionalmente la corola tiene los márgenes de los pétalos blancos y/o el tubo blanco, sin manchas difusas en la base de los pétalos (aunque una mancha de néctar amarillo se puede acumular en esta posición y simular una mancha en la corola).

Las flores de *Capsicum pubescens* R. y P. aparecen solitarias en cada nudo y los pétalos de la corola usualmente son rectos (Nuez *et al.*, 1996).

Existe una gran diversidad de este tipo de chiles en cuanto a color, forma y tamaño del fruto. Hay frutos anaranjados, amarillos y rojos; forma de manzana o cuadrada y de pera (Pérez y Castro, 1998).

Los frutos tienen paredes gruesas y jugosas, con un gran contenido de agua, lo que causa que se descompongan rápidamente y hace imposible su deshidratación comercial (MexAssist, 1996).

Bowers (1997) reportó para el chile manzano de 30,000 a 60,000 Unidades

Scoville de pungencia. Una parte por millón de capsaicina es igual a 15 Unidades Scoville (Ken, 1996).

Los frutos maduros son mucho más picantes y muy poco dulces, con un sabor único que solo tiene *Capsicum pubescens* (Edwards, 1998).

Bowers (1997) indicó que las plantas pueden vegetar por 10 años o más y alcanzar por encima de 3 m de alto si no están sometidas a congelación o a veranos calurosos.

Rivera (1996) encontró en 12 colectas de chile manzano hechas en México, características variables como hábito de crecimiento, que puede ser compacto o erecto; generalmente se presenta un pedicelo por axila, aunque pueden presentarse dos o tres. La posición de éstos en antesis es semierecta o erecta y el color de la corola violeta y excepcionalmente blanca. La forma de unión del fruto al pedúnculo generalmente hundida y en raras ocasiones obtusa.

2.7 El crecimiento vegetal

2.7.1 Aspecto general. El crecimiento se define como aumento de tamaño de la planta. El aumento puede ser en materia seca o en dimensiones, y se origina como consecuencia de la formación de nuevas células, de la expansión de las células constituyentes y de la producción de asimilados. La velocidad de crecimiento se expresa, en consecuencia, como aumento de peso, volumen, área o longitud por unidad de tiempo (Wild, 1992).

La división celular produce células nuevas, muchas de las cuales no llegan a ser solo más grandes, sino también más complejas. Este proceso de especialización celular se conoce como diferenciación; crecimiento y diferenciación de células para formar tejidos, órganos y organismos con frecuencia se denominan en conjunto desarrollo (Salisbury y Ross, 1994).

Durante la mayor parte de la vida de las plantas, las hojas son los principales órganos verdes que captan la luz solar y la convierten en energía química y en materia seca, mediante la fotosíntesis. El crecimiento máximo del cultivo es, en consecuencia, muy dependiente de la extensión de la superficie foliar para captar, a su vez, la máxima radiación posible (Wild, 1992).

La superficie foliar depende del número de hojas, de su velocidad de crecimiento y de su tamaño final. Está regulada, fundamentalmente, por las temperaturas, la humedad del suelo y la disponibilidad de nutrimentos (Wild, 1992).

2.7.2 Factores ambientales que influyen en el crecimiento vegetal. Los factores ambientales que influyen sobre la planta son muchos. Los de mayor significación son la temperatura, la luz, el agua, las sustancias nutritivas y el aire. Cuanto mejor se conozcan los requerimientos de las plantas respecto a estos factores y su apropiada combinación durante las distintas fases, y cuanto más se satisfagan estos requerimientos, mejores serán el crecimiento y el desarrollo, y más altos y de mejor calidad serán los rendimientos (Güenkov, 1974)

Una vez agotadas las reservas de la semilla, el crecimiento posterior de la planta depende de la captación de la radiación solar por los órganos verdes y de la absorción de nutrimentos por las raíces (Wild, 1992).

Debido a la división celular que implica el aumento de masa o volumen del vegetal, existe una intensa respiración, gran actividad fotosintética y se absorben grandes cantidades de agua y muchos elementos minerales del suelo (Forero, 1983).

La escasez de nutrimentos reduce la superficie de cada hoja, en ambas dimensiones, longitud y anchura (Wild, 1992).

2.7.3 Cinética del crecimiento vegetal. El peso de materia seca producida por unidad de superficie por un cultivo anual, o por una planta aislada, en relación con el tiempo, sigue aproximadamente una curva de tipo sigmoidal. En ella puede observarse que, después de un período de crecimiento lento que sigue a la emergencia de las plántulas del suelo, hay un primer período de crecimiento acelerado (denominado, a veces, como fase exponencial del crecimiento), seguido de un período en el que la velocidad de crecimiento es casi constante (fase de crecimiento lineal) que conduce a otro período en el que la velocidad de crecimiento se aproxima a cero y concluye, a causa de la senescencia, de la caída de las hojas o de ambas, con un período de crecimiento "negativo". El paso del período de crecimiento exponencial al lineal, se relaciona, habitualmente, con la época en que la planta ha completado su desarrollo aéreo, de forma que su capacidad para captar luz es la que determina, entonces, la velocidad de crecimiento (Wild, 1992).

A menudo la gráfica del tamaño o peso de un organismo como función del tiempo puede ajustarse con una función matemática sencilla. Aunque los procesos metabólicos y físicos que producen las curvas de crecimiento son demasiado complejos para poder explicarse mediante modelos sencillos, las curvas simples con frecuencia son útiles para interpolar entre datos medidos. Además, los coeficientes que se deben conocer para que las ecuaciones ajusten las curvas pueden emplearse para clasificar los efectos de un tratamiento experimental sobre el crecimiento de las plantas u órganos vegetales que se están observando (Salisbury y Ross, 1994).

En numerosas plantas anuales e incluso en órganos de plantas anuales y perennes el crecimiento tiene curvas similares a la curva de crecimiento sigmoidal (en forma de S). Se pueden reconocer en general tres fases principales: una logarítmica, una lineal y una de senescencia (Salisbury y Ross, 1994).

En la fase logarítmica, el tamaño aumenta en forma exponencial con el tiempo. Esto significa que la rapidez de crecimiento es baja al principio, pero aumenta en forma continua. La rapidez es proporcional al tamaño del organismo; cuanto mayor sea éste, tanto más rápido crece. También las células únicas presentan la fase logarítmica del crecimiento, y las poblaciones de organismos unicelulares, como bacterias y levaduras, en los cuales cada producto de la división es capaz de crecer y dividirse (Salisbury y Ross, 1994).

Durante la fase exponencial o logarítmica, existe una relación lineal entre el logaritmo del crecimiento y el tiempo (Pérez y Martínez, 1994).

Muchos agrónomos prestan poca importancia a la fase exponencial, en vista de que es un estado juvenil y de corta vegetación (Gardner *et al.*, 1990).

En la fase lineal, el aumento de tamaño continúa a una velocidad constante y usualmente máxima, por algún tiempo. La rapidez constante de crecimiento está indicada por una pendiente constante en las curvas de altura, y por la parte horizontal de las curvas de rapidez (Salisbury y Ross, 1994).

La fase de crecimiento lineal suele corresponder con el período vegetativo de la planta (Pérez y Martínez).

La duración e inclinación (tasa) de la fase lineal describe bien el rendimiento. El crecimiento lineal se expresa por la ecuación $y = a + bx$, donde a es el intercepto con el eje y , y b es la inclinación o pendiente (tasa) por unidad de x . En los cultivos de campo, la fase lineal es una expresión de la tasa de crecimiento relativo (TCR) (Gardner *et al.*, 1990).

La fase de senescencia se caracteriza por una velocidad de crecimiento decreciente a medida que la planta alcanza su madurez y comienza a envejecer (Salisbury y Ross, 1994).

La fase de envejecimiento o senescencia corresponde con las últimas etapas de desarrollo de la planta, especialmente con la floración y maduración del fruto (Pérez y Martínez, 1994).

La fase estable en la que el incremento en rendimiento disminuye progresivamente con el tiempo se le conoce como madurez fisiológica. En esta fase, las ganancias, por ejemplo, en materia seca, están equilibradas con las pérdidas (Gardner *et al.*, 1990).

Cuando existen alteraciones en algún factor externo a lo largo del ciclo vital de la planta, su curva de crecimiento se irá separando paulatinamente de la curva teórica esperada, y aunque luego vuelva a su valor normal, se producirá generalmente una disminución irreversible en el rendimiento (Pérez y Martínez, 1994).

2.7.4 Metodología para el estudio del crecimiento vegetal. En la práctica, uno de los métodos que se emplea con más frecuencia para expresar el crecimiento vegetal es la acumulación del peso seco. La utilización de esta variable tiene la gran ventaja de que al determinar el peso seco se elimina totalmente el agua de los tejidos vegetales, pues la presencia de agua es un factor que puede distorsionar los resultados finales. Sin embargo, este sistema de cuantificar la tasa de crecimiento presenta el grave inconveniente de que para realizar las medidas hay que destruir totalmente el órgano u organismo vegetal objeto de estudio, lo que lo hace inviable en determinadas ocasiones (Pérez y Martínez, 1994).

Según Baeyens (1970), las raíces son generalmente más pobres en materias minerales que las partes aéreas, probablemente porque son órganos de paso. Lo mismo sucede con otros órganos subterráneos (bulbos, tubérculos, etc.) que contienen sobre todo materias de reserva como almidón (3-5% de cenizas).

En muchas plantas es difícil de conseguir cenizas puras, a causa de la fuerte adherencia de las partículas pequeñas del suelo, sobre todo a las finas raicillas. Su separación implica la ruptura de las raicillas cuyos extremos quedan incrustados en esas partículas (Baeyens, 1970).

Refiriéndose a la composición cuantitativa y cualitativa de las cenizas y el problema de la exportación en las plantas cultivadas, Baeyens (1970) indica que la cantidad de materias minerales sustraídas del suelo por una cosecha por hectárea y por año, expresada en kg de N, P, K, etcétera, por ha (exportación), no puede servir de base para establecer una fórmula racional de abonado. Indica solamente la cantidad de principios nutritivos extraídos *de hecho* del suelo por la planta y no las cantidades que el suelo debe contener para cubrir las necesidades nutritivas. Estas cantidades son generalmente más elevadas porque una parte solamente de esos principios es asimilable y otra puede ser lixiviada o fijada.

Las hojas son los órganos más ricos en materias minerales (hasta el 50% de la materia seca). Con el cambium, las yemas y los órganos florales son el centro más activo de la fisiología de la planta. Sin embargo, aquí también es muy grande la variabilidad: del 5 al 28% (Baeyens, 1970).

Las técnicas para medir la concentración de los elementos en las plantas, suelos y soluciones nutritivas han mejorado mucho en los últimos 20 años. En la actualidad se utilizan espectrómetros de absorción atómica para determinar elementos metales y algunos no metales. Aún más valiosos son los espectrómetros de emisión óptica, en los cuales los elementos se vaporizan a temperaturas de 5,000 °K. Temperaturas tan elevadas excitan de manera temporal los electrones desplazándolos de sus órbitas de estado basal o fundamental a órbitas de energía superior; cuando estos electrones regresan a su estado energético original, se emite energía con longitud de onda característica para cada elemento. El espectrómetro mide su longitud de onda,

cuantifica la energía y permite medir con gran sensibilidad, en menos de un minuto, las concentraciones de más de 20 elementos en una sola solución (Salisbury y Ross, 1994).

Para estudiar de manera cuantitativa la relación entre el suministro de nutrimentos y el crecimiento, se recurre por lo general a las técnicas de cultivo hidropónico con soluciones nutritivas. El cultivo hidropónico consiste en reemplazar al sustrato natural, que es el suelo, por agua o cualquier material inerte, que no proporcione a la planta nutrimento alguno. El aporte de nutrimentos se lleva a cabo añadiendo al sustrato inerte una solución nutritiva que contenga cantidades conocidas de varias sales inorgánicas cuyos aniones y cationes llevarán los elementos necesarios (Pérez y Martínez, 1994).

A medida que se desarrollaron técnicas de purificación de agua y sales para cultivos hidropónicos, se hizo posible un control más exacto de los elementos accesibles para las plantas. Esto resultó de importancia especial para varios elementos que se requieren en cantidades muy pequeñas (trazas) (Salisbury y Ross, 1994).

Existen una serie de fórmulas estandarizadas de soluciones completas, con todos los nutrimentos en cantidades adecuadas para el crecimiento normal de las plantas. Pero también es posible modificar esa composición para estudiar qué ocurre cuando un determinado nutrimento falta por completo o está en cantidades muy bajas o excesivas (Pérez y Martínez, 1994).

Numerosas formulaciones útiles de soluciones nutritivas se han diseñado a partir de estudios sobre la composición de las plantas y de otros estudios en los que se administraron diversas concentraciones de elementos a plantas en crecimiento (Salisbury y Ross, 1994).

En el suelo, tanto los componentes orgánicos como inorgánicos, deberán ser

descompuestos en elementos inorgánicos tales como calcio, magnesio, nitrógeno, potasio, fósforo, hierro y otros, antes que ellos estén a disposición de las plantas; estos elementos están adheridos a las partículas del suelo y se intercambian en la solución de éste, donde son absorbidos por las plantas. En los cultivos hidropónicos, las raíces de las plantas son humedecidas con una solución de nutrimentos que contiene estos elementos; por tanto, el proceso de utilización de los nutrimentos por las plantas es el mismo (Resh, 1992).

Bidwell (1990, citado por Grageda, 1999) indicó que es importante recordar que a diferencia de los substratos usados en invernadero, el suelo es mucho más que un soporte pasivo o recipiente de agua y nutrimentos, ya que es un medio complejo donde viven y crecen las raíces, y sus propiedades físicas y químicas pueden tener fuertes interacciones con las raíces vivas. El sistema suelo-raíz, es un complejo vivo y dinámico, cuyas interrelaciones deben valorarse antes de que pueda comprenderse la vida de la planta que crece en él.

2.7.5 Análisis del crecimiento vegetal. Los eventos que ocurren desde el principio hasta el final del proceso de crecimiento pueden tener marcada influencia sobre el rendimiento en materia seca. Una aproximación al análisis de los factores que influyen en el rendimiento y desarrollo vegetal es la acumulación neta de fotosintatos a través del tiempo, lo que ha sido conocido como análisis de crecimiento (Gardner *et al.*, 1990).

En 1919, Blackman definió la producción en términos de una ley de interés compuesto ("Si la tasa de asimilación por área foliar unitaria y la tasa de respiración permanecen constantes, y el tamaño del sistema foliar tiene una relación con el peso seco de la planta entera, la tasa de producción de material nuevo, medido en peso seco, seguirá la ley de interés compuesto"). En los últimos 60 años ésta ha sido la base para el desarrollo de las técnicas de análisis del crecimiento vegetal (Beadle, 1988).

Solamente dos mediciones, hechas a intervalos frecuentes, se requieren para el análisis del crecimiento: área foliar y peso seco. Otras cantidades en el análisis son derivadas del cálculo (Gardner *et al.*, 1990). El área foliar es el tamaño del sistema asimilatorio de energía (m^2), pero puede ser el contenido de proteína o de clorofila de las hojas. El peso de la planta generalmente es el peso seco a la estufa (kg) pero puede ser la materia orgánica o el contenido de energía (Beadle, 1988).

Para describir la partición de la materia seca de la planta se usa mucho dos términos: rendimiento biológico y rendimiento económico. El término rendimiento biológico lo propuso Nichiporovich en 1960 para indicar la acumulación total de materia seca del sistema de plantas. Rendimiento económico y rendimiento agrícola se han usado para referirse al volumen o peso de los órganos que constituyen el producto de valor económico o agrícola. La relación entre el rendimiento biológico y el rendimiento económico ha sido llamada índice de cosecha, coeficiente de eficiencia o coeficiente de migración. Todos estos términos se refieren al movimiento de materia seca hacia la parte cosechada de la planta. El índice de cosecha se calcula así: $IC = (\text{rendimiento económico} / \text{rendimiento biológico}) \times 100$. Hay que tener en cuenta que el rendimiento biológico total no incluye el peso de las raíces, debido a la dificultad de obtener esos valores (Gardner *et al.*, 1990).

La aproximación más común, el análisis de crecimiento clásico, implica mediciones hechas de manera precisa a intervalos continuos (1-2 semanas) sobre un número relativamente amplio de plantas. Una segunda aproximación implica mediciones a intervalos más frecuentes (2-3 días) sobre un número pequeño de plantas. Ambas aproximaciones proporcionan valores medios de los cambios cuantitativos que ocurren a través de cualquier intervalo de tiempo en particular. La segunda aproximación, usada más frecuentemente en cosecha, ha sido sugerida para hacer mejor uso de los materiales y tiempo del investigador (Gardner *et al.*, 1990).

El análisis de crecimiento puede ser usado para plantas individuales o para comunidades de plantas. El análisis del crecimiento de una planta individual, generalmente se hace a los estados tempranos e incluye: (1) tasas de crecimiento absoluto y relativo, (2) tasa unitaria foliar o tasa de asimilación neta, (3) relación de área de hoja, (4) y (5) peso específico de la hoja (Gardner *et al.*, 1990).

Los agrónomos generalmente analizan el crecimiento de una comunidad de plantas, debido a que ello representa la acumulación de rendimiento económico. Este análisis incluye: (1) índice de área foliar, (2) duración del área foliar, (3) tasa de crecimiento del cultivo de biomasa total (usualmente las partes vivas) y de la biomasa económica, y (4) tasa de asimilación neta (Gardner *et al.*, 1990).

2.7.5.1 Tasa relativa de crecimiento. La tasa de crecimiento relativo (TCR) expresa el incremento en peso seco en un intervalo de tiempo, con relación al peso inicial. En situaciones prácticas, la tasa de crecimiento relativo media se calcula a partir de medidas tomadas en tiempos sucesivos t_1 y t_2 . La ecuación para calcular la TCR se deriva de la ecuación de interés compuesto, $W = W_0 e^{rt}$, donde W es el peso en un tiempo dado, W_0 es el peso inicial, e es la base del logaritmo natural (2.71828), r es la tasa relativa de crecimiento, y t es el periodo de tiempo (Gardner *et al.*, 1990).

2.7.5.2 Relación de área foliar. La relación de área foliar (RAF) expresa la relación entre el área de la lámina foliar o tejido fotosintético y la respiración total de la planta o la biomasa total de la planta. La relación de área foliar refleja la abundancia de hojas de la planta, pero sus valores medios no son precisos (Gardner *et al.*, 1990).

2.7.5.3 Tasa de asimilación neta. La tasa de asimilación neta (TAN) o tasa unitaria foliar, es la ganancia neta de asimilados, en su mayor parte

fotosintéticos, por unidad de área foliar y tiempo. También incluye la ganancia en minerales, pero ello no es una fracción muy grande porque los minerales constituyen solamente el 5% o menos del peso total. La ecuación para calcular los valores medios de TAN asume que la relación entre el peso de la planta y el área foliar es lineal. Esto se limita solo a las fases iniciales del crecimiento y no a las últimas, en las que la tasa de crecimiento o el área foliar pueden exceder el peso en materia seca o viceversa (Gardner *et al.*, 1990).

La TAN no es constante con el tiempo y muestra una tendencia a disminuir con la edad de la planta. La disminución se acelera por un ambiente desfavorable y la ganancia de materia seca por unidad de área foliar decrece en la medida que salen nuevas hojas, debido al sombreado recíproco. La competencia por nutrimentos y otros factores probablemente son también importantes como la edad y aumento de tamaño (Gardner *et al.*, 1990).

Edwards *et al.* (1986) indicaron que la tasa de asimilación neta puede ser expresada así: $TAN = (1/A)(dW/dt)$, donde A es el área foliar total de la planta y dW/dt es la tasa de crecimiento. Si la tasa de asimilación neta (TAN) de la planta se relaciona con la tasa relativa de crecimiento (TRC), se tiene que: $TAN = (W/A) TCR$.

2.7.5.4 Índice de área foliar. El índice de área foliar (IAF) expresa la relación entre la superficie de las hojas (solamente un lado) y el área de terreno ocupada por el cultivo. Con un IAF de 1, el cual es una unidad de superficie foliar por unidad de área de terreno, teóricamente se podría interceptar toda la luz incidente; pero ello rara vez ocurre debido a la forma de la hoja, delgadez (la luz traspasa), inclinación y distribución vertical. Un IAF de 3-5 es el que usualmente necesitan la mayoría de los cultivos para la máxima producción de materia seca. Los cultivos forrajeros, como los pastos, con orientación erectófila del follaje, pueden requerir un IAF de 8-10 bajo condiciones favorables para maximizar la intercepción de luz (Gardner *et al.*, 1990).

2.7.5.5 Tasa de crecimiento del cultivo. La tasa de crecimiento del cultivo (TCC) es la ganancia en peso de una comunidad de plantas por unidad de terreno en una unidad de tiempo. Se usa mucho en el análisis de crecimiento de los cultivos de campo. La relación entre la $TCC_{\text{económico}}$ y TCC_{total} produce una cantidad útil, conocida como coeficiente o índice de partición. El coeficiente de partición de un cultivo expresa su eficiencia en la conversión de asimilados en rendimiento económico (Gardner *et al.*, 1990).

2.7.5.6 Duración del área foliar. La duración del área foliar (DAF) expresa la magnitud y persistencia del área foliar o abundancia de follaje durante el periodo de desarrollo del cultivo. Refleja la magnitud o época de completa intercepción de luz (Gardner *et al.*, 1990).

Si se grafica la IAF en función del tiempo, se obtiene una función que indica la capacidad asimilatoria del cultivo durante un periodo en cuestión (Gardner *et al.*, 1990).

2.7.5.7 Duración de la biomasa. La duración de la biomasa (DB) es parecida a la duración del área foliar (DAF). Si se toma el área bajo la curva de la duración del área foliar (DAF) en función del tiempo, se obtiene la persistencia de la biomasa en el tiempo. Esta cantidad puede ser poco provechosa cuando se usa solamente en el cálculo de las pérdidas por respiración de mantenimiento a través del tiempo, la cual es función del peso vivo y la temperatura (Gardner *et al.*, 1990).

2.8 Crecimiento y desarrollo de la planta de chile

2.8.1 Etapas de crecimiento de la planta de chile. De acuerdo con Nuez *et al.* (1996), en el desarrollo de los órganos y tejidos de chile pueden distinguirse tres etapas: 1) Etapa de desarrollo de la plántula hasta la primera ramificación; 2) Etapa de rápido desarrollo de brotes y formación de flores; y 3) Etapa de

lento crecimiento y desarrollo de frutos.

2.8.1.1 Etapa de desarrollo de la plántula hasta la primera bifurcación. La semilla de chile no presenta ningún tipo de reposo, por lo tanto para su germinación sólo necesita de agua, oxígeno y temperatura. De todas maneras, se puede observar cierta disparidad en la energía germinativa en un mismo lote de semillas; ello podría deberse a diferencias en la senescencia seminal. En el estado de plántula, las plantas deben tener entre 7 y 9 hojas, y es conveniente que aún no se observe el primer botón floral (Favaro y Pilatti, 1997).

2.8.1.2 Etapa de rápido desarrollo de brotes y formación de flores. Se trata de una etapa bien definida en el chile, en que se produce una intensa división en todos los órganos de la planta, iniciándose el desarrollo de los tejidos secundarios. El punto de partida es la ramificación del tallo, cuando la plántula ha alcanzado una altura entre 15 y 20 cm (Nuez *et al.*, 1996).

Una vez realizado el trasplante pasan algunos días hasta que se retoma el crecimiento; luego la planta sigue formando hojas (hasta 8-12) y posteriormente se desencadena la floración (Favaro y Pilatti, 1997).

2.8.1.3 Etapa de lento crecimiento y desarrollo de frutos. Después de la fertilización se produce una intensa división celular en el epicarpo y endocarpo. Poco después los procesos de división celular finalizan y no se producen nuevas células durante el desarrollo y maduración del fruto. Fundamentalmente ocurren procesos de crecimiento y división celular (Nuez *et al.*, 1996).

Cuando el fruto alcanza la forma y tamaño definitivos la mayoría del crecimiento celular cesa (Nuez *et al.*, 1996).

Los frutos de chile manzano son de color verde brillante en estado inmaduro. Pasan a amarillo o rojo al madurar. Se consumen en fresco preferentemente los

maduros, y de éstos los amarillos (Nuez *et al.*, 1996).

2.8.2 Crecimiento del chile manzano en Chapingo, Estado de México.

Domínguez y Carnalla (1997) caracterizaron para las condiciones de Chapingo, México, las siguientes etapas y fases fenológicas en el chile manzano: Germinación-emergencia, Tercera hoja verdadera, Bifurcación, Aparición de brotes laterales, Floración, Fructificación, Madurez Fisiológica de los primeros frutos. El tiempo después del trasplante para cada fase, se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Fases de crecimiento del chile manzano en Chapingo, México.

Fase	Días después de la siembra
A) Siembra	
1) Germinación-Emergencia	
-Inicio	10
-50% de la población	12
a) Primera y segunda hoja verdadera	29
2) Tercera hoja verdadera	39
3) Bifurcación	
-Inicio	134
-50% de la población	144
B) Trasplante	
4) Aparición de brotes laterales	
-Inicio	176
-50% de la población	181
5) Floración	
-Inicio	193
-50% de la población	205
6) Fructificación	
-Inicio	200
-50% de la población	223
7) Madurez fisiológica	
-Inicio	281
-50% de la población	295

Fuente: Domínguez y Carnalla (1997).

Para las condiciones de Chapingo, Estado de México, las plántulas de chile manzano tienen cuatro hojas verdaderas entre los 30 y 40 días después de la siembra. Las plántulas de chile manzano estarán listas para ser trasplantadas cuando hayan formado doce hojas verdaderas o cuando aparezca la primera bifurcación en el tallo, lo cual ocurre a los 70 días después de la siembra (Pérez y Castro, 1998).

2.8.3 Tasa de asimilación y crecimiento vegetativo en chile. Existen dos fases distintas en el ritmo de crecimiento de la planta de chile. En la primera fase, considerada de crecimiento lento, sintetiza el 50% de la materia seca total producida y comprende, para cultivos bajo invernadero, desde el trasplante hasta la segunda recolección, con una duración media de 110-120 días. La segunda fase, de crecimiento rápido, comprende el resto del periodo de cultivo, con una duración media de 40-50 días (Nuez *et al.*, 1996).

El porcentaje de materia seca acumulada en los distintos órganos vegetativos de la planta, varía según el estado fenológico de la misma. Las hojas representan más del 50% desde el trasplante hasta la primera recolección de frutos (100 días después del trasplante). Posteriormente son los frutos los que representan el mayor porcentaje hasta el final del periodo de cultivo, significando el 65% del total de materia seca acumulada. Durante el periodo de maduración de los frutos, la planta disminuye el ritmo de crecimiento, debido a que la mayor parte de los productos sintetizados son almacenados en los mismos. El índice de área foliar (superficie foliar total de la planta respecto a la superficie que le corresponde en suelo, según marco de plantación), alcanza al final del cultivo un valor medio de 4,5 para una densidad de plantación de 2,5 plantas·m⁻² (Nuez *et al.*, 1996).

2.9 Suministro de nutrimentos y crecimiento

2.9.1 Importancia. La escasez de unos u otros elementos minerales, o la

proporción anormal entre ellos influye desfavorablemente sobre el crecimiento y la formación de los órganos. En tales condiciones las cosechas disminuyen, o la calidad de la producción disminuye. En algunos casos la recolección no se realiza en los plazos deseables y posibles (Güenkov, 1974).

El estado nutricional de las hortalizas está relacionado con el rendimiento y calidad de la cosecha y se ve afectado, por diversos factores como las propiedades físicas y químicas del suelo, la fertilización aplicada, la precipitación y el riego, la demanda *per se* del cultivo y sus interacciones con otros factores presentes en el suelo (Grageda, 1999).

Wild (1992) indicó que el crecimiento de la planta y la absorción de nutrimentos están relacionados directamente, y que la absorción continuada de nutrimentos solamente se produce si aumenta el tamaño de la planta.

En sistemas de explotación intensiva, como es el caso de las hortalizas, es indispensable que las plantas cuenten con los elementos nutritivos necesarios, en la cantidad y época apropiada. Si éste no fuere el caso, se dejaría de aprovechar el potencial productivo de las diversas variedades y, por lo tanto, la obtención de rendimientos unitarios por debajo de lo que sería una buena rentabilidad económica (Guenkov, 1974).

Dada la esencialidad de los nutrimentos para la formación de nuevas moléculas y nuevas células, existe una relación estrecha entre el suministro de cada nutrimento y el crecimiento experimentado por la planta (Pérez y Martínez, 1994).

Los fotoasimilados producidos en las hojas se combinan con los elementos minerales absorbidos por las raíces para producir los compuestos necesarios para el crecimiento de la planta. Aunque las semillas contienen cantidades apreciables de nutrimentos minerales, la absorción de los contenidos en el

suelo comienza poco después de la germinación y cubre, rápidamente, la mayor parte de las necesidades de estos elementos (Wild, 1992).

2.9.2 Estudios del crecimiento vegetal de acuerdo al suministro de nutrimentos minerales. No se sabe con exactitud cuándo el hombre incorporó por primera vez sustancias orgánicas, estiércol o cenizas vegetales como fertilizantes al suelo para estimular el crecimiento de las plantas. No obstante, hay documentos escritos que datan del año 2500 antes de Cristo en donde el hombre reconoce la riqueza y fertilidad de los suelos aluviales en los valles de los ríos Tigris y Éufrates. Cuarenta y dos siglos después, los científicos estaban todavía luchando por determinar si los nutrimentos de las plantas provenían del agua, aire o eran tomados del suelo por las raíces (Fageria *et al.*, 1991).

Los primeros avances en el desarrollo del conocimiento de la fertilidad de suelos y conceptos de nutrición vegetal fueron lentos, aunque los griegos y romanos hicieron contribuciones significativas en los años 800 a 200 antes de Cristo. El crédito fue principalmente de Justus Von Liebig (1803-1873, citado por Fageria *et al.*, 1991), quien colectó y resumió la información dispersa sobre la importancia de los elementos minerales para el crecimiento vegetal, de tal manera que la nutrición mineral de las plantas fue establecida como una disciplina científica.

La respuesta de las plantas a la limitación de los nutrimentos fue una de los primeros tópicos abordados por la investigación científica en plantas (Gardner *et al.*, 1990).

Se ha comprobado, a partir de numerosos estudios, que el crecimiento es, normalmente, más importante si el suministro de nutrimentos a la planta aumenta a partir de un determinado nivel (Wild, 1992).

Nitrógeno, fósforo, azufre, potasio, calcio y magnesio fueron usados como los

elementos mayores adicionados en experimentos sobre crecimiento de cultivos en agua llevados a cabo a mediados del siglo XIX (Archer, 1988).

Los trabajos clásicos de Liebig, Sachs, Blackman, Mitscherlich, y otros fueron las bases para la formulación de diversas teorías acerca de la limitación de nutrimentos sobre el crecimiento y respuesta de la planta. Algunos de esos conceptos han sido elevados, erróneamente a la categoría de leyes. Las respuestas de la planta y la gran cantidad posible de interacciones son también extensas y complejas para ser pronosticadas. No obstante, un conocimiento de estas teorías puede conducir a una mejor comprensión de las respuestas de la planta y puede ayudar a planear estrategias de manejo (Gardner *et al.*, 1990).

2.9.2.1 Liebig: Ley del mínimo. Liebig fue uno de los primeros investigadores que intentó expresar la relación entre el crecimiento y el suministro de nutrimentos (Wild, 1992).

La “ley del mínimo” propuesta por Justus Von Liebig (1862, citado por Gardner *et al.*, 1990), es probablemente la mejor teoría que se conoce sobre los factores limitantes. Fue enunciada de la siguiente manera: “Una deficiencia o ausencia de un constituyente necesario, estando todos los otros presentes, se traduce en un suelo estéril para los cultivos que necesitan ese nutrimento”. Esto es referido algunas veces como el “concepto del barril”. Si un barril tiene duelas de diferentes alturas, la más baja establece la capacidad del barril. En concordancia, el factor de crecimiento en más bajo suministro (sea climático, edáfico, biológico o genético) determina la capacidad para producir.

Wild (1992) comenta sobre la “ley del mínimo” que el crecimiento de las plantas está regulado por el factor que se encuentra presente en menor cantidad y aumenta o disminuye de acuerdo con su incremento o reducción.

2.9.2.2 Blackman: factores óptimos y limitantes. La teoría de los factores

óptimos y limitantes de Blackman (1905, citado por Gardner *et al.*, 1990) fue enunciada de la siguiente manera: “cuando un proceso está condicionado en su rapidez por un número separado de factores, la velocidad del proceso está limitada por la marcha del factor más bajo. La luz y el dióxido de carbono se requieren para la fotosíntesis. La teoría de Blackman indica que hay una brusca terminación del proceso, la “reacción Blackman”, si uno de esos factores se convierte en limitante. No obstante, la naturaleza parece rechazar esta insinuación y este tipo de respuesta es raramente encontrada. Más bien, las líneas de respuesta de la fotosíntesis a factores limitantes son curvas y se aproximan a un máximo límite asintóticamente.

2.9.2.3 Mitscherlich: ley de los rendimientos decrecientes. Un científico de suelos alemán, E.A. Mitscherlich (1909, citado por Gardner *et al.*, 1990), desarrolló una ecuación que relaciona el crecimiento con el suministro de los factores de crecimiento. Él observó que cuando las plantas tenían adecuadas cantidades de todos los elementos pero uno de ellos era limitante, la respuesta del crecimiento era proporcional a la limitación del elemento. El crecimiento de la planta se incrementa con aumentos adicionales del factor limitante, pero no en directa proporción. La “ley de los rendimientos decrecientes” de Mitscherlich dice: “El incremento producido en cualquier cultivo por el aumento de una unidad de un factor deficiente es proporcional a la disminución de ese factor desde un máximo.” La respuesta es curvilínea, en lugar de lineal como había propuesto Blackman.

Las experiencias de Mitscherlich se hicieron cultivando plantas en arena y suministrando exceso de todos los nutrimentos excepto del que se investigaba (Wild, 1992).

La ecuación de Mitscherlich es como se muestra a continuación:

$$dy/dx = C(A-Y)$$

donde d es el incremento de cambio, dy es la cantidad de incremento en rendimiento (y) resultante de un incremento en el factor de crecimiento (dx), A es el máximo rendimiento obtenido por un suministro ilimitado del factor de crecimiento en cuestión, Y es el rendimiento obtenido con cualquier cantidad suministrada del factor x , y C es una constante de proporcionalidad que depende de la naturaleza del factor de crecimiento. El incremento de crecimiento en y es máximo para el primer incremento en x (Cuadro 3); la cantidad de rendimiento incrementado (y) se hace progresivamente pequeño con cada incremento de x , teóricamente la mitad de la respuesta del incremento anterior (Gardner *et al.*, 1990).

Cuadro 3. Cantidad de nutrimento o factor requerido para conseguir la mitad del rendimiento (unidad Baule), como se aplica en la ecuación de Mitscherlich.

Unidades Baule agregadas	Rendimiento pronosticado % del máximo
0	0.00
1	50.00
2	75.00
3	87.50
4	93.75
∞	100.00

Cuando los rendimientos son expresados en una base relativa ($A=100$), $C=0.301$. Si $A= 100\%$, la ecuación puede ser escrita como se muestra a continuación:

$$\log (100 - Y) = \log 100 - 0.301x$$

La cantidad de un nutrimento u otro factor necesario para conseguir la mitad del rendimiento máximo es conocida como una *unidad Baule*. De esta hipótesis, como se ve en la ecuación, los rendimientos pueden ser pronosticados con unidades Baule adicionadas (Cuadro 3).

Willcox (1937, citado por Gardner *et al.*, 1990), propuso que el valor de C en la ecuación es una constante para todos los cultivos, pero esta idea en general no ha sido aceptada.

2.9.2.4 Macy: Porcentajes críticos. Macy (1936, citado por Gardner *et al.*, 1990) agregó una nueva dimensión a estos conceptos al sugerir una afinidad entre la disponibilidad de nutrimentos y la respuesta de la planta en términos de rendimiento, teniendo en cuenta la concentración de nutrimentos en los tejidos de la planta. Macy propuso un porcentaje crítico para cada nutriente en cada clase de planta. En el menor rango del porcentaje crítico del tejido, un incremento adicionado de un nutrimento aumenta el rendimiento pero no el porcentaje del nutrimento.

2.10 Importancia de los nutrimentos minerales

2.10.1 Aspecto general. Los avances científicos en la nutrición vegetal y fertilización han revolucionado la producción de cultivos. Con frecuencia los bajos rendimientos en muchos países son principalmente debido a la falta de nutrimentos (Gardner *et al.*, 1990).

El desarrollo económico de la sociedad moderna depende de los cultivos como materiales necesarios, directa o indirectamente, para el consumo humano. La cantidad adecuada de nutrimentos minerales que se suministre a los cultivos es el factor más importante en la obtención de alta productividad (Fageria *et al.*, 1991).

La nutrición mineral incluye el suministro, absorción y utilización de los nutrimentos esenciales para el crecimiento y producción de los cultivos (Fageria *et al.*, 1991).

La decisión sobre la cantidad de nutrimentos para fertilizar un cultivo, se basa

generalmente en tres parámetros: 1) demanda del cultivo del nutrimento dado; 2) la capacidad de suministro del suelo donde se va a establecer el cultivo; 3) la eficiencia del fertilizante que lo contiene y que se va a utilizar. Por lo anterior se considera que: dosis de fertilización = $(1-2)/3$. (Grageda, 1999).

Ya en los albores del siguiente milenio, la agricultura tecnificada mundial sigue utilizando a la fertilización o abonamiento como una de las herramientas claves para la obtención de altos rendimientos y máximas utilidades en el negocio agrícola (Guerrero, 1996).

El uso de fertilizantes sin embargo, requiere por parte de los agricultores y ganaderos, una buena orientación técnica (Acosta, s.f.).

La demanda de cada cultivo está basada principalmente en la habilidad para absorber una cantidad de nutrimentos necesarios para obtener una meta de producción, los cuales se contabilizan por la concentración en la materia seca de los productos cosechados, es decir frutos y follaje (Grageda, 1999).

En las hortalizas, las exigencias de calidad (tamaño, color, textura, firmeza, sabor, etc.) son mayores, por lo que generalmente tienen una demanda intensiva de la mayoría de nutrimentos. En las especies de fruto y flor, la extracción de N, P, y K, es muy lenta en el primer mes de desarrollo de los cultivos, pero a partir del segundo mes se incrementa drásticamente, es decir en los períodos de floración, amarre y desarrollo del fruto (40-70 días después del trasplante) (Grageda, 1999).

En tomates y chiles, los elementos extraídos se localizan principalmente en los frutos para el caso de nitrógeno y fósforo, mientras que el potasio, por el contrario se localiza en su mayor parte en tallos y hojas (Grageda, 1999).

2.10.2 Los elementos esenciales para las plantas. Las plantas superiores

son los únicos organismos que pueden sintetizar todas las sustancias que requieren, incluyendo aminoácidos, hormonas y vitaminas, si consiguen 13 nutrientes minerales esenciales junto con dióxido de carbono y agua. Las plantas verdes son autótrofas, esto es, pueden sintetizar todos los constituyentes necesarios para el crecimiento desde los elementos básicos. De igual manera, las plantas verdes son fotolitotróficas, lo que significa que los componentes esenciales del crecimiento son sintetizados en presencia de luz y de elementos inorgánicos o lógicos (del suelo) (Gardner *et al.*, 1990).

Todos los elementos químicos incluyendo a los nutrimentos, se encuentran en forma iónica en la solución del suelo, con carga positiva (catión) o negativa (anión), los cuales pueden ser atraídos por los pelos radicales o repelidos por los sitios de intercambio de las partículas que conforman la matriz del suelo (arcillas y limos) y el material orgánico (humus) (Grageda, 1999).

Fageria *et al.* (1991) indicaron que la esencialidad de un nutrimento para el crecimiento de la planta está basada en los siguientes criterios: 1) La omisión del elemento en cuestión trae como consecuencia un crecimiento anormal, trastornos para completar el ciclo de vida (por ejemplo para semillas viables), o muerte prematura de la planta; 2) Que el elemento forme parte de una molécula o constituyente esencial de la planta. Ejemplos son el nitrógeno en las proteínas y magnesio en la clorofila y; 3) El elemento ejerce su efecto directamente sobre el crecimiento o metabolismo y no por algún efecto indirecto como antagonismo de otro elemento presente en niveles tóxicos.

Las plantas contienen pequeñas cantidades de 90 o más elementos, pero solo 16 son conocidos como esenciales. Los nutrimentos esenciales están divididos en dos grupos, basándose en la cantidad requerida por las plantas. Aquellos que se requieren en considerables cantidades son clasificados como macronutrimentos y los que se requieren en pequeñas cantidades, como micronutrimentos (Fageria *et al.*, 1991).

La distinción entre macronutrientes o elementos mayores y micronutrientes o elementos menores (llamados elementos trazas) está adjudicada de manera arbitraria (Archer, 1988):

Carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre son conocidos como macronutrientes. En el grupo de los micronutrientes están hierro, manganeso, boro, zinc, cobre, molibdeno y cloro. Sodio, sílice y cobalto son benéficos para algunas plantas, pero no han sido establecidos como elementos esenciales para las plantas superiores (Fageria *et al.*, 1991).

Aun cuando algunos de esos elementos son conocidos desde tiempos antiguos, su esencialidad ha sido establecida solamente hasta el siglo pasado (Fageria *et al.*, 1991).

2.10.3 Funciones de los elementos esenciales en las plantas. La clasificación de macro y micro nutrientes simplemente está basada en la cantidad requerida. Todos los nutrientes son igualmente importantes para el crecimiento de las plantas. Si ocurre deficiencia de alguno de ellos en el medio de crecimiento, este proceso se ve afectado adversamente (Fageria *et al.*, 1991).

Los macronutrientes juegan un papel principal en la estructura de la planta, mientras que los micronutrientes están principalmente involucrados en los procesos enzimáticos (Fageria *et al.*, 1991).

La fertilización con elementos nutrientes mayores: Nitrógeno, Fósforo, Potasio, es la que rutinariamente se efectúa en los cultivos y en algunos casos si hay sospecha de deficiencias, de Calcio, Magnesio y Azufre (DTM, s.f.).

La importancia de los elementos menores está relacionada con la remoción de

mayores cantidades por los cultivos de alto rendimiento cosecha tras cosecha y los suelos no pueden proveer cantidades adecuadas para suplir las demandas ya que están relacionadas con el origen, formación geoquímica, características físicas y contenido de materia orgánica de los suelos (DTM, s.f.).

El principal problema que enfrenta el agricultor en cuanto a los micronutrientes, radica en que las plantas no demuestran la deficiencia de estos sino cuando el cultivo ya ha sufrido un daño serio, que lógicamente afectará la cosecha. Este fenómeno de no mostrar los síntomas de deficiencias se conoce como HAMBRE OCULTA y consiste en que las producciones obtenidas aparentemente buenas, podrían haber sido superiores si el cultivo hubiera dispuesto de las cantidades adecuadas de todos los nutrientes (Vera, s.f.).

2.10.3.1 Estructura básica: carbono, hidrógeno y oxígeno. Los carbohidratos $(CH_2O)_n$ constituyen el almacén o estructura de las plantas y son una fuente de energía metabólica. Incluyen numerosos ácidos orgánicos, azúcares simples y complejos, y polímeros de azúcares, como almidón, celulosa y hemicelulosa. Los ácidos orgánicos son los precursores de aminoácidos, los cuales se polimerizan con los enlaces peptídicos para formar proteínas. En peso, aproximadamente el 45, 6, y 43% de una planta está compuesta de C, H y O, respectivamente. Por ello, más del 90% del peso seco o rendimiento del cultivo se deriva del aire y del agua (Gardner *et al.*, 1990).

2.10.3.1.1 Carbono. Es el componente molecular básico de los carbohidratos, proteínas, lípidos y ácidos nucleicos (Fageria *et al.*, 1991).

2.10.3.1.2 Hidrógeno. Juega un papel central en el metabolismo de la planta. Es importante en los balances iónicos, como gran agente reductor y es clave en las relaciones de energía de las células (Fageria *et al.*, 1991).

2.10.3.1.3 Oxígeno. El oxígeno es un tanto parecido al carbono en que se encuentra virtualmente en todos los compuestos orgánicos de los organismos vivos (Fageria *et al.*, 1991).

2.10.3.2 Nitrógeno. El contenido promedio de nitrógeno en las plantas se encuentra entre el 2 y 4% y puede llegar a 6% (Gardner *et al.*, 1990).

El nitrógeno es un constituyente de los aminoácidos, amidas, bases nitrogenadas, proteínas y nucleoproteínas. También es constituyente de un gran número de compuestos denominados alcaloides, cuya función no está bien entendida y que evidentemente no son metabolitos esenciales. Se piensa que sirven como compuestos almacenadores de nitrógeno (Gardner *et al.*, 1990).

Es esencial en la división y expansión celular, por lo tanto en el crecimiento. El nitrógeno es móvil en la planta; se mueve a los tejidos jóvenes, de tal manera que una deficiencia es primeramente visible en las hojas más viejas. Una deficiencia interrumpe los procesos de crecimiento, causando achaparramiento, amarillamiento y reducidos rendimientos de materia seca (Gardner *et al.*, 1990).

La deficiencia de nitrógeno reduce el contenido de agua de la planta y de ahí que sus síntomas sean parecidos a los de falta de agua (Vera, s.f.).

La carencia de nitrógeno en la planta de chile se suele manifestar como una detención general del crecimiento y desarrollo de la planta. Se observa un amarillamiento difuso del follaje y reducción de la floración y fructificación. En análisis foliares los niveles de carencia aparecen entre 20 y 25 mg·g⁻¹ (Nuez *et al.*, 1996).

En el chile, el exceso de nitrógeno provoca un desarrollo excesivo de la parte aérea de la planta, que acentúa los desequilibrios hídricos. Estos se ponen de manifiesto con los fallos de cuajado y la aparición de podredumbres apicales en

los frutos, particularmente en los períodos calurosos (Nuez *et al.*, 1996).

2.10.3.3 Fósforo. Usualmente se presenta en concentraciones extremadamente bajas en la solución del suelo. Es un constituyente esencial en los compuestos que transfieren energía (ATP y otras nucleoproteínas), el sistema de información genética (ADN y ARN), membranas celulares (fosfolípidos) y fosfoproteínas (Gardner *et al.*, 1990).

El fósforo también juega un papel importante en el metabolismo de las proteínas (Fageria *et al.*, 1991).

Es móvil y redistribuido desde los tejidos viejos hacia los jóvenes, de tal manera que las hojas viejas son las primeras en mostrar los síntomas de deficiencias (Gardner *et al.*, 1990).

La deficiencia de fósforo retarda el crecimiento y produce coloración morada en el follaje de algunas plantas debido a que acumula gran cantidad de azúcares en los tejidos, lo que ocasiona un notable aumento de los pigmentos morados llamados antocianinas (Vera, s.f.).

Al cultivar chile, habrá que prestar especial atención al fósforo en suelos en los que abunde el calcio. Este elemento suele combinarse con el fósforo formando compuestos no asimilables por las raíces. El calcio en exceso, al provocar el ascenso del pH, también inmoviliza diversos microelementos, en particular al hierro. En este caso se produce el fenómeno denominado clorosis férrica (Nuez *et al.*, 1996).

La clorosis férrica en el chile se muestra con la aparición de una clorosis difusa, particularmente en las hojas más jóvenes, en la base del limbo. El tono amarillo de la clorosis puede acabar en blanco si la carencia es muy intensa. La planta sufre una detención general del crecimiento, con caída parcial de flores y frutos.

De éstos, los que permanecen en la planta son de tamaño reducido y presentan defectos de pigmentación (Nuez *et al.*, 1996).

2.10.3.4 Potasio. Si bien el potasio es esencial para todas las plantas superiores e inferiores, no es parte de ningún constituyente conocido de las plantas. Es almacenado en grandes cantidades en las vacuolas (Gardner *et al.*, 1990).

Una de sus funciones importantes es como cofactor o activador de enzimas del metabolismo de muchos carbohidratos y proteínas (Fageria *et al.*, 1991).

El potasio también ayuda en el mantenimiento del potencial osmótico y toma de agua. Las plantas bien alimentadas con potasio pierden poca agua, ya que el potasio incrementa el potencial osmótico y tiene una influencia favorable en el cierre estomático. También sirve para balancear las cargas de los aniones y tiene influencia en su toma y transporte (Gardner *et al.*, 1990).

Se ha reportado que el potasio reduce la incidencia de ciertas enfermedades (Gardner *et al.*, 1990).

Las deficiencias severas de potasio causan pequeñas manchas necróticas entre las nervaduras y quemazón de los bordes y ápices de las hojas viejas de muchas especies (Gardner *et al.*, 1990).

También se ha encontrado que las deficiencias de potasio producen además caída prematura de hojas y frutos o malformación de éstos, según el cultivo (Vera, s.f.).

En el cultivo del chile, la carencia de potasio se evidencia por la muerte prematura de las hojas, defectos de pigmentación en el fruto y mayor sensibilidad de las plantas al estrés hídrico. Su exceso reduce la asimilación de

calcio y magnesio, manifestándose los frutos más sensibles a la necrosis apical (Nuez *et al.*, 1996).

2.10.3.5 Calcio. El calcio está involucrado en la división celular y juega un papel más importante en el mantenimiento de la integridad de las membranas (Fageria *et al.*, 1991).

Es un componente de la pared celular, particularmente de las sustancias cementantes, los pectatos de calcio. Se encuentra también como oxalato de calcio y carbonato de calcio en las vacuolas. Estas sales supuestamente estabilizan los ácidos orgánicos a niveles no tóxicos. Es esencial para la división y elongación celular (Gardner *et al.*, 1990).

Una deficiencia de calcio causa malformación y muerte de meristemos (raíces, brotes, frutos y nódulos), posiblemente debido a las fallas en el transporte por floema y su inmovilidad en la planta (Gardner *et al.*, 1990).

Las deficiencias de calcio son vistas primero en las partes jóvenes de la planta como hojas cloróticas y deformes; rara vez se observan en los órganos viejos (Gardner *et al.*, 1990).

El calcio no es redistribuido a los tejidos jóvenes; en consecuencia, las hojas jóvenes y frutos en desarrollo dependen totalmente del calcio liberado en la corriente de transpiración del xilema (Gardner *et al.*, 1990).

2.10.3.6 Magnesio. Es el centro de la molécula de clorofila, un quelato de magnesio en el cloroplasto. También se quelata con ADP, ATP y ácidos orgánicos. El magnesio es activador de las enzimas de fotosíntesis y respiración y es necesario para la síntesis de proteínas (Gardner *et al.*, 1990).

Fageria *et al.* (1991) indicaron que el magnesio es un cofactor para muchas

reacciones enzimáticas.

Las deficiencias de magnesio generalmente se observan primero como clorosis intervenal en las hojas más viejas, pero puede avanzar hasta afectar a las hojas jóvenes (Gardner *et al.*, 1990).

Entre las posibles carencias nutritivas del chile, la falta de magnesio es la de incidencia más acusada en la práctica de cultivo (Nuez *et al.*, 1996).

Al ser el magnesio un constituyente fundamental de la clorofila, los síntomas de carencia de magnesio se inician en las hojas, en la zona intervenal, en forma de manchas cloróticas. Las venas y el tejido adyacente no cambian de color. Estos síntomas se observan especialmente en las hojas adultas. Las deficiencias moderadas no restringen el crecimiento. Cuando la deficiencia es más acusada, la clorosis se intensifica, apareciendo eventualmente zonas necróticas. Los frutos no son afectados en su forma, pero suelen ser algo más pequeños y menos numerosos, debido a fallos de fructificación provocados por la carencia. Estos síntomas, en su fase temprana, pueden confundirse con ataques de virus, particularmente los del virus del mosaico de la alfalfa (AMV) (Nuez *et al.*, 1996).

Los terrenos más expuestos a los fenómenos de carencia de magnesio son los terrenos arenosos, en los que los elementos nutritivos son lavados con facilidad. Los fenómenos de carencia también se ponen de manifiesto cuando el chile sigue en la alternativa de cultivos a otras especies muy exigentes, como maíz y cultivos de huerta en general (Nuez *et al.*, 1996).

2.10.3.7 Hierro. Es un constituyente de las enzimas transportadoras de electrones, por ejemplo, los citocromos y ferredoxina, las cuales son activas en la fotosíntesis y respiración mitocondrial. Es un constituyente de las enzimas catalasa y peroxidasa, las cuales catalizan la ruptura del H_2O_2 en H_2O y O_2 , previniendo la toxicidad del H_2O_2 (Gardner *et al.*, 1990).

Aun cuando el hierro no es parte de la molécula de clorofila, afecta los niveles de la misma, debido a que debe estar presente para la formación de cloroplastos (Gardner *et al.*, 1990).

El hierro es altamente inmóvil en la planta y no se redistribuye (Gardner *et al.*, 1990).

La deficiencia de hierro, como las de boro, manganeso y zinc, es común en suelos calcáreos o fuertemente encalados. Produce amarillamiento de las hojas nuevas y de los cogollos pero las venas principales retienen su color verde. Las hojas afectadas no presentan quemazones (Vera, s.f.).

2.10.3.8 Manganeso. Es un activador de varias enzimas, especialmente las involucradas en la síntesis de ácidos grasos y nucleótidos. Es esencial en la respiración y fotosíntesis. En la fotosíntesis, Mn^{+2} es oxidado a Mn^{+3} con la transferencia del un electrón del agua a la molécula de clorofila (Gardner *et al.*, 1990).

El manganeso puede sustituir al magnesio en ciertas reacciones; ambos iones son capaces de reaccionar con ciertas enzimas (ejemplo fosfoquinasa y fosfotransferasa). También activa la ácido-indolacético oxidasa, lo cual resulta en una concentración baja de ácido indolacético en los tejidos (Gardner *et al.*, 1990).

La deficiencia de manganeso se manifiesta por amarillamiento de las hojas nuevas en manchas a lo largo de las venas más pequeñas, por lo que la hoja toma apariencia moteada. Algunas de las manchas dejan huecos pequeños por muerte del tejido (Vera, s.f.).

2.10.3.9 Zinc. Es esencial para las enzimas en la síntesis de triptófano, el precursor del ácido indolacético. Las plantas deficientes en zinc son bajas en

triptófano y ácido indolacético, presentando hojas pequeñas y abscisión temprana (Gardner *et al.*, 1990).

El zinc es indispensable en la formación de la clorofila. Sus funciones están asociadas a las del hierro, cobre y manganeso. Cuando hay deficiencia de zinc, los cogollos y brotes se acortan y se vuelven arrosetados. Las hojas se amarillan y aparecen manchas de tejido muerto, a veces rodeadas de un halo más pálido (Vera, s.f.).

2.10.3.10 Boro. Se cree que influye en el desarrollo celular por el control del transporte de azúcares y formación de polisacáridos. Otra función atribuida a este elemento es juntándose al sitio activo de la fosforilación para inhibir la formación de almidón, con lo que se previene la excesiva polimerización en los sitios de síntesis de azúcares (Gardner *et al.*, 1990).

El boro está asociado a la utilización del calcio, nitrógeno y fósforo y de los azúcares y carbohidratos en la planta y promueve el crecimiento de las partes terminales de las plantas (Vera, s.f.).

Una deficiencia de boro se manifiesta por el amarillamiento de las hojas nuevas que cesan de crecer y a menudo mueren. Los tejidos en crecimiento se rompen y degeneran formando grietas. Las venas principales se agrietan y decoloran. Debajo de las hojas salen brotes que posteriormente mueren, lo que da a la planta muchas ramificaciones de entrenudos muy cortos (Vera, s.f.).

2.10.3.11 Cobre. Juega un papel importante en la fotosíntesis siendo parte de la enzima plastocianina de los cloroplastos en el sistema transportador de electrones entre el fotosistema I y II. La mayoría del cobre en plantas se encuentra en los organelos. Es parte de varias oxidadas, como ácido ascórbico oxidasa y polifenol oxidasa (Gardner *et al.*, 1990).

El cobre actúa conjuntamente con el manganeso y el zinc en la utilización y movilización de otros nutrientes. Ayuda al desarrollo de las raíces y a la formación de proteínas y enzimas (Vera, s.f.).

La carencia de cobre hace que las hojas superiores de la planta pierdan su turgencia y rigidez y se marchiten permanentemente (Vera, s.f.).

2.10.3.12 Molibdeno. El único uso conocido del molibdeno es en las enzimas nitrito-reductasa y nitrato-reductasa, donde actúa como un portador de electrones entre los estados oxidados y reducidos.

Vera (s.f.) indicó que el molibdeno es indispensable para la fijación del nitrógeno por las raíces de las leguminosas.

Su deficiencia produce hojas moteadas de amarillo y en estado avanzado el secamiento y muerte de las puntas y las márgenes. Si la planta continúa creciendo las hojas serán deformadas (Vera, s.f.).

2.10.3.13 Cloro. Casi todas las especies absorben de 10 a 100 veces más cloro del que necesitan, por lo que esto representa un ejemplo común de consumo extra. Una de las funciones del cloro consiste en estimular la ruptura (oxidación) de la molécula de H_2O durante la fotosíntesis, aunque también es esencial en las raíces, para la división celular en las hojas y como soluto osmóticamente activo de importancia (Salisbury y Ross, 1994).

Los síntomas de deficiencia de cloro en hojas consisten en crecimiento reducido, marchitamiento y desarrollo de manchones cloróticos y necróticos. Las hojas con frecuencia llegan a adquirir un color bronceado. Las raíces se reducen en longitud pero adquieren mayor grosor, o forma de garrote, hacia las puntas (Salisbury y Ross, 1994).

El cloro muy rara vez (o nunca) está ausente en la naturaleza, debido a su elevada solubilidad y disponibilidad en los suelos, y a que también es transportado en el polvo o en pequeñas gotitas por el viento o la lluvia a las hojas en donde ocurre la absorción (Salisbury y Ross, 1994).

2.11 Extracción de nutrimentos por el cultivo del chile. Son diversos los factores que influyen en los ritmos de absorción de nutrimentos por el cultivo, entre los que cabría reseñar: material vegetal, condiciones ambientales, calidad del agua de riego y técnicas de cultivo (Nuez *et al.*, 1996).

De todos los órganos vegetativos de la planta, las hojas han mostrado ser las que dan una información más precisa de la absorción de nutrimentos. Según Cadahía (1988, citado por Nuez *et al.*, 1996), los valores medios de referencia de la concentración mineral en hoja de chile son los que se muestran en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Niveles foliares de referencia para cultivo de chile, según Cadahía (1988, citado por Nuez *et al.*, 1996).

Nutrimento	Alto	Normal	Medio
Nitrógeno (%)	5.1-6.0	4-5	3-3.9
Fósforo (%)	0.7-0.8	0.3-0.7	0.2-0.3
Potasio (%)	5.6-6.0	4.5-5.5	3.5-4.5
Calcio (%)	4.1-5.0	2.0-4.0	0.5-1.9
Magnesio (%)	1.8-2.5	1.0-1.7	0.5-0.9
Manganeso ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	201-500	90-200	41-89
Hierro ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	201-500	80-200	61-80
Cobre ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	21-50	10-20	5-10
Boro ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	61-80	20-60	13-19
Cinc ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	61-100	25-60	15-24

En el Cuadro 5 aparecen las cantidades totales de macronutrientes extraídos por tonelada de fruto fresco producido, en cultivos al aire libre y en cultivos bajo invernadero sin calefacción, según varios autores, citados por Nuez *et al.* (1996).

Cuadro 5. Kg de nutrientes extraídos por las plantas de chile por tonelada de fruto fresco producido.

Autores	kg·t ⁻¹				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Ansett <i>et al.</i> (1965)					
Aire libre					
Var: Doux des Landes	3.72	1.03	4.98	2.96	0.60
Rodríguez <i>et al.</i> (1989)					
Aire libre					
Var: Bola y Negral	3.30	0.93	5.75	-	-
Var: Belrubi y Datler	2.30	0.74	4.50	-	-
Martínez <i>et al.</i> (1989)					
Aire libre					
Var: Morrón de Conserva	2.33	0.77	3.56	-	-
Grainfenberg <i>et al.</i> (1985)					
Invernadero					
Var: Yolo Wonder	4.10	0.52	5.12	3.78	0.46
Var: Heldor F ₁	5.25	0.67	6.69	4.81	0.64
Rincón <i>et al.</i> (1993)					
Invernadero					
Var: Lamuyo F ₁	2.93	0.76	4.60	1.69	1.07

Fuente: Nuez *et al.* (1996).

De la observación del Cuadro 5 se deduce que existen diferencias en las extracciones según variedades y formas de cultivo; según Grainfenberg *et al.* (1985, citados por Nuez *et al.*, 1996) las extracciones en cultivo en invernadero son mayores en potasio y menores en fósforo que a campo abierto.

En el Cuadro 6 se muestran las extracciones periódicas acumulativas de macronutrientes, en el cultivo de chile en invernadero del tipo Lamuyo F₁, con una producción de 10 kg·m⁻² según Rincón *et al.* (1993, citados por Nuez *et al.*, 1996).

Cuadro 6. Extracción periódica acumulativa de N, P₂O₅, K₂O, Ca y Mg del chile Bell-pepper de invernadero para una producción de 10 kg·m⁻², según Rincón *et al.* (1993, citados por Nuez *et al.*, 1996).

Tiempo medio después del trasplante (días) ^z	kg.ha ⁻¹				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg
35	1.80	0.30	3.00	1.20	0.50
55	8.80	1.60	18.50	5.70	2.30
70	26.25	5.20	52.00	16.00	6.50
85	46.00	8.50	91.00	26.00	10.00
100	85.50	20.00	163.00	55.00	22.50
120	140.00	32.00	273.00	71.00	32.50
140	215.00	54.00	370.00	91.00	45.00
165	293.00	76.00	460.00	121.00	63.00

^zLa duración del periodo de cultivo puede variar en función de las condiciones climáticas

De lo anterior se deduce que de las cantidades totales extraídas, los frutos exportan la mayor parte de nitrógeno (64%) y fósforo (75%), siendo el resto de órganos vegetativos (hojas, tallos y peciolas) los que acumulan la mayor cantidad de calcio (95%) y magnesio (75%). El potasio es acumulado prácticamente en partes iguales por frutos y resto de órganos vegetativos. Según Rincón *et al.* (1993, citados por Nuez *et al.*, 1996), las mayores cantidades de nutrientes extraídas por el cultivo, se consumen desde la primera recolección hasta el final del periodo del cultivo, siendo las proporciones medias extraídas en esta etapa (100-165 días después del trasplante) del 70% de N, 79% de P₂O₅, 62% de K₂O, 54% de Ca y 65% de Mg.

2.12 Fertirrigacion en el cultivo de chile. En casi todos los cultivos intensivos de chile, el sistema de riego empleado es localizado. La mayor ventaja de este sistema radica en la posibilidad de hacer una fertilización día a día, en función del proceso fotosintético y exactamente a la medida del cultivo, del sustrato, del agua de riego y para unas condiciones ambientales definidas. La fertirrigación es por tanto el proceso conjunto de riego y abonado (Nuez *et al.*, 1996).

Existe una estrecha relación entre agua utilizada y cantidad de materia seca producida. Si se tiene en cuenta que existe un rango de concentración de nutrimentos referido a la materia seca acumulada por la planta, evidentemente las soluciones nutritivas deberán contener los iones en una concentración suficiente para satisfacer a tiempo las necesidades de agua y iones de la planta (Gariglio y Marano, 1997).

En las plantas que tienen una tasa de crecimiento más alta, la relación materia seca/agua será más elevada que en las plantas de menor tasa de crecimiento. Por lo tanto la concentración de la solución debe ser mayor en el primer tipo de plantas (Gariglio y Marano, 1997).

Numerosos estudios han puesto de manifiesto que el riego localizado aumenta la eficacia de los fertilizantes, por permitir un suministro continuo de nutrimentos en relación directa con las necesidades de las plantas (Nuez *et al.*, 1996).

2.12.1 Equipo básico para la fertirrigación del chile. El equipo básico de fertirrigación se compone de las soluciones nutritivas, como fuente de nutrimentos, los tanques de disolución, el equipo de inyección y los diferentes automatismos (Nuez *et al.*, 1996).

En los experimentos de fisiología vegetal con micronutrimentos en cultivo en agua, es esencial que la solución nutritiva permanezca libre de materiales de la instalación, la cual puede desprender cualquier traza de un micronutriente en

particular. Por esta razón, la instalación debe ser construida exclusivamente con materiales plásticos (Uittien y Steiner, 1969).

Las sales fertilizantes que se utilicen en la composición de la solución nutritiva del chile deben ser altamente solubles y con bajos contenidos de impurezas. Las soluciones nutritivas de riego deben ser conseguidas a partir de soluciones madre concentradas, que serán diluidas en el momento de su utilización. Su renovación debe ser frecuente, no diaria, con un intervalo medio entre 5 y 7 días (Nuez *et al.*, 1996).

Debido a la incompatibilidad de ciertos iones, es necesario, para la preparación de una solución nutritiva completa, disponer como mínimo de dos soluciones madre. Una de ellas estará compuesta por los iones fosfato y la otra por los iones calcio, ya que los fosfatos precipitan con el ión calcio en soluciones concentradas. El resto de las sales fertilizantes se irán añadiendo a cada una de ellas (Nuez *et al.*, 1996).

En los tanques de disolución, en los que se almacenan las soluciones madre concentradas, se aporta en primer lugar el 40-50% del volumen de agua final y después se añaden las diferentes sales fertilizantes. Es conveniente disolver primero las sales más solubles y ácidas y a continuación las demás. Los microelementos se deben de añadir en la última fase de agitación (Nuez *et al.*, 1996).

Para prevenir el crecimiento de algas, se colocan cubiertas plásticas sobre el tanque para mantener la solución nutritiva lo más oscura posible (Uittien y Steiner, 1969).

Para el cultivo de chile, el pH de las soluciones madre es conveniente que quede ácido, entre 5 y 5,5, para evitar posibles precipitaciones (Nuez *et al.*, 1996).

Los inyectores incorporan, a concentración constante, los fertilizantes previamente disueltos en la red de riego. Su accionamiento puede ser mediante energía eléctrica, hidráulica, mecánica o mediante efecto Venturi (Nuez *et al.*, 1996).

Los automatismos son aquellos elementos que permiten la programación del riego y el abonado, llegando hasta el ordenador como base de la programación (Nuez *et al.*, 1996).

2.12.2 Fertirrigación del chile manzano en invernadero. Investigaciones de Pérez y Castro (1998) en Chapingo, Estado de México, concluyen que para el caso de la producción de chile manzano en maceta y en invernadero, debe aplicarse una solución nutritiva a través del sistema de riego por goteo. La solución nutritiva se prepara disolviendo en 1,000 litros de agua los fertilizantes que se señalan en el Cuadro 7, siguiendo el mismo orden para disolverlos.

En la preparación de la solución nutritiva se debe tener especial cuidado con la acidez de ésta; es decir, el pH debe ser de 5.0 a 5.5 por lo que debe regularse a través de la aplicación de ácido sulfúrico medido con un potenciómetro al inicio y al término de la preparación de la solución nutritiva (Pérez y Castro, 1998).

Durante los primeros 20 días después del trasplante de las plántulas a la maceta definitiva es recomendable aplicar esta solución nutritiva diluida a una concentración de 25%; durante los siguientes 30 días, debe aumentarse su concentración a 50%; en los siguientes 50 días incrementarla a 75%; y en el resto del ciclo, aplicarla al 100% (Pérez y Castro, 1998).

Los riegos deben aplicarse de manera independiente a la solución nutritiva para evitar el cambio en la concentración de ésta. En los primeros 20 días a cada maceta debe aplicarse medio litro de agua repartidos en dos riegos y un cuarto de litro de solución nutritiva. Después, durante los siguientes 30 días debe

aplicarse un litro de agua repartido en dos riegos y un litro de solución nutritiva. Posteriormente, durante los siguientes 50 días aplicar un litro de agua y un litro y medio de solución nutritiva. Finalmente, aplicar un litro de agua en tres riegos y dos litros de solución nutritiva y mantenerlo así hasta el final del ciclo del cultivo o incrementar a dos litros y medio si es necesario (Pérez y Castro, 1998).

El gasto de los goteros debe ser de 4 litros por hora y las mangueras de 12 milímetros de diámetro (Pérez y Castro, 1998).

Cuadro 7. Cantidad de fertilizantes en gramos utilizados para preparar 1,000 litros de solución nutritiva para irrigar plantas de chile manzano establecidas en maceta y en invernadero (Pérez y Castro, 1998).

Fuente	Cantidad (g · 1000 litro ⁻¹)
Acido fosfórico ^z	30
Sulfato de potasio	870
Sulfato de magnesio	1,230
Nitrato de potasio	750
Nitrato de calcio	2,600
Sulfato ferroso	50
Sulfato de manganeso	5
Sulfato de zinc	2
Sulfato de cobre	2
Bórax	10

^z Esta fuente está expresada en mililitros, ya que es un líquido

2.13 Solución nutritiva universal de Steiner. Los experimentos fisiológicos sobre nutrición han sido realizados para investigar, entre otras cosas, la influencia de una amplia gama de composiciones de soluciones nutritivas sobre el desarrollo y comportamiento de las plantas (Steiner, 1961).

Durante el sexto coloquio del Instituto Internacional de la Potasa en Florencia, Italia en 1968, Steiner presentó la composición de su solución nutritiva universal. Esta fórmula todavía es la más ampliamente usada que se conoce y ha sido empleada para incrementar la magnitud del crecimiento de las plantas cultivadas con métodos en agua, para experimentos concernientes a investigaciones en fisiología vegetal y para la producción comercial de plantas con diversos métodos de cultivo sin suelo (Steiner, 1984).

La publicación original de la solución nutritiva universal conseguida por Steiner, se basó en una presión osmótica de 0.7 atmósferas y pH de 6.5. Estos valores no son universales. Solamente las relaciones mutuas entre los aniones y los cationes se conciben como universales, permitiendo diferentes preparaciones a distintas presiones osmóticas deseadas y valores de pH (Steiner, 1984).

La solución nutritiva universal de Steiner expresa las relaciones mutuas entre los cationes potasio, calcio y magnesio y entre los aniones nitrato, fosfato y sulfato (Steiner, 1984).

En la publicación original de la solución nutritiva universal de Steiner solamente son mencionados los macroelementos. Sin embargo, es completamente lógico que también los micro-elementos indispensables como hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), boro (B), cobre (Cu) y molibdeno (Mo) deben estar presentes en la solución nutritiva (Steiner, 1984).

En la solución nutritiva universal de Steiner, todo el nitrógeno está presente como NO_3^- , no como NH_4^+ . La razón es que los iones NH_4^+ en una solución nutritiva son tóxicos en mayor o menor grado para muchas plantas (Steiner, 1984).

La fórmula de la solución nutritiva universal de Steiner (Cuadro 8) satisface las siguientes condiciones: 1) Las relaciones mutuas deseadas entre aniones; 2)

Las relaciones mutuas deseadas entre cationes; 3) La concentración total de iones deseada; y 4) El valor deseado de pH con una tolerancia de ± 0.1 (Steiner, 1984).

Cuadro 8. Fórmula de la solución nutritiva universal de Steiner, Steiner (1984).

	K^+	Ca^{++}	Mg^{++}	NO_3^-	$H_2PO_4^-$	$SO_4^{=}$	Total
iones ($mg \cdot litro^{-1}$)	7.080	4.552	2.023	11.888	0.991	3.467	30.001
meq·litro ⁻¹	7.080	9.103	4.046	11.888	0.991	6.934	

Steiner (1984) indicó además que para ciertos propósitos de investigación puede ser deseable no considerar las relaciones entre iones conseguidas en la solución nutritiva universal, sino mezclas muy especiales; por ejemplo para que la planta consuma ciertas cantidades que le permitan soportar el ataque de algunos insectos o de hongos, o para formar paredes celulares o algunas otras estructuras (Cuadro 9).

Cuadro 9. Solución nutritiva para propósitos investigativos (Steiner, 1984).

	K^+	Ca^{++}	Mg^{++}	NO_3^-	$H_2PO_4^-$	$SO_4^{=}$	Total
iones($mg \cdot litro^{-1}$)	6.554	1.966	1.311	6.477	0.907	2.785	20.000
meq·litro ⁻¹	6.554	3.932	2.622	6.477	0.907	5.570	

Esta fórmula calculada para una solución nutritiva a pH 6.0 ± 0.1 , que contiene 20 mg de iones por litro no es la solución nutritiva universal (Steiner, 1984).

En cuanto a la calidad del agua, hay que ser explícito en decir que todas las fórmulas que se deseen preparar, dependerán solamente del uso de agua destilada o completamente desmineralizada (Steiner, 1984).

Para complementar, se hace una mención general de los límites de las concentraciones de microelementos por litro de solución nutritiva (Cuadro 10) (Steiner, 1984):

Cuadro 10. Concentraciones de micronutrientes en la solución nutritiva universal de Steiner (Steiner, 1984).

Elemento	$\mu\text{mol} \cdot \text{litro}^{-1}$	$\text{mg} \cdot \text{litro}^{-1}$
Fe	9-36	0.5-2.0
Mn	4-36	0.2-2.0
Zn	1.5-9	0.1-0.6
B	19-56	0.2-0.6
Cu	0.2-1	0.01-0.06
Mo	0.4-0.6	0.04-0.06

2.14 Análisis foliares

2.14.1 Aspecto general. El análisis de plantas utilizado como técnica de diagnóstico para evaluar las necesidades nutricionales de los cultivos, se basa en la determinación química del contenido parcial o total de los diferentes elementos nutritivos en un determinado órgano de la planta (Rojas, 1989).

El análisis de tejido vegetal se ha constituido en una gran herramienta para identificar y/o confirmar desórdenes nutricionales en la producción de hortalizas. Es una técnica que correlaciona el contenido de un nutrimento dado, con la apariencia de la planta, rendimiento y/o calidad del producto cosechado. El objetivo principal de este análisis es detectar con toda oportunidad el *status* de algún elemento con el fin de hacer las correcciones pertinentes al programa

inicial de fertilización (Grageda, 1999).

La parte más utilizada de la planta para realizar los análisis químicos es la hoja, por las siguientes razones: es el órgano principal donde se elaboran las sustancias nutritivas, refleja el estado nutricional de la planta y porque varias investigaciones han demostrado que existe una alta correlación entre su contenido de nutrimentos y el desarrollo y producción del cultivo (Rojas, 1989).

Generalmente, se utilizan hojas completamente desarrolladas, recién llegadas a la madurez (Rojas, 1989).

El material debe ser secado, lo cual tiene por objeto impedir que se continúen los procesos metabólicos y expresar los resultados de los análisis posteriores en base al peso de materia seca. Para homogenizar la muestra, debe ser molida y para esto puede utilizarse un molino Willey. Posteriormente, se tamiza en malla de 2 mm de acero inoxidable (Rojas, 1989).

El material debe almacenarse en bolsas de polietileno o papel convenientemente identificado. Puede también utilizarse frascos plásticos de 50 ml bien tapados; con boca que permita introducir la espátula para el pesado de la muestra (Rojas, 1989).

2.14.2 Análisis foliar en cultivo de chile. Arcos *et al.* (1998) señalaron que este tipo de análisis puede mostrar con mayor precisión y rapidez la situación real del balance entre elementos, ya que indica el contenido de los mismos en el follaje de la planta al momento de obtener la muestra. Sobre todo, permite, conocer si algún microelemento está en bajas o altas cantidades, antes de que se manifiesten sus síntomas y por lo tanto afecten severamente a la planta.

Para un muestreo foliar, es necesario hacer la primera recolección de muestras cuando la planta esté en pleno crecimiento vegetativo, lo cual en siembras

directas ocurre después de los 50 días y en siembras de trasplante a los 20 días después de éste. Un segundo análisis puede efectuarse a los 50 ó 60 días después del primero. Este último es importante ya que la planta está con la mayor cantidad de frutos en formación, y durante este período se hace la mayor extracción de nutrientes. Se sugiere coleccionar 20 muestras entre la tercera y cuarta hoja de los brotes en crecimiento. Cada una de las 20 hojas deberá colocarse en bolsas individuales para su envío (Arcos *et al.*, 1998).

Normalmente los resultados se interpretan con base en el contenido de nutrimentos, los cuales se ubican en tres categorías: bajo, adecuado y alto. En el cuadro 4 se presentó la información de los valores de cada uno de los nutrimentos para cada uno de los tres niveles, según Cadahía (1988, citado por Nuez *et al.*, 1996). En el Cuadro 11 esta misma información se presenta según Arcos *et al.* (1998).

En el Cuadro 12 se muestran los niveles críticos de N, P y K para chiles picosos, teniendo en cuenta como parte analizada el pecíolo de las hojas maduras más recientes, según Grageda (1999).

Cuadro 11. Niveles de macro y microelementos en follaje de chile (Arcos *et al.* 1998).

Nutrimento	Alto	Adecuado	Bajo
Nitrógeno (%)	+5.1	3.15-5.0	0-3.0
Fósforo (%)	+1.01	0.36-1.0	0-0.35
Potasio (%)	+6.01	4.01-6.0	0-4.0
Calcio (%)	+4.01	2.01-4.0	0-2.0
Magnesio (%)	+1.01	0.31-1.0	0-0.3
Azufre (%)	+0.71	0.31-0.7	0-0.3
Manganeso ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	+101	31-100	0-30
Hierro ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	+301	81-300	0-80
Cobre ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	+31	9-30	0-8
Boro ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	+81	26-80	0-25
Cinc ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	+151	31-150	0-30

Cuadro 12. Niveles críticos de N, P y K para chiles picosos (Grageda, 1999).

Etapa fenológica	Nutrimento	Deficiente	Intermedio	Suficiente
Inicio de floración	N-NO ₃	5,000	6,000	7,000
	P-PO ₄	2,000	2,250	2,500
	K	3.0	4.0	5.0
Inicio de amarre de frutos	N-NO ₃	1,000	1,250	1,500
	P-PO ₄	1,500	1,750	2,000
	K	2.0	3.0	4.0
Primeros frutos grandes	N-NO ₃	750	875	1,000
	P-PO ₄	1,500	1,750	2,000
	K	1.5	2.25	3.0

N-NO₃ y P-PO₄= $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$; K= %

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización y ubicación geográfica. El experimento se llevó a cabo en los invernaderos del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicada geográficamente a 19°29' de latitud norte y 98°53' de longitud oeste y altitud de 2,240 m. De acuerdo con el sistema de clasificación climática de Köpen, modificado por García (1968), el clima de Chapingo es templado subhúmedo con verano fresco. La precipitación promedio anual es de 630 mm, con un régimen de lluvias de verano y lluvias invernales menor del 5% del total anual. La temperatura media anual es de 15°C. Las heladas tempranas se presentan a finales del mes de septiembre y las tardías a principios del mes de abril.

3.2 Material vegetal. Se utilizó semilla obtenida de frutos color anaranjado, del Programa de Producción y Mejoramiento Genético del Chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.) del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo.

3.3 Diseño experimental y de tratamientos. Se establecieron cuatro módulos hidropónicos experimentales, dos por nave de invernadero, y los tratamientos a estudiar se distribuyeron en un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones. Cada módulo hidropónico estuvo constituido por 52 plantas de chile manzano, separadas a 1.0 m entre hileras y a 0.50 m entre plantas. La separación entre módulos hidropónicos fue de 1 m. Cada unidad experimental estuvo constituida por una planta de chile manzano sembrada en una bolsa plástica de color negro, con las dimensiones y sustratos que se indican en el punto 3.8.2. El número total de plantas (unidades experimentales) fue de 208.

El factor de estudio fue la concentración de la solución nutritiva universal de Steiner y los niveles fueron 50% (T1), 75% (T2), 100% (T3) y 125% (T4). Las cantidades de fertilizantes requeridas para la preparación de 200 litros de cada una de las soluciones nutritivas aplicadas, se muestra en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Cantidades de fertilizantes, expresadas en gramos, requeridas para preparar 200 litros de solución nutritiva de Steiner al 50, 75, 100 y 125%.

Fertilizante	Concentración de la solución nutritiva (%)			
	50	75	100	125
Ácido fosfórico 70% ^z	13	19.4	26	32
Sulfato de potasio	43.4	65.1	86.8	108.5
Sulfato de magnesio	24	36	48	60
Nitrato de potasio	9.5	14	19	23.88
Nitrato de calcio	95	142	189	237
Sulfato ferroso	0.5	0.75	1	1.25
Sulfato de manganeso	0.5	0.75	1	1.25
Sulfato de zinc	0.2	0.3	0.4	0.5
Sulfato de cobre	0.2	0.3	0.4	0.5
Bórax	1	1.5	2	2.5

^z Esta fuente está indicada en mililitros, ya que es un líquido

Para la preparación de las soluciones nutritivas se siguió el procedimiento indicado por Pérez y Castro (1998).

3.4 Variables estudiadas. Para cada uno de los tratamientos aplicados, se tomaron datos de las siguientes variables: 1) Altura de planta, medida desde la base hasta el ápice de la misma; 2) Diámetro del tallo principal, medido en la base de la planta; 3) Número de hojas, se contaron las hojas completamente expandidas; 4) Área foliar, se midió con el integrador fotométrico de área foliar

Delta-T MK2; 5) Peso seco de raíz, tallo, hojas, flores y frutos; para ello se empleó una estufa de secado a 85°C durante 72 horas y posteriormente se pesaron en balanza digital Sartorius 1205 MP); y 6) Producción de frutos por corte, se pesaron en balanza digital. La suma de los pesos secos, sin incluir el de raíz, se consideró como peso seco total. Los muestreos se llevaron a cabo cada 21 días a partir del transplante. También se hizo observación y registro de las diferentes fases fenológicas del cultivo, y se presentan en el Cuadro 15.

3.5 Análisis estadístico de las variables. Las variables altura de planta, diámetro del tallo principal, número de hojas, área foliar, peso seco total y peso seco de cada órgano de la planta para cada uno de los tratamientos, se les practicó un análisis de varianza de acuerdo con el diseño experimental completamente al azar, el cual según Martínez (1988), se interpreta mediante el siguiente modelo lineal:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + e_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, t_i$$

donde: μ es un efecto común a todas las unidades experimentales, τ_i es el efecto del tratamiento i , e_{ij} el término de error y y_{ij} el valor de la característica en estudio, las dos últimas sobre la unidad experimental (ij). Para establecer las diferencias estadísticas entre las medias de las variables de cada tratamiento, cuando así fue requerido, se aplicó la prueba de Duncan, por el interés particular de tener más de un valor de referencia para las comparaciones.

3.6 Curvas de comportamiento de las variables. Cada una de las variables: altura de planta, diámetro del tallo principal, número de hojas, área foliar, peso seco de tallo, peso seco de hojas, peso de flores, peso seco de frutos y producción por corte, se graficaron en función de los días después del transplante para cada tratamiento. Para la interpretación fisiotécnica del peso seco total, se hizo necesario el ajuste de los datos observados a modelos polinomiales, los cuales fueron seleccionados con base al valor máximo del

coeficiente de determinación (R^2) del modelo (figuras 1A a 4A del anexo) y criterios fisiológicos.

3.7 Cálculo de valores de los índices de crecimiento. A fin de obtener una estimación más precisa de los índices de crecimiento (excepto para la duración del área foliar, DAF), se determinaron sus valores instantáneos para cada día muestreado (en vez de los valores promedios entre dos observaciones consecutivas) mediante la aplicación de la derivada del peso seco total con respecto al tiempo ($dPST/dt$) a los datos ajustados (Cuadro 14).

La duración del área foliar (DAF, expresada en días) se determinó con base al índice de área foliar, y se obtuvo como el promedio de dos valores consecutivos de índice de área foliar multiplicado por el intervalo de tiempo entre observaciones (21 días). Para el cálculo del índice de área foliar (IAF) se empleó 0.50 m^2 que fue el área de suelo por planta.

Cuadro 14. Ecuaciones para el cálculo de los valores de los índices de crecimiento y de cosecha, basadas en Gardner *et al.* (1990).

Índice de crecimiento	Símbolo	Ecuación	Unidades
Tasa de crecimiento del cultivo	TCC	$(dPST/dt)/As^z$	$\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$
Tasa de asimilación neta	TAN	$(dPST/dt)/Af^y$	$\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$
Tasa relativa de crecimiento	TRC	$(dPST/dt)/PST^x$	$\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$
Índice de área foliar	IAF	Af/As	sin unidades
Duración del área foliar	DAF ^v	$(IAF_1 + IAF_2)(t_2 - t_1)/2^w$	Días
Índice de cosecha	IC	biomasa económica/biomasa total	Porcentaje

^zAs= área de suelo, ^yAf= área foliar, ^xPST= peso seco total, ^wt= tiempo.

^vFórmula para valores medios a través del intervalo de tiempo ($t_2 - t_1$).

3.8 Conducción del experimento. El experimento tuvo duración de un año, comprendido entre marzo de 1999 y marzo del 2000.

Producción de plántulas. Con el fin de facilitar la germinación, antes de sembrar las semillas, se remojaron en agua durante 24 horas, cambiándoles el agua a las 12 horas.

El 26 de marzo de 1999 se sembraron 3 charolas de unisel de 200 cavidades cada una, depositando dos semillas en cada cavidad a 0.5 cm de profundidad, para dejar posteriormente la plántula más vigorosa. Se empleó el sustrato "peat-moss", previamente humedecido. Después de la siembra en las charolas se aplicó un riego con una solución de Captan 50[®] (Captan) preparada a concentración de 0.5 g por litro de agua, para prevenir enfermedades fungosas. Las charolas se colocaron en invernadero y se cubrieron con plástico negro para incrementar la temperatura y alcanzar la germinación en el menor tiempo posible.

Durante la primera semana después de la emergencia, las plántulas fueron regadas cada tercer día con regadera manual. Cuando alcanzaron la primera hoja verdadera, se regaron cada tercer día con solución nutritiva de Steiner al 25%. Se incrementó a 50% cuando se presentaron dos hojas. Cabe aclarar que después de cada riego con solución nutritiva, se aplicó solamente agua, con el fin de eliminar residuos de fertilizantes que pudiesen causar quemaduras en los tejidos de las plántulas.

Un mes después de la siembra, cuando las plántulas tenían 3 hojas verdaderas, se transplantaron a vasos de unisel número 8. Se empleó sustrato "peat moss" y los riegos fueron con solución nutritiva de Steiner al 50%, cada tercer día. Permanecieron ahí hasta que alcanzaron 12 hojas verdaderas.

Para el control de plagas y enfermedades se aplicó semanalmente hasta los

105 días después de la emergencia Biocrack® (Extracto acuoso de *Allium* spp. más extracto acuoso herbáceo) + Captan 50® en concentraciones de 0.5 ml y 0.5 g·litro⁻¹, respectivamente. Estas aplicaciones estuvieron fundamentalmente dirigidas a controlar los ataques de mosquita blanca de los invernaderos (*Trialeurodes vaporariorum*) y prevenir el complejo de hongos del suelo *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium rolfsii*, *Pythium* sp., *Fusarium oxysporum*, *Thielaviopsis* sp., *Phymatotrichum omnivorum*, *Phytophthora* sp. los cuales pueden causar "Damping-off" preemergente o posemergente (Barraza, 1998). Posteriormente hubo rotaciones de mezclas de insecticidas y fungicidas así: Biocrack® + Captan50®, Tamaron® (Metamidofos) + Daconil® (Clorotalonil), Nuvacron®50 LS (Monocrotofos) + Ridomil® (Metalaxyl), Biocrack® + Tecto 60® (Tiabendazol MSD). Se inició con 0.5 ml de insecticida, más 0.5 g de fungicida, aumentando progresivamente hasta llegar a 2.0 ml + 2.0 g, respectivamente. De igual forma se procedió con el acaricida Agrimec® 1.8% C.E. (Abamectina), el cual se mezcló con los fungicidas ya mencionados y se alternó semanalmente. Estas aplicaciones se realizaron hasta el final del cultivo.

Trasplante y manejo del cultivo. Cuando las plántulas alcanzaron 12 hojas verdaderas, apareció la primera bifurcación del tallo. En ese momento se trasplantaron a bolsas de polietileno color negro de 0.40 x 0.45 m, calibre 700. Cada una de ellas contenía un volumen aproximado de 0.06 m³. El tercio inferior (0.02 m³) con tezontle grueso (tamaño de partículas entre 0.7 y 1.0 cm de diámetro) y los dos tercios superiores (0.04 m³) una mezcla de 75% (0.03 m³) de tezontle lavado y cernido (tamaño de partículas entre 0.5 y 0.7 mm de diámetro) y 25% del volumen (0.01 m³) con "Growing Mix No.2". Para asegurar el éxito del trasplante, se agregó al sustrato de la maceta 2 litros de agua acidulada a pH 5.0 con ácido sulfúrico. Quince días posteriores al trasplante, se continuó diariamente el riego con solución nutritiva de Steiner al 50%, y se aplicó 100 ml por maceta. La cantidad de solución aplicada se incrementó conforme se dio el desarrollo de la planta, hasta alcanzar 2000 ml por maceta por día. Las aplicaciones se efectuaron manualmente con un bote de plástico.

Una semana después se les aplicó un gramo de cal agrícola en la base del tallo, con el propósito de evitar la proliferación de hongos que pudiesen afectar el desarrollo de las plantas. Esta aplicación se repitió un mes después. El sombreado se proporcionó durante todo el ciclo biológico, con una malla sombra de 50% colocada a 2 m de altura sobre el nivel de las plantas. Las soluciones nutritivas se aplicaron mediante un sistema hidropónico abierto (sin reutilización de la solución nutritiva), con lo cual se evitaron alteraciones tanto en la concentración iónica como en el pH. Este sistema consistió de bolsas de polietileno que contenían al sustrato y depósitos de la solución nutritiva, botes plásticos de 200 L de capacidad, los cuales se pintaron de color negro en su interior para evitar la proliferación de algas por penetración de la luz, y de color blanco en la parte externa para que no absorbieran calor. Se taparon con plástico negro, con la finalidad de evitar contaminación y cambios por agentes externos en las soluciones nutritivas.

El tutorado de las plantas se llevó a cabo a los 137 días después de la emergencia. Para ello, se colocaron estacas de madera de 1.5 m de altura al inicio y al final de cada hilera del cultivo. A medida que las plantas crecieron, se colocaron hilos de rafia de extremo a extremo de cada estaca para que las plantas tuvieran soporte y fueran guiadas ordenadamente; y con el fin de evitar el efecto negativo de las heladas sobre el cultivo, se programó la activación de calentadores tipo centinela, a 7°C.

Algunas de las labores de manejo más importantes del experimento se muestran gráficamente en la Figura 5A del anexo.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Fases fenológicas del cultivo. Las diferentes fases fenológicas y eventos del desarrollo del cultivo de chile manzano observadas durante la realización del presente estudio se presentan en el Cuadro 15.

Cuadro 15. Fases fenológicas y eventos de desarrollo del chile manzano. Chapingo, México, 1999-2000.

Fase fenológica	dds ^z	Evento de desarrollo	dds
Siembra-Emergencia	18	Emergencia	18
Emergencia-Tercera hoja verdadera	31	Tercera hoja verdadera	49
Tercera hoja verdadera-Bifurcación del tallo principal	67	Bifurcación del tallo principal	116
Bifurcación del tallo principal-Aparición de brotes laterales	24	Aparición de brotes laterales	140
Aparición de brotes laterales-Inicio del botón floral	21	Inicio del botón floral	161
Inicio del botón floral-Inicio de flor abierta	17	Inicio de flor abierta	178
Inicio de flor abierta-Inicio de fructificación	8	Inicio de fructificación	186
Inicio de fructificación-Inicio de madurez comercial	87	Inicio de madurez comercial ^y	273

^z días después de la siembra; ^y Se refiere al color naranja característico y semillas negras (véase Figura 6A del anexo); El periodo de cosecha fue de 88 días.

A diferencia de plantas de crecimiento determinado, las cuales terminan su crecimiento en una flor, el chile manzano presenta al mismo tiempo, la aparición

de órganos vegetativos (hojas) y reproductivos (flores y frutos); y en cada bifurcación presenta flores solitarias, recién abiertas, otras recién diferenciadas, frutos en pleno crecimiento y otros en madurez fisiológica; por lo que existe un traslape de fases de crecimiento vegetativo, reproductivo y maduración de frutos. De acuerdo a los datos del Cuadro 15, el ciclo biológico del chile manzano cultivado en condiciones de invernadero e hidroponia es de 361 días, ya que bajo este sistema la planta se maneja en forma anual. No obstante, a campo abierto se comporta como planta perenne con fructificación abundante de agosto a noviembre, por disponibilidad de humedad de junio a noviembre y baja fructificación de diciembre a abril (Pérez y Castro, 1998), periodo en el cual se presentan bajas temperaturas y humedad que afectan tanto el crecimiento como el desarrollo de la planta. La característica perenne también está limitada por temperaturas menores o iguales a cero grados centígrados. De tal forma que en los huertos semicomerciales las plantas tienen un ciclo biológico de dos hasta diez años, en tanto que en condiciones de invernadero, el comportamiento es anual. Esto se explica porque la planta deja de tener actividad meristemática o en su defecto es mínima, tanto de la parte aérea como de las raíces. Estas últimas son limitadas por el contenedor y sustrato reducidos donde crecen, en tanto que la parte aérea, quizá sea limitada por las fuertes demandas que representan los frutos, y por ello, los órganos fuente como son las hojas maduras y tallos, envíen sus fotoasimilados hacia esos puntos de demanda, en lugar de las hojas jóvenes y meristemos apicales de raíz y parte aérea. No obstante, se ha observado que si las plantas que han terminado su ciclo biológico en un año se podan, hasta la primera bifurcación, generan brotes laterales, los cuales pueden formar una planta completa. El estudio del comportamiento de estas plantas originadas a partir de brotes, es necesario realizarlo en posteriores investigaciones.

A pesar de haber sido identificados algunos eventos del desarrollo, no es fácil la medición de este proceso, ya que como indicó Bidwell (1993), algunos eventos pueden haberse iniciado mucho antes de que sus manifestaciones externas se

hagan visibles; sin embargo, los señalados en el presente estudio (Cuadro 15) son indicadores morfológicos de eventos del desarrollo del chile manzano que pueden tener importancia práctica.

4.2 Altura de planta. En el numeral de anexos se presentan los análisis de varianza efectuados para esta variable (cuadros 1A al 10A) y se observa que solo se encontraron diferencias estadísticas significativas a los 63 días después del transplante (Cuadro 3A del anexo). y mediante la prueba de Duncan (Cuadro 16) se pudo establecer que en esta fecha solamente los tratamientos 2 y 3 fueron estadísticamente diferentes entre sí. Con los valores de altura de planta obtenidos para cada uno de los tratamientos en estudio, se interpreta en términos generales que las diferentes concentraciones de solución nutritiva de Steiner utilizadas, no tienen efecto sobre la altura alcanzada por el cultivo (Figura 1); quizá porque la longitud de los entrenudos dependa más de la disponibilidad de radiación que de nutrimentos y las condiciones de radiación fueron uniformes para todos los tratamientos. Debido a que los valores más altos de esta variable se obtuvieron para los tratamientos con mayor concentración, se supone que pudiera encontrarse respuesta a mayores concentraciones en la solución nutritiva de Steiner.

Las curvas de altura de planta en función del tiempo muestran el comportamiento del incremento en tamaño. El crecimiento en altura se inicia con cierta lentitud, aumenta hasta un máximo y luego se reduce nuevamente (Figura 1), de manera que las curvas obtenidas representan la altura de planta en función del tiempo y se asemejan a una S oblicua según lo han señalado Fogg,(1967) y Salisbury y Ross (1994) para diferentes cultivos.

Otra manera de ver el comportamiento de esta variable, es registrar el incremento de altura diario en función del tiempo, lo cual proporciona una curva cuya pendiente cae más o menos simétricamente a ambos lados de un pico, lo que demuestra de nuevo que la velocidad de crecimiento aumenta y luego

disminuye. El tipo de crecimiento en los dos tipos de curvas es característica de las plantas en general, sin embargo las velocidades y cantidades finales varían enormemente (Fogg, 1967).

Cuadro 16. Efecto de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner en la altura de plantas de chile manzano, a los 63 días después del transplante, cultivadas bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.

Solución nutritiva de Steiner	Altura de planta (cm)	
125%	73.25	a ²
100%	79	a
75%	66.75	ab
50%	72	a

²Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Duncan $p \leq 0.05$). Rangos múltiples significativos: para dos tratamientos: 7.15; para tres tratamientos: 7.49; para cuatro tratamientos: 7.73.

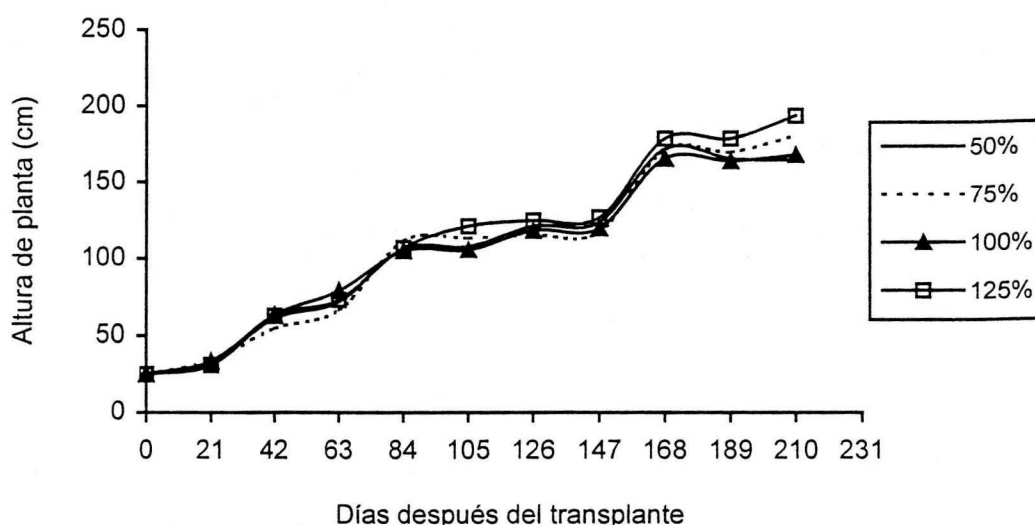


Figura 1. Comportamiento de la altura de planta de chile manzano en función de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, cultivadas bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.

La situación es más complicada en las plantas perennes que en las anuales, ya que el mismo tipo de crecimiento se repite cada estación. Si se construye un gráfico continuo sobre la base de medidas de un árbol tomadas a intervalos de una semana, mostraría pasos, cada uno de los cuales correspondería a una estación de crecimiento, aunque la curva en conjunto sería del mismo tipo que la que se encuentra en plantas anuales. Es posible que esta situación se registre en chile manzano cultivado a campo abierto, el cual según Pérez y Castro (1998) se deja crecer libremente, y puede vivir hasta 10 años o más y alcanzar alturas superiores a los 3 metros (Bowers, 1997). Para cultivos de chile manzano bajo invernadero, las plantas se manejan en forma anual y es factible hacer podas para evitar un crecimiento excesivo, así como para incrementar la calidad del fruto en tamaño y grosor del pericarpio (Pérez y Castro, 1998). De todas maneras, es una regla general, que la capacidad de crecimiento de una planta aumenta durante algún tiempo y luego, bastante antes de morir, declina (Fogg, 1967).

A pesar de que puede ser útil y posee el mérito de dejar la planta intacta, la altura, es, en términos generales, una medida poco satisfactoria del crecimiento. Solo se mide la porción aérea de la planta y no se toman en cuenta el grosor, grado de ramificación o área que cubre. Por ejemplo, la apreciación de la parte aérea no dará una medida útil del crecimiento de una planta de zanahoria. Se requiere una medida más directa de la cantidad total del material vegetal para proporcionar una estimación menos errónea del crecimiento (Fogg, 1967).

4.3 Diámetro del tallo principal. El análisis de varianza efectuado para esta variable a los 210 días después del transplante (Cuadro 11A del anexo) no mostró diferencias estadísticas entre los tratamientos. Se deduce entonces que la concentración de las soluciones nutritivas empleadas, no producen un efecto diferencial para el diámetro del tallo principal. En la Figura 2 se presenta un gráfico comparativo de las curvas de diámetro del tallo principal, para cada

tratamiento, en función del tiempo transcurrido después del trasplante. Es muy notoria la similitud entre las curvas. Su forma también es sigmoide, como la describieron Fogg (1967) y Salisbury y Ross (1994). No obstante, para todos los tratamientos existió aumento en el diámetro del tallo principal; pero esta apreciación del crecimiento es poco completa al considerar los pequeños incrementos de esta variable a lo largo del ciclo de cultivo. En estudios más detallados se podría conocer más que el diámetro del tallo, el número de haces vasculares y el diámetro de los mismos, que se relacionan con la capacidad de transporte de fotoasimilados, iones y agua hacia los sitios de demanda.

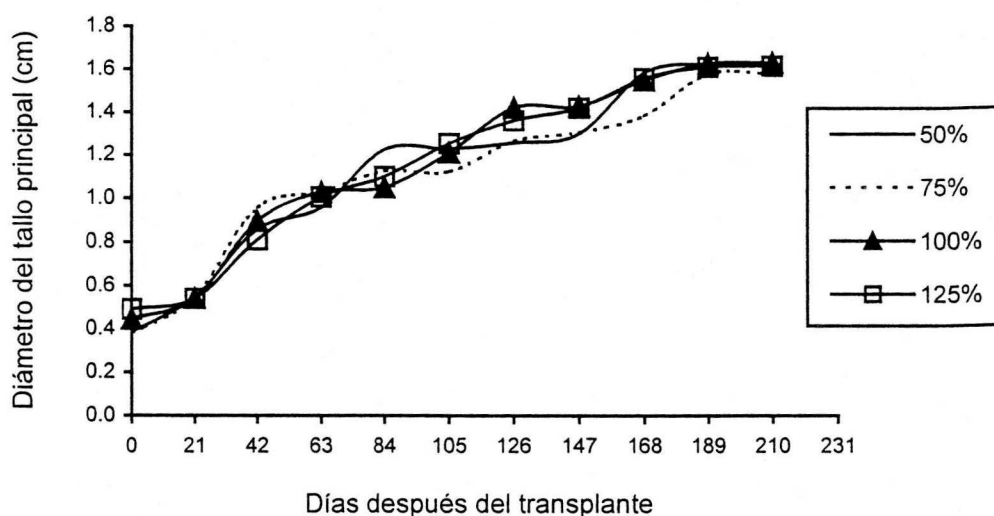


Figura 2. Curva de crecimiento del diámetro del tallo principal de plantas de chile manzano en función de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, cultivadas bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.

4.4 Número de hojas. En la curva de número de hojas en función del tiempo (Figura 3) se aprecia que en el periodo entre 105 y 210 días después del trasplante existen diferencias. Por ello, se analizaron desde el punto de vista estadístico y se obtuvo que a los 105, 126 y 147 días después del trasplante no se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos (cuadros 12A, 13A y 14A del anexo, respectivamente). No obstante, a los 168 días después

del transplante sí fueron estadísticamente diferentes (Cuadro 15A del anexo) y mediante la prueba de Duncan (Cuadro 17) se estableció que para esta fecha, los tratamientos 1 y 2 resultaron ser estadísticamente iguales entre ellos; y el 3 y 4 resultaron estadísticamente iguales entre sí y superiores en grado altamente significativo a 1 y 2. A los 210 días después del transplante, el tratamiento 4 (solución nutritiva de Steiner al 125%) fue superior en grado altamente significativo a los demás (Cuadro 17).

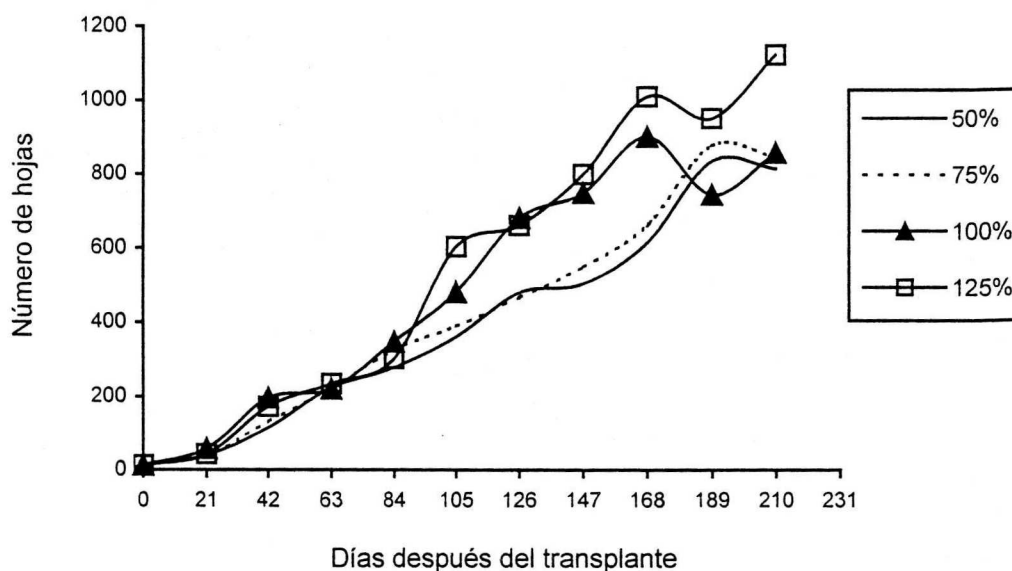


Figura 3. Variación en el número de hojas de plantas de chile manzano en función de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, cultivadas bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.

La solución nutritiva de Steiner al 125% produjo un mayor número de hojas, lo cual es una característica favorable en la producción, ya que la actividad fotosintética laminar y el crecimiento están íntimamente relacionados. La cantidad de fotosíntesis que una planta realiza depende de la superficie de la hoja u órganos fotosintéticos que posea y de la actividad fotosintética por unidad de área de este tejido (Fogg, 1967); a su vez, la superficie foliar depende del número de hojas, de su velocidad de crecimiento y de su tamaño final. Todo esto se encuentra regulado fundamentalmente por las temperaturas,

la humedad del suelo y la disponibilidad de nutrimentos (Wild, 1992). Es evidente entonces, que al haber mayor cantidad de nutrimentos, como fue el caso del tratamiento 4 (solución nutritiva de Steiner al 125%), se obtuvo mayor número de hojas y mayor superficie foliar que contribuyeron a que el proceso fotosintético fuese mayor y éste se manifestó en un mayor crecimiento.

Cuadro 17. Efecto de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner sobre el número de hojas de plantas de chile manzano, a los 168 y 210 días después del trasplante, cultivadas bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.

Días después del trasplante	Solución nutritiva de Steiner	Número de hojas	
168 ^y	125%	1,010.25	a ^z
	100%	901.25	a
	75%	662	b
	50%	613.75	b
210 ^x	125%	1,123.75	a
	100%	858.25	b
	75%	846.25	b
	50%	814.50	b

^zMedias con la misma letra son estadísticamente iguales (Duncan $p \leq 0.01$).

^y Rangos múltiples significativos: para dos tratamientos: 213.51; para tres tratamientos: 224.86; para cuatro tratamientos: 231.29.

^x Rangos múltiples significativos: para dos tratamientos: 182.34; para tres tratamientos: 191.22; para cuatro tratamientos: 197.14.

4.5 Área foliar. Al analizar el periodo comprendido entre los 105 y 210 días después del trasplante que es el mismo analizado para el número de hojas, se encontró que a los 105 días no hubo diferencias estadísticas entre tratamientos (Cuadro 18A del anexo), pero sí a los 126 (Cuadro 19A del anexo); y el tratamiento 4 fue estadísticamente superior al tratamiento 1 e igual a los tratamientos 2 y 3 (Cuadro 18). No obstante, la media de área foliar del

tratamiento 4 superó a estos últimos en 26.01% y 25.81%, respectivamente. Por lo tanto, para la obtención de mayor área foliar sería conveniente emplear la solución nutritiva de Steiner al 125%.

Cuadro 18. Efecto de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner sobre el área foliar de plantas de chile manzano, a los 126 días después del transplante, cultivadas bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.

Solución nutritiva de Steiner	Área foliar (cm ²)	
125%	9,475.00	a ²
100%	7,029.50	a
75%	7,010.50	a
50%	4,495.25	ab

²Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Duncan $p \leq 0.05$).

Rangos múltiples significativos: para dos tratamientos: 2,889.56; para tres tratamientos: 3,030.29; para cuatro tratamientos: 3,124.11.

También a los 147, 168, 189 y 210 días después del transplante, se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos aplicados (cuadros 20A a 23A del anexo). En la Figura 4 se muestra que las curvas de área foliar para los cuatro tratamientos en función de los días transcurridos después del transplante tienen diferencias apreciables. La mayor cantidad de área foliar presentada en general por las plantas del tratamiento 4 (Cuadro 19) es importante debido a que durante la mayor parte de la vida de las plantas, las hojas son los principales órganos verdes que captan la luz solar y la convierten en energía química y en materia seca mediante la fotosíntesis, y el crecimiento máximo del cultivo es en consecuencia dependiente de la extensión de la superficie foliar para captar a su vez la máxima radiación posible; y de acuerdo con Wild (1992) la escasez de nutrimentos reduce la superficie de cada hoja en ambas dimensiones, longitud y anchura.

Cuadro 19. Efecto de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner sobre el área foliar de plantas de chile manzano, a los 147, 168, 189 y 210 días después del transplante, cultivadas bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.

Días después del transplante	Tratamiento	Área foliar (cm ²)	
147 ^y	125%	10,091.00	a ^z
	100%	8,027.50	a
	75%	7,327.25	a
	50%	4,734.25	ab
168 ^x	125%	12,679.25	a
	100%	13,719.25	a
	75%	9,810.00	b
	50%	8,329.00	b
189 ^w	125%	12,663.50	a
	100%	14,089.25	a
	75%	13,215.50	a
	50%	9,278.75	b
210 ^v	125%	14,257.25	a
	100%	14,007.75	a
	75%	12,737.25	a
	50%	9,050.00	b

^zMedias con la misma son estadísticamente iguales.

^y Rangos múltiples significativos (Duncan $p \leq 0.05$): para dos tratamientos: 3,201.63; para tres tratamientos: 3,357.55; para cuatro tratamientos: 3,461.50.

^x Rangos múltiples significativos (Duncan $p \leq 0.01$): para dos tratamientos: 2,848.82; para tres tratamientos: 3,000.50; para cuatro tratamientos: 3,086.23.

^w Rangos múltiples significativos (Duncan $p \leq 0.05$): para dos tratamientos: 3,235.81; para tres tratamientos: 3,393.41; para cuatro tratamientos: 3,498.46.

^v Rangos múltiples significativos (Duncan $p \leq 0.01$): para dos tratamientos: 3,338.15; para tres tratamientos: 3,515.88; para cuatro tratamientos: 3,616.33.

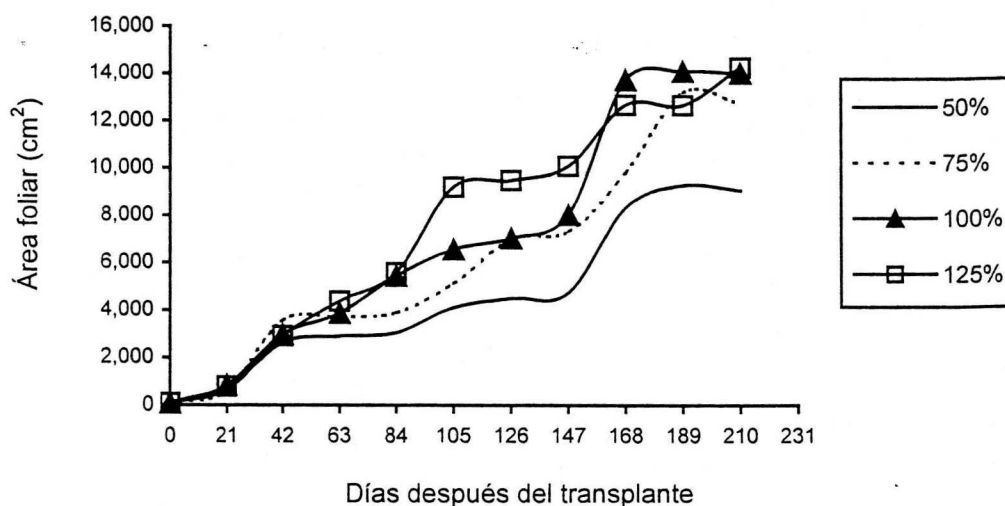


Figura 4. Área foliar de plantas de chile manzano en función de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, cultivadas bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.

Los resultados encontrados coinciden con lo que Fogg (1967) mencionó sobre la relación de área foliar y materia seca, es decir, las diferencias en rendimiento de materia seca entre las especies parecen residir principalmente en la cuestión de cuándo y durante cuánto tiempo adquieren su máxima superficie foliar. El rendimiento de peso seco de un cultivo es más proporcional a la integral de la superficie foliar en función del tiempo que a otra cosa. Sin embargo, existen cultivos como la cebada, donde la materia seca que se acumula en el grano se produce casi íntegramente por fotosíntesis en la espiga misma, y las hojas presentes antes de su aparición no contribuyen en nada, directamente, al rendimiento del grano.

4.6 Peso seco del tallo. A los 126 y 147 días no hubo diferencias entre tratamientos (cuadros 24A y 25A del anexo); a los 168 y 189 días, los tratamientos 3 y 4 fueron iguales estadísticamente y superiores (cuadros 26A y 27A del anexo, respectivamente) a los tratamientos 1 y 2 (Cuadro 20). En tanto que a los 210 días después del transplante no hubo diferencias entre tratamientos (Cuadro 28A del anexo).

Cuadro 20. Efecto de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner sobre el peso seco del tallo de plantas de chile manzano, a los 168 y 189 días después del transplante, cultivadas bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.

Días después del transplante	Solución nutritiva de Steiner	Peso seco del tallo (g)	
168 ^y	125%	87.91	a ^z
	100%	89.03	a
	75%	55.71	b
	50%	52.22	b
189 ^x	125%	107.32	a
	100%	94.84	ab
	75%	66.65	b
	50%	62.54	b

^zMedias con la misma letra son estadísticamente iguales (Duncan $p \leq 0.05$).

^y Rangos múltiples significativos: para dos tratamientos: 26.46; para tres tratamientos: 27.75; para cuatro tratamientos: 28.60.

^x Rangos múltiples significativos: para dos tratamientos: 33.49; para tres tratamientos: 35.11; para cuatro tratamientos: 36.20.

Los mayores valores obtenidos por el tratamiento 4 (Figura 5) se traducen en una mejor relación fuente-demanda, ya que un mayor contenido nutrimental en los tejidos de la planta favorece la formación de tallos fuertes; con floema bien formado para transportar de manera bidireccional o de un lado a otro los carbohidratos, sacarosa, rafinosa, glucosa, fructosa y demás productos elaborados hacia los sitios de demanda, con lo que según Rojas y Rovalo (1985) una gran parte del aumento en peso seco se traduce estructuralmente en un aumento foliar que conduce a mayores rendimientos porque la ganancia de las hojas en material almacenado hace presión sobre la fuente. La formación de buenos tallos también conduce a más fotosíntesis, ya que como indicó Bidwell (1993) los meristemas apicales producen un mayor número de hojas, ramas y otros apéndices del tallo.

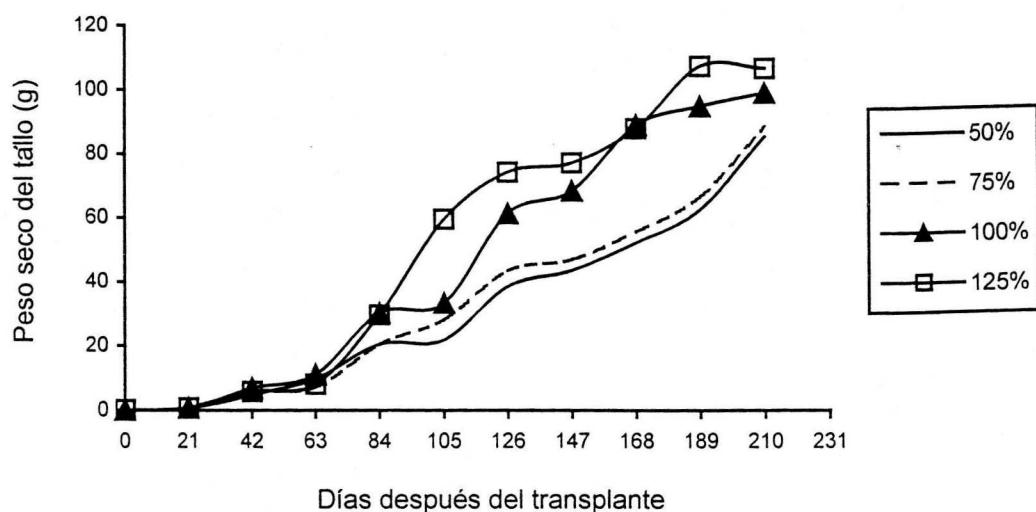


Figura 5. Acumulación de peso seco del tallo de plantas de chile manzano en función de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, cultivadas bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.

4.7 Peso seco de hojas. No hubo diferencias entre tratamientos a los 105 y 126 días después del transplante (cuadros 29A y 30A del anexo); a los 147 y 168 días los análisis de varianza (cuadros 31A y 32A del anexo) mostraron diferencias significativas. Según la prueba de Duncan (Cuadro 21) los tratamientos 3 y 4 fueron iguales entre sí y superiores a los tratamientos 1 y 2. A los 189 y 210 días no se presentaron diferencias entre tratamientos (cuadros 33A y 34A del anexo).

Los valores superiores de esta variable en el tratamiento 4 (Figura 6) se reflejan en el aumento de masa o volumen de la planta, con lo que según Forero (1983) se da una intensa respiración, gran actividad fotosintética y mayor absorción de agua y elementos minerales del suelo. Respecto a éstos, su presencia en las hojas según Baeyens (1970) puede representar hasta un 50% de la materia seca total, lo que hace a estos órganos junto con las yemas, el cámbium y las flores, el centro más activo de la fisiología de la planta, logrando mayor captación de luz solar y su conversión a energía química y materia seca mediante la fotosíntesis, lo que propicia un mayor crecimiento (Wild, 1992) y

una mejor relación del tamaño del sistema foliar en relación con el peso de la planta entera como lo indicó Beadle (1988).

Cuadro 21. Efecto de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner sobre el peso seco de hojas de plantas de chile manzano, a los 147 y 168 días después del transplante, cultivadas bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.

Días después del transplante	Solución nutritiva de Steiner	Peso seco de hojas (g)	
147 ^y	125%	52.37	a ^z
	100%	46.13	ab
	75%	32.68	bc
	50%	30.06	c
168 ^x	125%	53.58	a
	100%	55.36	a
	75%	34.66	bc
	50%	32.31	c

^zMedias con la misma letra son estadísticamente iguales.

^y Rangos múltiples significativos (Duncan $p \leq 0.05$): para dos tratamientos: 14.01; para tres tratamientos: 14.70; para cuatro tratamientos: 15.15.

^x Rangos múltiples significativos (Duncan $p \leq 0.01$): para dos tratamientos: 8.86; para tres tratamientos: 9.33; para cuatro tratamientos: 9.59.

4.8 Peso seco de flores. A los 147 días después del transplante se encontraron diferencias altamente significativas (Cuadro 35A del anexo) entre los tratamientos. De acuerdo con la prueba de Duncan (Cuadro 22) los tratamientos 3 y 4 fueron estadísticamente iguales y superiores a 1 y 2, los cuales no presentaron floración en esta fecha, posiblemente por el poco suministro de nutrimentos por parte de las soluciones nutritivas al 50 y 75%, respectivamente, hecho que en concordancia con lo que indicaron Nuez *et al.* (1996) viene como consecuencia del poco suministro de nitrógeno, acompañado de la detención general del crecimiento y desarrollo de la planta; posiblemente el poco suministro de fósforo también afectó este proceso en la

medida que la planta no produjo los compuestos que transfieren energía (ATP y otras nucleoproteínas) y que ayudan a sostener la carga floral. También es factible que el poco suministro de potasio haya favorecido la caída parcial de flores y como señalan los mismos autores, el poco suministro de calcio pudo causar fallas en el transporte por floema, causando poca división y alargamiento celular.

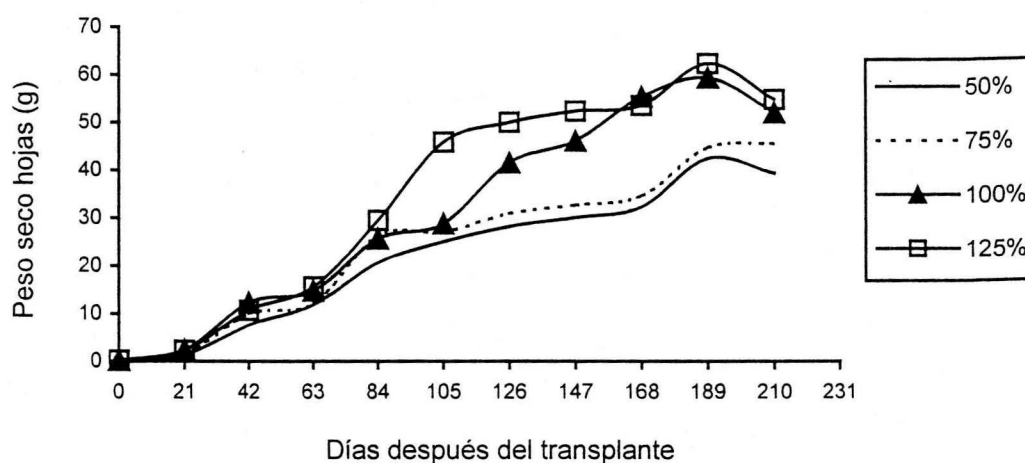


Figura 6. Aumento del peso seco de hojas de plantas de chile manzano en función de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, cultivado bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.

El comportamiento comparativo de las curvas del peso seco de flores para cada tratamiento (Figura 7) muestra que en los tratamientos 2, 3 y 4 se inició la floración a los 42 días después del transplante, mientras que en el tratamiento 1 fue a los 63 días. En los tratamientos 1 y 2, no se registraron muestreos de floración entre los 126 y 168 días después del transplante. La ausencia de flores para esas fechas quizá se debió a que no se presentaron las condiciones favorables de nutrición aportadas por las soluciones nutritivas de Steiner al 50 y 75 %, y posiblemente las plantas, en estos casos, no tuvieron la suficiente producción de fotoasimilados capaces de soportar la fuerte demanda del

conjunto de flores presentes, y como indicaron Rojas y Rovalo (1985) para la floración es importante el contenido de compuestos tipo carbohidratos; además, puede presentarse la misma situación que en Bell pepper, en el cual según indica Burgueño (1995) la demanda de fósforo tiene un repunte en la aparición de las primeras flores, haciéndose necesario que la planta pueda encontrarlo y absorberlo en cantidad suficiente, en esta fase importante de su vida.

Cuadro 22. Efecto de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner sobre el peso seco de flores de plantas de chile manzano, a los 147 días después del transplante, cultivadas bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.

Tratamiento	Peso seco de flores (g)	
125%	0.79	a ^z
100%	0.57	a
75%	0.00	bc
50%	0.00	c

^zMedias con la misma letra son estadísticamente iguales (Duncan $p \leq 0.01$).

Rangos múltiples significativos: para dos tratamientos: 0.43; para tres tratamientos: 0.46; para cuatro tratamientos: 0.47.

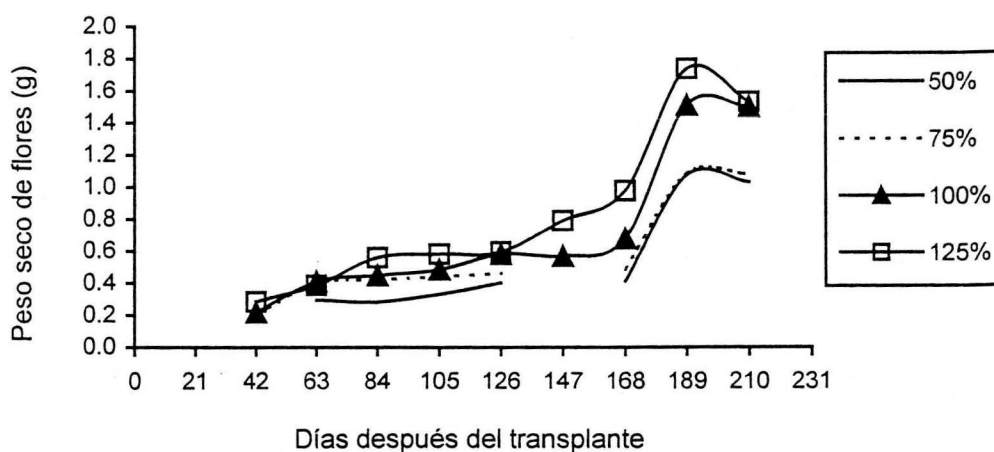


Figura 7. Aumento del peso seco de flores de chile manzano en función de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, cultivadas bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.

4.9 Peso seco de frutos. Desde los 63 hasta los 210 días después del transplante, se observaron diferencias altamente significativas entre los tratamientos aplicados (cuadros 39A a 46A del anexo). Para todos los casos, mediante la prueba de Duncan (Cuadro23) se identificó al tratamiento 4 con el valor promedio más alto en peso seco de frutos. Esto podría estar relacionado con el cambio que ocurre en la fisiología de la planta como consecuencia de la fecundación de las flores, ya que como lo indican Rojas y Rovalo (1985) por el rápido crecimiento de los frutos, durante las primeras semanas de cultivo, en la mayoría de las plantas anuales se presenta una redistribución de las reservas alimenticias y de las hormonas; por ejemplo el nitrógeno y el fósforo son movilizados desde las hojas para constituir las reservas del embrión de las semillas. El fruto representa entonces, un alto porcentaje de la materia seca total de la planta; por lo que demanda gran cantidad de nutrimentos, que en el caso del Bell pepper según Burgueño (1995) son del 37% de N, 5% de P_2O_5 , 3% de MgO , 5% de Ca y 50% de K_2O , siendo más fuerte la demanda desde el amarre de los primeros frutos, desde 43 hasta 163 días después del transplante. Para chile Bell pepper cultivado en invernadero, de las cantidades totales extraídas, los frutos importan la mayor parte del nitrógeno y fósforo, 64 y 75%, respectivamente. No obstante, cabe aclarar que existen diferencias en las extracciones según variedades y formas de cultivo, las cuales de acuerdo con Nuez *et al.* (1996) en invernadero son mayores en potasio y menores en fósforo que a campo abierto.

La Figura 8 muestra el comportamiento comparativo de las curvas del peso seco de frutos para cada uno de los tratamientos. Los muestreos se comenzaron a los 63 días después del transplante. Desde el inicio de los muestreos, el peso seco de frutos fue en aumento hasta los 147 días después del transplante, mientras que en los tratamientos 1, 2 y 3 no existieron. A los 168 días después del transplante la ausencia de frutos es posible que se relacione con la importancia que tiene en el crecimiento, el suministro de nutrimentos a las plantas, ya que como señaló Güenkov (1974) cuando hay

Cuadro 23. Efecto de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner sobre el peso seco de frutos de plantas de chile manzano, a los 63, 84, 105, 126, 147, 168, 189 y 210 días después del transplante, cultivadas bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.

Días después del transplante	Solución nutritiva de Steiner	Peso seco de frutos (g)	
63 ^y	125%	4.86	a ^z
	100%	2.09	b
	75%	1.30	b
	50%	0.12	b
84 ^x	125%	34.23	a
	100%	29.59	b
	75%	24.56	c
	50%	21.73	d
105 ^w	125%	9.34	a
	100%	6.20	ab
	75%	2.62	bc
	50%	0.52	c
126 ^v	125%	10.98	a
	100%	6.50	ab
	75%	5.03	ab
	50%	2.41	b
147 ^u	125%	27.61	a
	100%	19.70	ab
	75%	12.33	b
	50%	7.26	bc
168 ^t	125%	2.98	a
	100%	0.00	b
	75%	0.00	b
	50%	0.00	b
189 ^s	125%	1.75	a
	100%	1.50	a
	75%	0.99	ab
	50%	0.35	b
210 ^r	125%	1.50	a
	100%	1.31	a
	75%	0.87	ab
	50%	0.32	b

^z Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Duncan $p \leq 0.01$).

^y Rangos múltiples significativos: para dos tratamientos: 2.55; para tres tratamientos: 2.68; para cuatro tratamientos: 2.76.

^x Rangos múltiples significativos: para dos tratamientos: 2.72; para tres tratamientos: 2.87; para cuatro tratamientos: 2.95.

^w Rangos múltiples significativos: para dos tratamientos: 5.23; para tres tratamientos: 5.51; para cuatro tratamientos: 5.66.

^v Rangos múltiples significativos: para dos tratamientos: 6.09; para tres tratamientos: 6.42; para cuatro tratamientos: 6.60.

^u Rangos múltiples significativos: para dos tratamientos: 12.57; para tres tratamientos: 13.24; para cuatro tratamientos: 13.62.

^t Rangos múltiples significativos: para dos tratamientos: 1.90; para tres tratamientos: 2.00; para cuatro tratamientos: 2.06.

^s Rangos múltiples significativos: para dos tratamientos: 0.73; para tres tratamientos: 0.77; para cuatro tratamientos: 0.80.

^r Rangos múltiples significativos: para 2 tratamientos: 0.86; para 3 tratamientos: 0.91; para 4 tratamientos: 0.94.

poco suministro de los mismos, en algunos casos la recolección de frutos no se realiza en los plazos deseables y posibles; también es factible que a menor disponibilidad nutrimental las plantas presentaran menos actividad meristemática, por lo que no aparecían nuevas flores o no amarraban por la poca fuerza de demanda y fuente insuficiente producto de un deficiente transporte de fotoasimilados por la poca disponibilidad nutrimental.

El peso seco de frutos del tratamiento 4 fue siempre superior a los otros tratamientos. El valor máximo de 27.61 g a los 147 días después del trasplante pone de manifiesto que con el fin de maximizar la producción en chile manzano sería factible ensayar mayores concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, para obtener altos rendimientos que según Grageda (1999), estén enmarcados en la meta de producción, la cual como indicaron Pérez y Castro (1998) puede alcanzar los cinco kilogramos por planta en condiciones de invernadero.

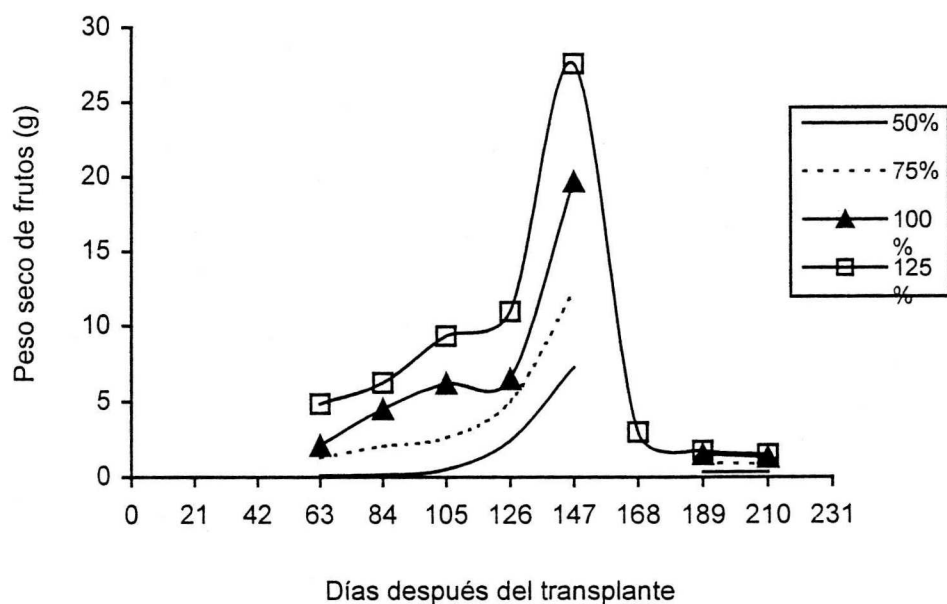


Figura 8. Acumulación de materia seca en frutos de chile manzano en función de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de steiner, cultivado bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.

Los tallos, hojas, flores y frutos, presentaron curvas de peso seco en función del tiempo (figuras 5 a 8) similares a la curva de crecimiento sigmoideal que proponen Salisbury y Ross (1994) para diferentes especies de cultivo. Este comportamiento sigmoide del crecimiento de los órganos de chile manzano corresponde a un ciclo biológico de 361 días. No obstante, a campo abierto la planta puede ser perenne como se discutió en el apartado de fases fenológicas.

4.10 Peso seco total. A los 105, 147 y 168 días después del transplante, se encontraron diferencias altamente significativas entre los tratamientos (cuadros 47 A, 49 A y 50 A del anexo). Mediante la prueba de Duncan (Cuadro 24) se identificó al tratamiento 4 como estadísticamente superior a los tratamientos 1, 2 y 3.

Las curvas ajustadas de peso seco total en función de los días después del transplante (Figura 9) muestran en definitiva los mayores valores para el tratamiento 4, en el cual las plantas tuvieron un mayor suministro de nutrimentos minerales que se involucraron en procesos fisiológicos como respiración, transporte de sustancias, síntesis de carbohidratos, lípidos y proteínas que según Rojas y Rovalo (1985) son sustancias activas en el metabolismo vegetal y que contribuyen al mayor crecimiento, lo cual se refleja en un mayor peso seco de frutos y rendimiento total.

Respecto a los modelos de crecimiento Salisbury y Ross (1994) mencionan que si frecuentemente la gráfica del tamaño o peso de un organismo en función del tiempo puede ajustarse con una función matemática sencilla, los procesos metabólicos y físicos que producen las curvas de crecimiento son demasiado complejos para poder explicarse mediante esos modelos. No obstante, las curvas son útiles para interpolar entre datos medidos. Además de ello, los coeficientes que se deben conocer para que las ecuaciones ajusten pueden emplearse para clasificar los efectos de un tratamiento experimental sobre el crecimiento de las plantas u órganos vegetales que se están observando.

Cuadro 24. Efecto de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner sobre el peso seco total de plantas de chile manzano, a los 105, 147 y 168 días después del transplante, cultivadas bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.

Días después del transplante	Tratamiento	Peso seco total (g)	
105 ^y	125%	115.43	a ^z
	100%	68.92	b
	75%	58.42	b
	50%	47.87	b
147 ^x	125%	158.04	a
	100%	134.91	ab
	75%	92.03	b
	50%	80.94	b
168 ^w	125%	145.45	a
	100%	145.07	a
	75%	90.86	bc
	50%	84.94	c

^zMedias con la misma letra son estadísticamente iguales (Duncan $p \leq 0.01$).

^y Rangos múltiples significativos: para dos tratamientos: 38.28; para tres tratamientos: 40.31; para cuatro tratamientos: 41.46.

^x Rangos múltiples significativos: para dos tratamientos: 54.86; para tres tratamientos: 57.79; para cuatro tratamientos: 59.44.

^w Rangos múltiples significativos: para dos tratamientos: 38.97; para tres tratamientos: 41.04; para cuatro tratamientos: 42.21.

Debido a que hay una estrecha relación entre el agua utilizada para la fertirrigación en Chile y la materia seca producida, existe un rango de concentración de nutrientes referido a la materia seca acumulada por planta, el cual según Gariglio y Marano (1997) deben estar en la solución nutritiva en forma de iones para satisfacer a tiempo las necesidades de agua y nutrientes de la planta; en este sentido la solución de Steiner al 125% contribuyó a una

mejor nutrición de las plantas y con ello a una mayor tasa de crecimiento y producción de materia seca.

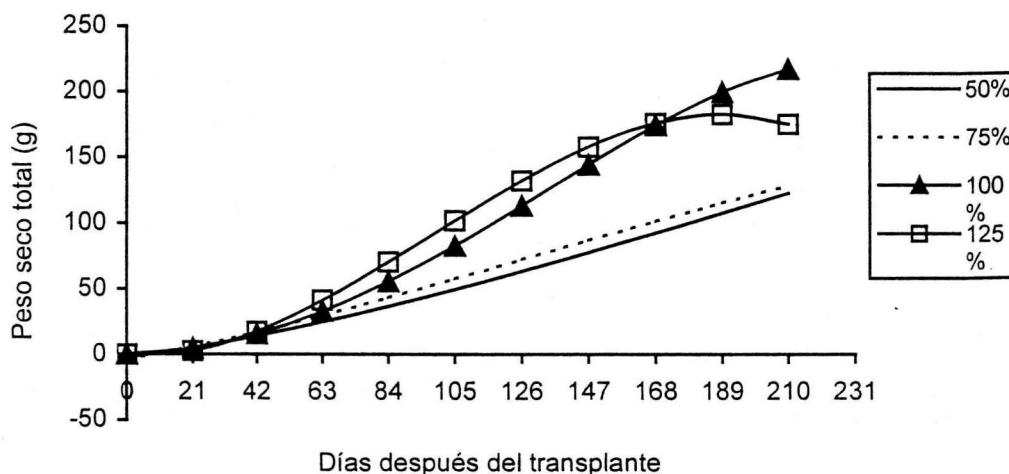


Figura 9. Acumulación total de materia seca en plantas de chile manzano en función de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, cultivado bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.

4.11 Producción por corte. En la producción por corte a los 141 y 169 días después del trasplante hubo diferencias altamente significativas (cuadros 53A y 55A del anexo). Con la prueba de Duncan (Cuadro 25), se identificó a los tratamientos 2 y 3 como iguales entre sí y superiores a 1 y 4. Esto indica que la planta entra a producción con cierta precocidad en función de las diferentes concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, principalmente para las intermedias (75 y 100%); posiblemente esté relacionado con lo que indican Rojas y Rovalo (1985) en cuanto a los procesos de floración y fructificación, en los cuales los metabolitos y el estado nutricional tienen una participación importante e involucran cambios en la fisiología de la planta, dándose el caso de que el número de flores excede a la potencialidad nutritiva, con lo que se desarrolla una competencia interna por alimento y la planta no puede seguir sosteniendo más flores y frutos en cantidad adecuada, como sucedió a los 188,

Cuadro 25. Efecto de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner sobre la producción por corte a los 141, 169, 188, 195, 203 y 224 días después del transplante de chile manzano cultivado bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.

Días después del transplante	Solución nutritiva de Steiner	Producción por corte (g)	
141 ^y	125%	26.68	bc ^z
	100%	57.09	a
	75%	68.97	a
	50%	21.12	c
169 ^x	125%	131.36	b
	100%	75.93	c
	75%	180.35	a
	50%	156.79	ab
188 ^w	125%	156.48	a
	100%	68.24	b
	75%	36.33	c
	50%	27.66	c
195 ^v	125%	257.68	a
	100%	106.55	b
	75%	84.60	b
	50%	79.30	b
203 ^u	125%	221.40	a
	100%	103.17	b
	75%	80.76	b
	50%	63.73	b
224 ^t	125%	121.19	a
	100%	117.97	a
	75%	56.83	b
	50%	49.04	b

^zMedias con la misma letra son estadísticamente iguales (Duncan $p \leq 0.01$).

^y Rangos múltiples significativos: para dos tratamientos: 19.14; para tres tratamientos: 20.16; para cuatro tratamientos: 20.73.

^x Rangos múltiples significativos: para dos tratamientos: 33.31; para tres tratamientos: 35.08; para cuatro tratamientos: 36.08.

^w Rangos múltiples significativos: para dos tratamientos: 19.70; para tres tratamientos: 20.75; para cuatro tratamientos: 21.34.

^v Rangos múltiples significativos: para dos tratamientos: 67.61; para tres tratamientos: 71.21; para cuatro tratamientos: 73.24.

^u Rangos múltiples significativos: para dos tratamientos: 65.10; para tres tratamientos: 68.57; para cuatro tratamientos: 70.53.

^t Rangos múltiples significativos: para dos tratamientos: 25.14; para tres tratamientos: 26.48; para cuatro tratamientos: 27.24.

195 y 203 días después del transplante (cuadros 56A a 59A del anexo), cuando el tratamiento 4 presentó producción por corte superior en grado altamente significativo al de los demás tratamientos (Cuadro 25).

La baja producción por corte observada para los tratamientos 1, 2 y 3 con respecto al tratamiento 4 corrobora lo citado por Güenkov (1974) en cuanto a la importancia del suministro de nutrimentos en hortalizas, en las cuales la escasez de unos u otros elementos minerales o el desbalance entre ellos influye desfavorablemente sobre el crecimiento y formación de los órganos; en dichas condiciones las cosechas disminuyen o la calidad de la producción tiene también este comportamiento, y podría reflejarse para chile manzano en parámetros de calidad como los estudiados por Juárez (1999) en las condiciones de Chapingo, entre los que cabe citar grosor de pericarpio (se prefiere de 4 a 6 mm), pedúnculo fuertemente adherido al fruto, color amarillo intenso y muy brillante, forma cuadrada o de manzana, tamaño mediano, peso de 20 a 30 g/fruto y número de lóculos (3 a 4); aunque este último está muy relacionado con la interacción planta-medio-ambiente y es un carácter de herencia cuantitativa. No obstante, podrían probarse concentraciones más altas de nutrimentos para evaluar el rendimiento de la planta y otros parámetros de calidad como por ejemplo la pungencia, ya que se observó que eventualmente la producción no se mantuvo de manera constante, pero sí se maximizó finalmente en el tratamiento de solución nutritiva de Steiner al 125%, ya que en este sistema de producción intensiva se requiere el suministro de nutrimentos en la época y cantidad apropiadas para obtener el máximo potencial productivo de esta especie.

La Figura 10 y Cuadro 26 muestran las curvas y producción por corte y total para cada uno de los tratamientos. Se observa que el tratamiento 4 concentra su producción por corte entre los 181 y 221 días después del transplante, lo cual representa el 65.5% de la producción total por planta; en esta fase la planta ya formó una arquitectura y estructuras fuertes, de buen vigor, de mayor área

foliar, peso seco de tallo y peso seco de hojas , capaces de sostener y amarrar más frutos que se han manifestado como órganos de demanda y tener un periodo vegetativo más largo, con el cual se avejente menos y produzca más, en contraste con los tratamientos 1, 2 y 3 que concentraron su producción con más precocidad, entre los 141 y 176 días, representados en 60.99, 65.69 y 49.07%, respectivamente, de la producción por corte, para luego ir descendiendo porque la planta posiblemente ya no tenía fuertes demandas.

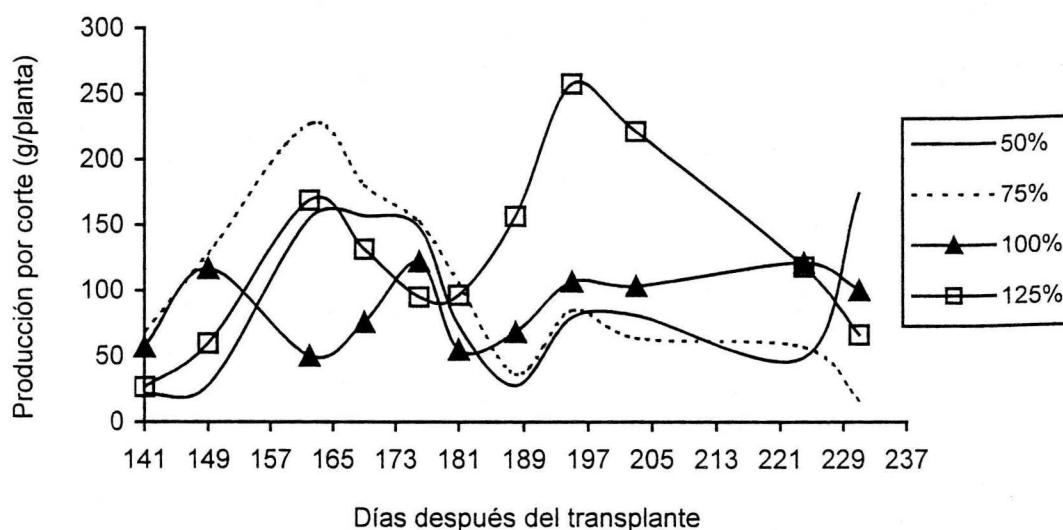


Figura 10. Producción de frutos por corte de chile manzano en función de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de steiner, cultivado bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.

El mayor rendimiento total, 1,397.6 g/planta, obtenido con la solución nutritiva de Steiner al 125% fue diferente (Cuadro 60A del anexo) y superior en grado altamente significativo al de los demás tratamientos (Cuadro 27) y está en concordancia con lo que señalaron Fageria *et al.* (1991) en el sentido de que la cantidad de nutrimentos minerales suministrados al cultivo es uno de los factores más importantes en la obtención de alta productividad, haciendo del abonamiento una de las herramientas claves para la obtención de altos rendimientos y máximas utilidades en el negocio agrícola, como señaló Guerrero (1996). En un sentido más amplio, el tratamiento 4 fue un reflejo de la expresión no solo de la acción individual de las diferentes concentraciones

nutrimentales aplicadas, sino de la interrelación de éstas con las cinco determinantes fisiológicas del crecimiento y producción de los cultivos que indicaron Charles-Edwards *et al.* (1986) y son: 1) la cantidad de energía lumínica interceptada por el follaje del cultivo, 2) la eficiencia con que esa luz interceptada es usada en la producción de nueva materia seca, 3) la proporción de la nueva materia seca que se distribuye entre cada uno de los órganos de la planta, 4) la tasa de pérdida de materia seca debida a cualquier causa, y 5) la duración del crecimiento y producción de la planta, o el órgano que sea de interés del productor.

Cuadro 26. Producción de frutos por corte y total en chile manzano cultivado bajo invernadero y sometido a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Cortes de chile manzano (g por planta)					
Solución nutritiva de Steiner					
Corte	Días después del transplante	50%	75%	100%	125%
1	141	21.12	68.97	57.09	26.68
2	149	27.92	128.19	116.77	59.68
3	162	154.66	166.40	162.4	168.67
4	169	156.79	180.35	75.93	131.36
5	176	147.91	152.07	121.96	94.98
6	181	73.18	105.62	55.01	96.53
7	188	27.66	36.33	68.24	156.48
8	195	79.3	84.60	106.55	257.68
9	203	80.76	63.73	103.17	221.4
10	224	49.04	56.83	121.19	117.97
11	231	15.2	16.40	100.16	66.17
Total acumulado					
(g por planta)		833.54	1059.49	1088.47	1397.60

Cuadro 27. Efecto de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner sobre la producción total de plantas de chile manzano cultivadas bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.

Solución nutritiva de Steiner	Producción total	
	(g)	
125%	1,397.58	a ^z
100%	1,088.45	b
75%	1,059.49	b
50%	833.53	c

^zMedias con la misma letra son estadísticamente iguales (Duncan $p \leq 0.01$).

Rangos múltiples significativos: para dos tratamientos: 166.84; para tres tratamientos: 175.90; para cuatro tratamientos: 180.74.

4.12 Índices de crecimiento. Los modelos matemáticos ajustados del peso seco total para cada tratamiento (figuras 1A a 4A del anexo) se utilizaron para obtener las ecuaciones de las derivadas del peso seco total con respecto al tiempo ($dPST/dt$) que se presentan en el Cuadro 28; a partir de éstas se obtuvieron los valores (Cuadro 29) para el cálculo de la tasa de crecimiento del cultivo (TCC), tasa de asimilación neta (TAN) y tasa relativa de crecimiento (TRC).

4.12.1 Tasa de crecimiento del cultivo (TCC). Los resultados de la TCC se presentan en el Cuadro 61A del anexo y Figura 11, donde se observa que en las primeras fases de crecimiento, la TCC aumenta rápidamente y con mayor velocidad para las soluciones nutritivas más concentradas. Al alcanzar el valor máximo (a los 105 días para el tratamiento 4), la TCC decrece en forma cada vez más acelerada; incluso al final hubo un valor negativo de $-1.52 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$, que de acuerdo con Charles-Edwards *et. al.* (1986) se debe a la pérdida de peso como consecuencia de la senescencia y caída de hojas; en tanto que los demás tratamientos incrementaron su TCC más lentamente y a la vez decaen de forma menos acelerada. El hecho de que el tratamiento 4 alcanzara la mayor tasa de crecimiento del cultivo, refleja más eficiencia productiva de biomasa por

área de suelo y concordó con lo que Hunt (1990) indicó en el sentido de que es un índice de productividad agrícola cuyos valores más altos se reflejan en mayor producción por corte y rendimiento total.

Cuadro 28. Modelos matemáticos del peso seco total, PST, con respecto al tiempo y ecuaciones de la derivada del peso seco total con respecto al tiempo, $dPST/dt$, para plantas de chile manzano cultivadas bajo invernadero y sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Solución nutritiva de Steiner	Modelo matemático ajustado y ecuación de la derivada
50%	$PST = -4E-06t^3 + 0.0022t^2 + 0.3099t - 2.5413$ $dPST/dt = -1.2E-05t^2 + 4.4E-03t + 0.3099$
75%	$PST = -6E-06t^3 + 0.0023t^2 + 0.41t - 3.6108$ $dPST/dt = -1.8E-05t^2 + 4.6E-03t + 0.41$
100%	$PST = -1E-07t^4 + 1E-05t^3 + 0.0069t^2 + 0.0695t + 0.1937$ $dPST/dt = -4E-07t^3 + 3E-05t^2 + 0.0138t + 0.0695$
125%	$PST = -6E-05t^3 + 0.0176t^2 - 0.2154t$ $dPST/dt = -1.8E-04t^2 + 0.0352t - 0.2154$

Cuadro 29. Valores de la derivada del peso seco total con respecto al tiempo (dPST/dt) para los cálculos de los índices de crecimiento de plantas de chile manzano sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Días después del transplante	dPST/dt			
	Solución nutritiva de Steiner			
	50%	75%	100%	125%
0	0.3099	0.4100	0.0695	-0.2154
21	0.3970	0.4987	0.3688	0.4444
42	0.4735	0.5714	0.6724	0.9455
63	0.5395	0.6284	0.9580	1.2878
84	0.5948	0.6694	1.2033	1.4713
105	0.6396	0.6946	1.3862	1.4961
126	0.6738	0.7038	1.4844	1.3621
147	0.6974	0.6972	1.4758	1.0694
168	0.7104	0.6748	1.3380	0.6179
189	0.7128	0.6364	1.0488	0.0076
210	0.7047	0.5822	0.5861	-0.7614

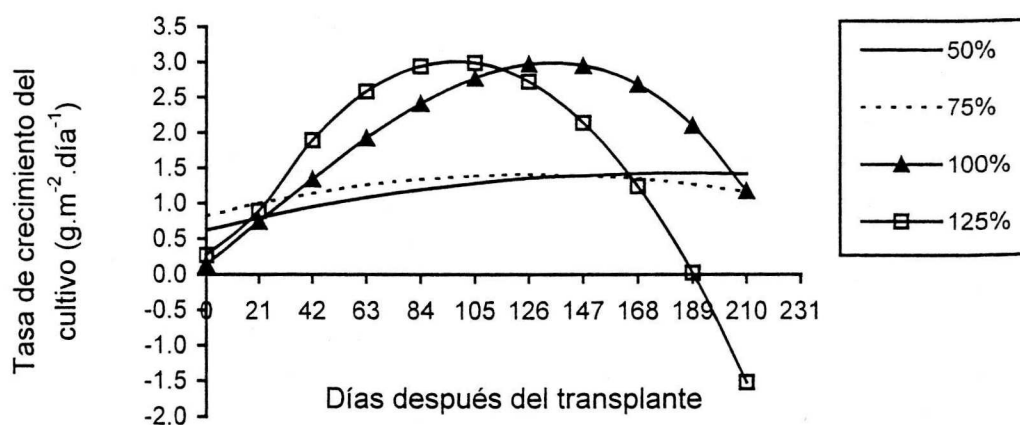


Figura 11. Tasa de crecimiento del cultivo de chile manzano en función de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, cultivado bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.

Al ser la fotosíntesis el proceso responsable de la mayor producción de asimilados y con ello de un mayor rendimiento, la relación que existe entre la mayor TCC de las plantas del tratamiento 4 y la capacidad de esta población para absorber mayor cantidad de energía lumínica depende, como señalaron Charles-Edwards *et al.* (1986) de la efectividad para absorberla con el área de hojas que las plantas son capaces de sostener; hecho que se reflejó en la mayor área foliar de las plantas del tratamiento 4 (solución nutritiva de Steiner al 125%) al interactuar positivamente con una mayor disponibilidad de nutrimentos, lo cual contribuye ventajosamente a la captación de más cantidad de luz por unidad de área foliar y de suelo. Los valores negativos de la TCC al final del ciclo de cultivo en el tratamiento 4 se deben a factores como el autosombreamiento de hojas y a su caída, las cuales fueron sombreadas en el tercio basal de la planta. Esta situación fue más acusada en este tratamiento, en virtud de que a mayor follaje, necesariamente la planta ha de sufrir mayor autosombreamiento y mayor caída de hojas; al respecto Charles-Edwards *et al.* (1986) comentaron que la contribución de las hojas sombreadas a la planta puede ser lenta, sin importancia o nula.

4.12.2 Tasa de asimilación neta (TAN). El comportamiento de la TAN durante los días después del transplante para todos los tratamientos se presenta en el Cuadro 62A del anexo y Figura 12. Se observa que al inicio del transplante se registraron los mayores valores para los tratamientos con menor concentración (75 y 50%) y los menores valores en los de mayor concentración (100 y 125%). Este comportamiento se explica en razón de que los tratamientos con menor concentración de la solución nutritiva presentaron menor número de hojas (Cuadro 17) y menor área foliar (cuadros 18 y 19), con lo cual no hubo autosombreamiento, logrando ser más eficientes en producción de peso seco por la mayor cantidad de energía captada por las plantas (Charles-Edwards *et al.*, 1986), aun cuando su área foliar y número de hojas son menores que las que presentaron los tratamientos con mayor concentración de nutrimentos.

Aunque la TAN decreció aceleradamente hasta alcanzar valores bajos al inicio de la floración, lo cual ocurrió a los 42 días después del transplante, fue siempre positiva; esto indica que el cultivo ganó peso en relación con el número de hojas, pero esa ganancia fue haciéndose menor conforme avanzó el ciclo. Esto se debe posiblemente a que los fotoasimilados obtenidos hasta la floración se translocaron hacia las nuevas fuentes de demanda que son las flores. Después de la floración la TAN continuó disminuyendo, aunque muy poco. Esto se explica porque la materia seca producida por fotosíntesis y minerales se destinó principalmente a los frutos; y el comportamiento entre tratamientos ya no se manifestó igual que al principio del ciclo biológico. Al respecto, Watson (1956, citado por Fogg, 1967) encontró en las curvas de tasa de asimilación neta con respecto al tiempo para la remolacha azucarera (*Beta vulgaris*) que el máximo de cobertura foliar no tiene lugar necesariamente en el momento que las hojas funcionan con mayor eficacia. La velocidad de asimilación neta tiende a disminuir a medida que aumenta el índice de superficie foliar, a causa de que a medida que se producen más hojas, las inferiores van quedando sombreadas y sus tasas fotosintéticas disminuyen en relación directa a la disponibilidad de radiación solar.

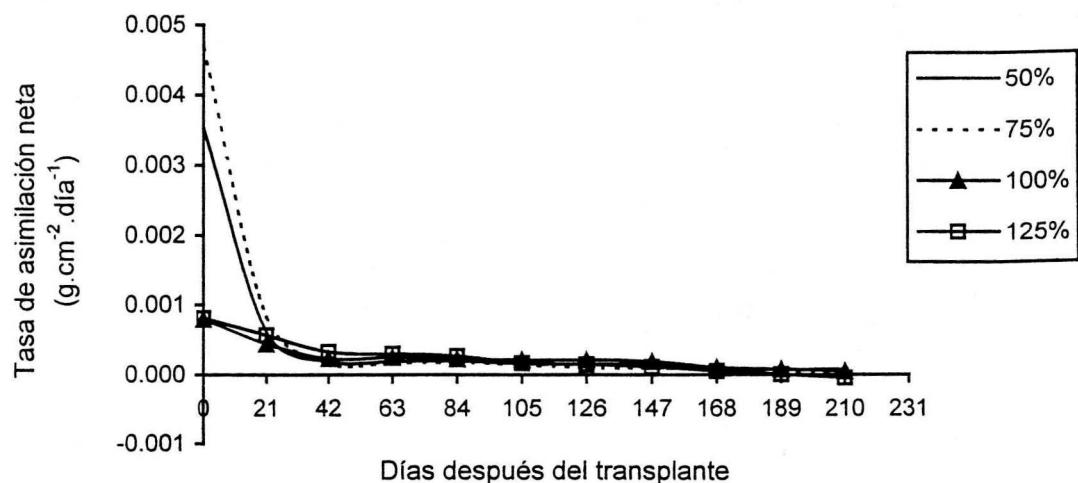


Figura 12. Tasa de asimilación neta del chile manzano en función de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, cultivado bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.

4.12.3 Tasa relativa de crecimiento (TRC). En la Figura 13 y Cuadro 63A del anexo se muestra el comportamiento de la TRC para todos los tratamientos. Al inicio del transplante se registraron las mayores ganancias en peso seco y las máximas TRC en esos momentos fueron para los tratamientos con menor concentración (75% y 50%) y las mínimas TRC para los de mayor (125% y 100%). Aunque el peso seco total de las plantas de chile manzano en cada uno de los tratamientos sigue aumentando con el tiempo (Figura 9), la TRC decreció rápidamente hasta el inicio de la floración, lo cual indica que la actividad meristemática es alta al inicio del ciclo del cultivo y posteriormente va disminuyendo conforme alcanzan un tamaño maduro y en consecuencia la tasa de crecimiento comienza a hacerse igual a cero, lo cual coincide con lo enunciado por Charles-Edwards *et al.* (1986). Entre los 63 y 210 días después del transplante la TRC muestra un comportamiento bastante estable hasta alcanzar un mínimo de casi cero y sin diferencias entre los valores de los tratamientos (Cuadro 63A del anexo). Durante este periodo, los cultivos alcanzaron su fase de crecimiento exponencial (Figura 9), en el cual la tasa de crecimiento relativo es constante.

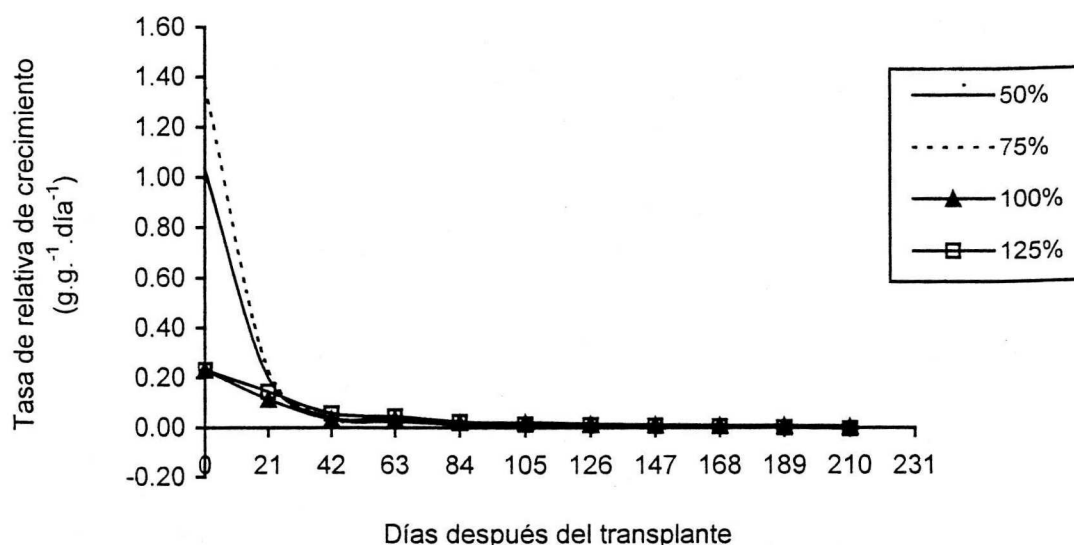


Figura 13. Tasa relativa de crecimiento del chile manzano en función de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, cultivado bajo invernadero. Chapingó, México, 1999-2000.

Dado que el peso seco total que gana el cultivo es la suma de los pesos secos que se obtienen en cada uno de los órganos, al ocurrir la floración las hojas inferiores entran en senescencia y ya no ganan peso o es muy poco porque se convierten en fuentes que atienden la demanda de fotoasimilados que requieren las flores para su amarre y posterior cuajado de frutos. En efecto, la correlación que existe entre el crecimiento y el desarrollo de las diversas partes de una planta puede explicarse, al menos en parte, en términos de suministro y demanda, por la forma en que las sustancias para el crecimiento son translocadas. El crecimiento de una parte consume sustancias nutritivas, y como resultado disminuye su concentración en los canales de suministros adyacentes, estableciéndose un gradiente de concentración que parece producir automáticamente el movimiento de otros materiales desde los órganos que incorporan o fabrican las sustancias, o que, simplemente, las ceden con la edad. Cuanto más activo sea el crecimiento de una parte, tanto más irán a parar a ella los materiales disponibles, y tanto más se restringirá el crecimiento en otras partes. Este tipo de relación existe entre el crecimiento vegetativo y el reproductivo. Así los frutos que crecen rápidamente pueden monopolizar de este modo los recursos de una planta a tal punto que priven por completo de éstos a las partes vegetativas (Fogg, 1967).

Cuando no existen factores limitantes como en el tratamiento 4, la tasa de crecimiento máxima de una planta está determinada por la información genética que contiene cada una de sus células. El peso de la planta se incrementa exponencialmente con el tiempo y de esta manera su tasa de crecimiento relativo es constante. Para expresar el máximo potencial genético, la temperatura y la intensidad de la radiación incidente sobre la planta determinan el valor particular de la tasa de crecimiento relativo que se puede alcanzar. Para mantener estas tasas relativas de crecimiento es necesario que las concentraciones mínimas o críticas de nutrimentos en los tejidos de las plantas se mantengan y de allí que deba definirse la demanda. Ahora bien, cuando el suministro de nutrimentos satisface la demanda, puede ser mantenida la tasa

de crecimiento exponencial determinada genéticamente. En plantas que crecen aisladamente, es inevitable la expansión del follaje con el tiempo; como la planta aumenta de tamaño, la cantidad de luz interceptada por unidad de área foliar decae con la consecuente caída de la tasa de crecimiento. Para plantas creciendo en comunidad (cultivo), la demanda que tienen genéticamente para la posterior toma de nutrimentos se reduce a causa de que la tasa de crecimiento relativo está declinando y es poca la concentración de nutrimentos requeridas para mantenerla (Porter y Lawlor, 1991).

4.12.4 Índice de área foliar (IAF). Como se observa en el Cuadro 64A del anexo, inicialmente el área de hojas aprovecha sólo un 2% del área de suelo para todos los tratamientos. Este porcentaje de aprovechamiento aumenta con la edad del cultivo en sus diferentes etapas, haciéndose mayor en la medida en que las plantas encuentran mayor concentración de nutrimentos en la solución nutritiva. Así, a los 84 días después del transplante, el cultivo del tratamiento 1 aprovechó el 61% de la radiación que llega a esa área de suelo, el del 2 el 78%, el del 3, 109% y el 4 el 111%; este último en consecuencia, aprovechó más la radiación presente, lo cual se manifestó en una mayor tasa de translocación de fotoasimilados hacia los puntos de demanda como fueron los frutos (Cuadro 26). Esto concordó con Fogg (1967) al señalar que la cantidad de fotosíntesis que una planta realiza depende, además de la superficie de la hoja u otros órganos fotosintéticos que posea, del índice de área foliar, es decir del área de los limbos foliares sobre la unidad de superficie de suelo.

En la Figura 14 se muestra el IAF para todos los tratamientos y se observa que las curvas del IAF son crecientes en el tiempo para todos los tratamientos. Desde cero, en el momento de la germinación, el índice de área foliar aumenta lentamente al principio, y posteriormente lo hace de manera rápida hasta llegar a un máximo (210 días después del transplante para el tratamiento 4) y permanece un lapso corto de tiempo antes de disminuir rápidamente al término de la estación de crecimiento. Este tipo de producción de hojas significa un

desperdicio de luz disponible (Fogg, 1967) debido a que las hojas no alcanzaron a cubrir todo el espacio disponible de radiación.

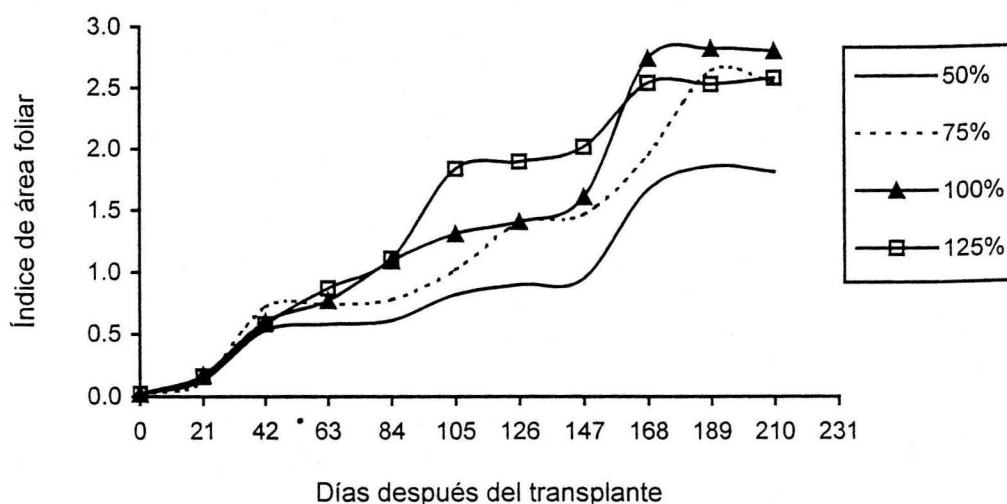


Figura 14. Índice de área foliar de plantas de chile manzano en función de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, cultivadas bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.

El hecho de que el IAF aumente en la medida que lo hace la concentración de la solución nutritiva quiere decir que a mayor disponibilidad de nutrientes la planta desarrolla mayor área foliar por unidad de suelo; y esto la hace más eficiente desde el punto de vista fotosintético, ya que absorbe más radiación solar y puede atender así las demandas que se dan en las etapas de floración y fructificación durante el ciclo biológico. Por tanto, la solución nutritiva de Steiner al 125% es la más eficiente en lo que respecta al IAF. Cabe aclarar que los valores altos de este índice en algunas ocasiones no están relacionados necesariamente con la mayor cantidad de fotosíntesis, ya que el IAF es un concepto que representa, para todo el cultivo, un promedio de los estratos de follaje que están expandidos, situación que se ve afectada por el hecho de que las hojas no se despliegan sin dejar de encontrarse unas con otras, sino que lo hacen en diferentes ángulos que varían con la morfología de las especies y con las condiciones en que estén creciendo y de acuerdo con Hunt (1982) algunos

valores altos del IAF pueden ocurrir cuando el follaje no cubre toda la superficie del suelo. Además al igual que otros índices de eficiencia del análisis del crecimiento, el IAF es fuertemente afectado por la temperatura y condiciones de humedad y nutrición mineral del cultivo (Hunt, 1978), tal como sucedió en el presente estudio.

4.12.5 Duración del área foliar (DAF) basada en el índice de área foliar. Con base en los resultados de DAF obtenidos (Cuadro 65A del anexo y Figura 15), es evidente que las plantas de los tratamientos 3 y 4 al presentar mayor duración del área foliar con respecto a los tratamientos 1 y 2, tuvieron en conjunto mayor oportunidad para producir fotoasimilados durante cada periodo estudiado. Se observaron en general, mayores valores en rendimiento (g/planta) en los tratamientos cuya duración del área foliar fue mayor (Cuadro 30).

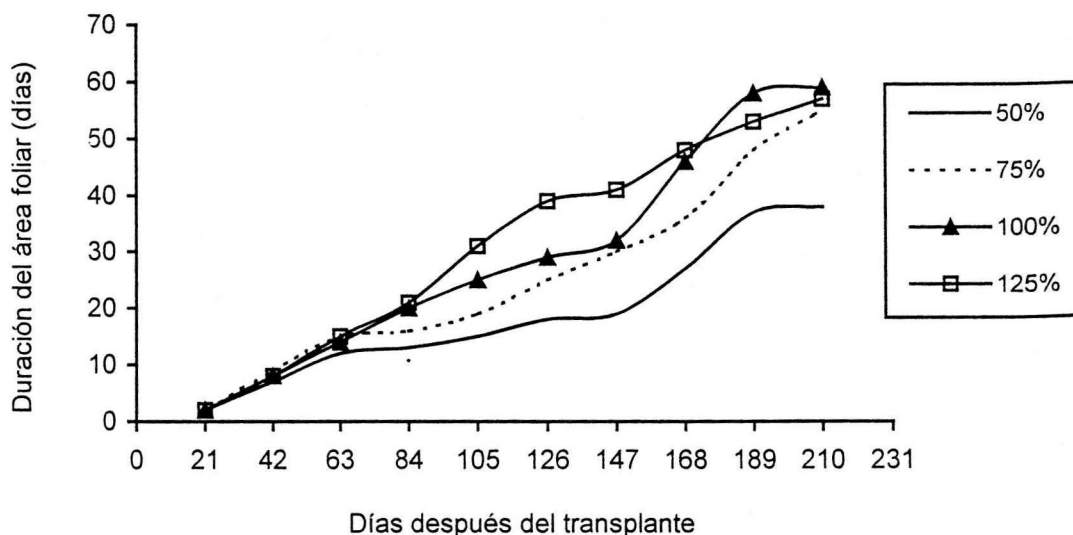


Figura 15. Duración del área foliar de plantas de chile manzano en función de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, cultivadas bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.

En general, a mayor concentración de la solución nutritiva se observa que la DAF es mayor (Figura 15). Aunque de la siembra hasta el inicio de la floración

fueron similares para todos los tratamientos, después no; y los tratamientos con mayor disponibilidad de nutrientes en la solución nutritiva comenzaron a superar de manera marcada a los de menor concentración. Así, la magnitud del área foliar y su persistencia en el tiempo (Hunt, 1982) fue mayor para los tratamientos 3 y 4 y menor para 1 y 2. Es decir, hubo un mayor aprovechamiento de la radiación solar en los tratamientos 3 y 4 y esto se manifestó no solo en un mayor crecimiento general de las plantas sino también en un mayor rendimiento total.

Cuadro 30. Duración del área foliar (DAF) por tratamientos de plantas de chile manzano a los 210 días después del transplante y rendimiento total acumulado. Chapingo, México, 1999-2000.

Solución nutritiva de Steiner	DAF (días)	Rendimiento (g por planta)	
125%	57	1,397.60	a ^z
100%	59	1,088.47	b
75%	55	1,059.49	b
50%	38	833.54	c

^zMedias con la misma letra son estadísticamente iguales (Duncan $p \leq 0.01$).

4.13 Índice de cosecha (IC). En la Figura 16 se muestra un gráfico comparativo de los índices de cosecha para los tratamientos evaluados. El IC aumentó con la concentración de la solución nutritiva y alcanzó un valor máximo de 68.85% para el tratamiento 4. Esto muestra claramente la mayor proporción de materia seca del cultivo que se transformó en el componente de interés comercial (Hunt, 1990), constituyéndose en un alto rendimiento económico o agrícola como lo denominaron Gardner *et al.* (1990). Desde el punto de vista del funcionamiento vegetal, el alto índice de cosecha del tratamiento 4 es un coeficiente de eficiencia o de migración que se refiere al movimiento de materia seca que hubo hacia los frutos cosechados de la planta, los cuales fueron el

resultado de la expresión de todos los factores que interactuaron, durante el ciclo vital, con los nutrientes de la solución nutritiva de Steiner al 125%.

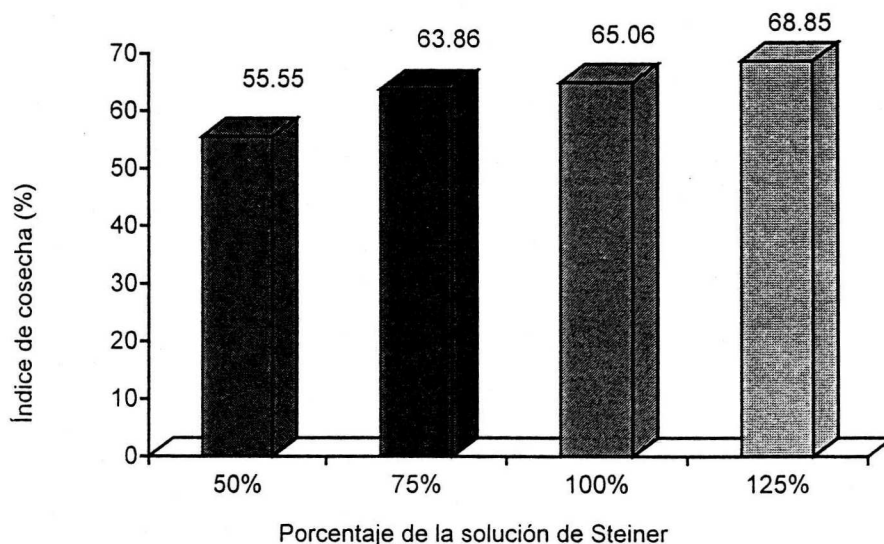


Figura 16. Índice de cosecha del chile manzano en función de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, cultivado bajo invernadero. Chapingo, México, 1999-2000.

Lo anterior manifiesta que la fertilización como método agrícola que conduce al éxito en las cosechas, tiene una amplia base fisiológica que se fundamenta principalmente en brindar al cultivo las mejores condiciones basados en el conocimiento de la planta y sus fases de crecimiento, con el fin de formar una arquitectura o estructura de planta fuerte, vigorosa, con haces vasculares de buen diámetro y numerosos para un mejor transporte de sustancias, área foliar que brinde un tamaño de fuente adecuado a cada una de las demandas, como son, principalmente, flores y frutos, las cuales a su vez tengan la fuerza de demanda suficiente para el mejor crecimiento y desarrollo; al mismo tiempo, el peso seco de cada uno de sus órganos debe ser maximizado para que las reservas de los mismos sean trasladadas hacia los frutos y se obtenga calidad desde el punto de vista de tamaño, grosor del pericarpio, semillas, color y brillantez, principalmente. Llegado a este punto del análisis de crecimiento del cultivo como comunidad, la acumulación de materia seca en términos de

acumulación de rendimiento económico deja ver que es posible ensayar mayores concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, y lo que es mejor, usar diferentes concentraciones conforme se van dando los procesos de crecimiento y desarrollo, poniendo a disposición de la planta los nutrimentos que más necesite en la cantidad y momento más oportuno. En este sentido, esta investigación básica es un punto de partida para realizar otros estudios sobre las cantidades de nutrimentos extraídas por el cultivo y conocer mediante análisis de tejidos las cantidades de nutrimentos que componen a toda la planta y el porcentaje que se destina a cada órgano.

5. CONCLUSIONES

La solución nutritiva de Steiner al 125% maximizó, con respecto a la solución al 50%, a los 210 días después del transplante, en las plantas de chile manzano sembradas bajo invernadero, las variables de crecimiento número de hojas (en 27.52%), área foliar (en 36.52%), peso seco de frutos (en 78.67%), peso seco total (a los 168 días después del transplante, en 41.60%) y producción total (en 40,36%).

Con la solución nutritiva de Steiner al 125% se obtuvieron los mayores valores de tasa de crecimiento del cultivo ($2.99 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$), tasa de asimilación neta ($0.000806 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$), índice de área foliar (2.85) e índice de cosecha (68.85%). También se obtuvo la mayor producción de frutos por corte ($257.68 \text{ g} \cdot \text{planta}^{-1}$) y rendimiento total ($1,397.60 \text{ g} \cdot \text{planta}^{-1}$).

6. LITERATURA CITADA

- Acosta S., C. s.f.** Fertilización en diversos cultivos. Manual de Asistencia Técnica No.25. Cuarta Aproximación. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Centro Experimental Tibaitatá. División de Comunicación ICA. Bogotá, Colombia. 56 p.
- AgroRed[®], 2000.** El Periódico de Información Agrícola. Del 25 de enero al 25 de febrero del 2000. México, Año 1 No.3. p.12.
- Anónimo. 1999.** Los chiles, tradición de sabor. Cocina Fácil 14(3): 70-75.
- Arcos C., G. Hernández H., J. Uriza A. D., O. Pozo C., y A. Olivera. 1998.** Tecnología para producir chile jalapeño en la planicie costera del Golfo de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de investigación Regional Noreste, Veracruz, México. Folleto técnico número 24. División agrícola. 206 p.
- Archer, J. 1988.** Crop nutrition and fertiliser use. Second edition. Farming Press Ltd. Wharfedale Road, Ipswich, Suffolk. 265 p.
- ARS. 2000.** Amazonas Rocoto Sauce. <http://www.salsasetc.com/catalog/f-696.html>. 2p.
- Baeyens, J. 1970.** Nutrición de las plantas de cultivo. (Fisiología Aplicada a las Plantas Agrícolas). Editorial Lemos. Madrid, España. 631 p.

- Barraza A., F. 1998.** Manejo y Desinfección de Semilleros y Sustratos para la Siembra de Especies Hortícolas. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Córdoba. Montería, Córdoba, Colombia. 51 p.
- Basil, R. 1996.** Varieties I am growing in pots on my French Quarter Balcony. <http://www.geocities.com/BourbonStreet/Square/9333/MYPEPPERS99.html>. 3p.
- Beadle, C.L. 1988.** Análisis del Crecimiento Vegetal. *In:* Técnicas en Fotosíntesis y Bioproductividad. J.Coombs, D.O. Hall, S.P. Long and J.M.O. Schurlock (eds.). Traducción al Español de la 2da. Edición en Inglés. Patrocinada por el Programa Ambiental de las Naciones Unidas (UNEP) y Colegio de Posgraduados, Chapingo, México. Editorial Futura S.A. México. pp.17-21.
- Bidwell, R.G.S., 1993.** Fisiología Vegetal. Segunda reimpresión. A.G.T. Editor S.A. D.F., México. 784 p.
- Bowers, M. 1997.** <http://neptune.netimages.com/~chile/gallery/rocoto.html>. 1p. Chile-Heads. *Capsicum pubescens*.
- Burgueño, H. 1995.** La Fertigación en Cultivos Hortícolas con Acolchado Plástico. Vol.2. Extracción de nutrientes por los cultivos de Tomate en el Valle de Culiacán, Sin. México. Los análisis de Savia. La movilidad de los elementos minerales. Grupo Formato S.A. de C.V. D.F., México. 71 p.
- Casseres, E. 1980.** Producción de Hortalizas. Tercera Edición. Editorial IICA. San José, Costa Rica. 387 p.
- Charles-Edwards, D.A., D. Doley, and G. Rimmington. 1986.** Modelling Plant Growth and Development. Academic Press Australia. Australia. 235 p.

- Chávez S., J. L. 1999.** Diversidad morfológica e isoenzimática del chile manzano (*Capsicum pubescens* R.y P.) en México. Tesis de Doctor en Ciencias. Instituto de Recursos Genéticos y Productividad. Especialidad en Genética. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Texcoco, México. 138p.
- DeWitt, D. 2000.** Pepper Profile: *Pubescens* Species. Fiery Foods Barbecue Business Super Site. Number 42. <http://www.fiery-foods.com/zine-consumer/pubesc11.html>. 4p.
- Domínguez Ch., L. y E. Carnalla G. 1997.** Caracterización fenológica y estudio del crecimiento de la planta de chile manzano (*Capsicum pubescens* Ruiz y Pavon) en las condiciones ambientales de Chapingo, México. Tesis profesional-Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia. Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 94 p.
- DTM (Departamento Técnico Microfertisa W.F & Cía. Ltda). s.f.** Manual Técnico Microfertisa. Santafé de Bogotá D.C., Colombia. Folleto. 64p.
- Edwards, L. 1998.** <http://www.crl.com/~ledwards/manzama.html>. 1p. Manzano Amarillo Information Page. Information Sheet. Manzano Amarillo *Capsicum pubescens*.
- Fageria, N., Baligar, V. and Ch. Jones. 1991.** Growth and Mineral Nutrition of Field Crops. Ed. Marcel Decker, Inc. New York, USA. 476 p.
- Favaro, J. C. y R. Pilatti. 1997.** Cultivo de pimiento. *In:* Cultivos Bajo Invernaderos. Centro de Publicaciones Universidad Nacional del Litoral y Editorial Hemisferio Sur. Segunda Edición. Editorial Hemisferio Sur, S.A. Buenos Aires, Argentina. , pp. 35-48.

- Fogg, G.E. 1967.** El crecimiento de las plantas. Editorial Universitaria de Buenos Aires (EUDEBA), Argentina. 327 p.
- Forero, P. M. 1983.** Relación Uso de la Tierra-Clima. Ministerio de Obras Públicas y Transporte. Centro Interamericano de Fotointerpretación-CIAF. Bogotá, D.E., Colombia. Folleto. 22p.
- García, E. 1968.** Los climas del Valle de México, según el sistema de clasificación climática de Köppen modificado por la autora. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. D.F., México. 246 p.
- Gardner, F., Pearce, R. and R. Mitchell. 1990.** Physiology of crop plants. Second Edition. Ed. Iowa University Press: AMES. USA. pp. 98-131, 187-208.
- Gariglio, N. F. y R. Marano. 1997.** Fertirrigación. *In:* Cultivos Bajo Invernaderos. Centro de Publicaciones Universidad Nacional del Litoral y Editorial Hemisferio Sur. Segunda Edición. Editorial Hemisferio Sur, S.A. Buenos Aires, Argentina. pp. 151-170.
- Grageda G., J. 1999.** La fertilización en hortalizas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional del Noroeste, Campo experimental Costa de Hermosillo, Hermosillo, Sonora, México. Folleto Técnico No.19. 62p.
- Güenkov, G. 1974.** Fundamentos de la Horticultura Cubana. Instituto Cubano del Libro. La Habana, Cuba. 355 p.

- Guerrero R., R. 1996.** Propiedades Generales de los Fertilizantes. Manual Técnico. Monómeros Colombo Venezolanos S.A. Oficina Santafé de Bogotá, Colombia. Folleto. 84p.
- Gutiérrez C., A. .2000.** Industrialización de Rocoto en Marcapata.<http://www.3rcp.net.pe/INKA/agro/rocoto.htm>. 2p.
- Heiser, C. and B. Pickersgill. 1969.** Names for the cultivated *Capsicum* species (Solanaceae). Taxon 18: 227-283.
- Hunt, R. 1978.** Plant Growth Analysis. Studies in Biology No. 96. The Institute of Biology's. Edward Arnold (Publishers) Limited. London, U.K. 67 p.
- Hunt, R. 1982.** Plant Growth Curves. The Functional Approach to Plant Growth Analysis. Edward Arnold (Publishers) Limited. London, U.K. 248 p.
- Hunt, R. 1990.** Basic Growth Analysis: plant growth analysis for beginners. Unwin Hyman Ltd., London, UK. 112 p.
- Juárez M., F. 1998.** Visita a cuatro regiones productoras de chile manzano (*Capsicum pubescens* R.y P.) en México. Reporte de estancia en campo. Maestría en Ciencias. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. Agosto 1998.
- Juárez M., F. 1999.** Efecto de niveles de temperatura, luz y humedad del sustrato en la calidad y rendimiento de chile manzano (*Capsicum pubescens* R.y P.). Tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 115p.

- Ken's Red Hot Chile Peppers (Scoville Scale). 1996.** The Scoville Scale.
<http://www.geocities.com/BourbonStreet/Delta/6705/scoville.htm>. 2p.
- Laborde C., J. A. y O. Pozo C. 1982.** Presente y pasado del chile en México.
Publicación Especial Núm. 85. Secretaría de Agricultura y Recursos
Hidráulicos-Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. D.F., México.
80 p.
- Martínez G., A. 1988.** Diseños Experimentales. Métodos y Elementos de
Teoría. Editorial Trillas, Distrito Federal, México. 756 p.
- MexAssist-The Hottest Server in Mexico. 1996.** Manzano Chile.
<http://www.starnet.net.mx/mexassist/chile/manzano.html>. 1p.
- Nuez V., F.; Gil, R. y J, Costa. 1996.** El cultivo de pimientos, chiles y ajíes.
Tercera Edición. Mundi-Prensa. Madrid, España. 607 p.
- Pérez G., F. y J. Martínez L. 1994.** Introducción a la Fisiología Vegetal. Mundi-
Prensa. Madrid, España. p.102.
- Pérez, G., M. , Márquez, S., F. y A. Peña L. 1997.** Mejoramiento Genético de
Hortalizas. Departamento de Publicaciones de la Dirección General de
Difusión Cultural. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
380 p.
- Pérez, G., M. y R. Castro B. 1998.** Guía para la producción intensiva de chile
manzano. Boletín de divulgación No.1. Programa Nacional de
investigación en Olericultura. Departamento de Fitotecnia, Universidad
Autónoma Chapingo. 17 p.

- Porter, J.R., and D.W. Lawlor. 1991.** Interactions with nutrition and environment. Society for experimental biology. Seminar series 43. Cambridge University Press, Cambridge. 284 p.
- Resh, H. 1992.** Cultivos Hidropónicos. Nuevas Técnicas de Producción. Tercera Edición. Mundi-Prensa. Madrid, España. 369 p.
- Rivera Y., M. 1996.** Distribución y descripción de colectas de chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.) en México. Tesis profesional-Ingeniero Agrónomo. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 57 p.
- Rojas, L. 1989.** Análisis de plantas. *In:* El análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Manual de Asistencia Técnica No.47. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Subgerencia de Investigación y Transferencia. Disciplinas Agrícolas. Programa Nacional de Suelos. Sección Nacional Arte e Impresión ICA. Bogotá, Colombia. pp.175-190.
- Rojas G., M. y M. Rovalo. 1985.** Fisiología vegetal Aplicada. Tercera edición. Editorial McGRAW-HILL de México S.A. de C.V. D.F., México. 302 p.
- Salisbury B., F y C. W. Ross. 1994.** Fisiología Vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica S.A. de C.V. D.F. México. 759 p.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR). 2000.** Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos 1998, por cultivo. Tomo I. Centro de Estadística Agropecuaria. Talleres del Centro de Estadística Agropecuaria. D.F. México. 753 p.
- Steiner, A., A. 1961.** A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. Horticultural Experiment Station, Naaldwijk, Netherlands. Reprint from Plant and Soil. XV(1961): 134-154.

- Steiner, A., A. 1984.** The universal nutrient solution. *In*: Sixth International Congress on Soilless Culture. Reprint from Proceedings International Society for Soilless Culture. Lunteren. pp. 633-650
- Uittien J., J and A. Steiner. 1969.** A method of water culture for experiemnts with micronutrient elements. Reprint from Acta Bot. Neerl. 18(6): 709-712.
- Vera C., A. s.f.** Manual Técnico. Colinagro S.A. División de Mercadeo y Publicidad. Departamento Técnico. Tercera Edición. Departamento Técnico Colinagro S.A. Bogotá, Colombia. Folleto. 114 p.
- Villafán, A. 2000.** Crecen Exportaciones de Hortalizas Mexicanas a EUA. *In*: AgroRed. El Periódico de Información Agrícola. Del 25 de enero al 25 de febrero del 2000. Año 1 No.3. p.1.
- Werner, J. 2000.** Salsa Picante de Rocoto. Presentación de la salsa picante de rocoto más sabrosa y auténtica. julio werner@msn.com, aralwi@hotmail.com. <http://rocotosauce.tripod.com>. 3p.
- Wild, A. 1992.** Condiciones del Suelo y Desarrollo de las Plantas Según Russel. Mundi-Prensa. Madrid, España. 1045 p.

7. ANEXOS

Cuadro 1A. Análisis de varianza para altura de plantas de chile manzano (a los 21 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	20.69	6.90	0.77 ns	3.49	5.95
Error experimental	12	107.75	8.98			
Total	15	128.44				

ns= no significativo

Cuadro 2A. Análisis de varianza para altura de plantas de chile manzano (a los 42 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	190.69	63.56	1.02 ns	3.49	5.95
Error experimental	12	749.25	62.44			
Total	15	939.94				

ns= no significativo

Cuadro 3A. Análisis de varianza para altura de plantas de chile manzano (a los 63 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	303.50	101.17	4.71*	3.49	5.95
Error experimental	12	257.50	21.46			
Total	15	561				

*Significativo con $\alpha \leq 0.05$.

Cuadro 4A. Análisis de varianza para altura de plantas de chile manzano (a los 84 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	102.19	34.06	0.26 ns	3.49	5.95
Error experimental	12	1,575.75	131.31			
Total	15	1,677.94				

ns= no significativo

Cuadro 5A. Análisis de varianza para altura de plantas de chile manzano (a los 105 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	571.25	190.42	0.93 ns	3.49	5.95
Error experimental	12	2,448.50	204.04			
Total	15	3,019.75				

ns= no significativo

Cuadro 6A. Análisis de varianza para altura de plantas de chile manzano (a los 126 días después del trasplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	196.19	65.40			
Error experimental	12	4,258.75	357.15	0.18 ns	3.49	5.95
Total	15	3,019.75				

ns= no significativo

Cuadro 7A. Análisis de varianza para altura de plantas de chile manzano (a los 147 días después del trasplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	212.75	70.92			
Error experimental	12	1,317	109.75	0.65 ns	3.49	5.95
Total	15	1,529.75				

ns= no significativo

Cuadro 8A. Análisis de varianza para altura de plantas de chile manzano (a los 168 días después del trasplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	338.69	112.90			
Error experimental	12	7,010.25	584.19	0.19 ns	3.49	5.95
Total	15	7,348.94				

ns= no significativo

Cuadro 9A. Análisis de varianza para altura de plantas de chile manzano (a los 189 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	528.19	176.06	0.78 ns	3.49	5.95
Error experimental	12	2,699.75	224.98			
Total	15	3,227.94				

ns= no significativo

Cuadro 10A. Análisis de varianza para altura de plantas de chile manzano (a los 210 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	2,126.50	708.83	1.62 ns	3.49	5.95
Error experimental	12	5,254.50	437.88			
Total	15	7,381				

ns= no significativo

Cuadro 11A. Análisis de varianza para el diámetro del tallo principal de plantas de chile manzano (a los 210 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	0.00	0.00	0.00 ns	3.49	5.95
Error experimental	12	0.46	0.04			
Total	15	0.46				

ns= no significativo

Cuadro 12A. Análisis de varianza para el número de hojas de plantas de chile manzano (a los 105 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	142,779.19	47,593.06	1.98 ns	3.49	5.95
Error experimental	12	288,405.75	24,033.81			
Total	15	431,184.94				

ns= no significativo

Cuadro 13A. Análisis de varianza para el número de hojas de plantas de chile manzano (a los 126 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	157,678.69	52,559.56	0.98 ns	3.49	5.95
Error experimental	12	643,428.75	53,619.06			
Total	15	801,107.44				

ns= no significativo

Cuadro 14A. Análisis de varianza para el número de hojas de plantas de chile manzano (a los 147 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	254,550.69	84,850.23	2.51 ns	3.49	5.95
Error experimental	12	405,346.75	33,778.90			
Total	15	659,897.44				

ns= no significativo

Cuadro 15A. Análisis de varianza para el número de hojas de plantas de chile manzano (a los 168 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	432,596.19	144,198.73			
Error experimental	12	117,250.25	9,770.85	14.76**	3.49	5.95
Total	15	549,846.44				

** Altamente significativo con $\alpha \leq 0.01$.

Cuadro 16A. Análisis de varianza para el número de hojas de plantas de chile manzano (a los 189 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	87,807.19	29,269.06			
Error experimental	12	246,418.75	20,534.90	1.43 ns	3.49	5.95
Total	15	334,225.94				

ns= no significativo

Cuadro 17A. Análisis de varianza para el número de hojas de plantas de chile manzano (a los 210 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	246,198.19	82,066.06			
Error experimental	12	168,205.25	14,017.10	5.85*	3.49	5.95
Total	15	414,403.44				

*Significativo con $\alpha \leq 0.05$.

Cuadro 18A. Análisis de varianza para el área foliar de plantas de chile manzano (a los 105 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	58'754,493.50	19'584,831.17			
Error experimental	12	94'602,259.50	7'883,521.63	2.48 ns	3.49	5.95
Total	15	153'356,753				

ns= no significativo

Cuadro 19A. Análisis de varianza para el área foliar de plantas de chile manzano (a los 126 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	49'616,243.50	16'538,747.83			
Error experimental	12	42'247,903.50	3'520,658.63	4.70*	3.49	5.95
Total	15	91'864,147				

*Significativo con $\alpha \leq 0.05$.

Cuadro 20A. Análisis de varianza para el área foliar de plantas de chile manzano (a los 147 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	58'650,611.50	19'550.203.83			
Error experimental	12	51'865,862.50	4'322,155.21	4.52*	3.49	5.95
Total	15	110'516,474				

*Significativo con $\alpha \leq 0.05$.

Cuadro 21A. Análisis de varianza para el área foliar de plantas de chile manzano (a los 168 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	74'769,263	24'923,087.67			
Error experimental	12	20'873,959	1'739,496.58	14.33*	3.49	5.95
Total	15	95'643,222				

*Significativo con $\alpha \leq 0.05$.

Cuadro 22A. Análisis de varianza para el área foliar de plantas de chile manzano (a los 189 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	53'196,350	17'732,116.67			
Error experimental	12	52'979,371	4'414,947.58	4.02*	3.49	5.95
Total	15	106'175.721				

*Significativo con $\alpha \leq 0.05$.

Cuadro 23A. Análisis de varianza para el área foliar de plantas de chile manzano (a los 210 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	69'277,370	23'092,456			
Error experimental	12	28'660,451	2'388,370.92	9.67**	3.49	5.95
Total	15	97'937,821				

** Altamente significativo con $\alpha \leq 0.05$.

Cuadro 24A. Análisis de varianza para el peso seco del tallo de plantas de chile manzano (a los 126 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	3,273.71	1,091.24			
Error experimental	12	6,514.73	542.89	2.08 ns	3.49	5.95
Total	15	9,788.44				

ns= no significativo

Cuadro 25A. Análisis de varianza para el peso seco del tallo de plantas de chile manzano (a los 147 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	3,216.47	1,072.16			
Error experimental	12	4,579.14	381.60	2.69 ns	3.49	5.95
Total	15	7,795.61				

ns= no significativo

Cuadro 26A. Análisis de varianza para el peso seco del tallo de plantas de chile manzano (a los 168 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	4,788.85	1,596.28			
Error experimental	12	3,538.05	294.84	5.41*	3.49	5.95
Total	15	8,326.90				

*Significativo con $\alpha \leq 0.05$.

Cuadro 27A. Análisis de varianza para el peso seco del tallo de plantas de chile manzano (a los 189 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	5,670.88	1,890.29			
Error experimental	12	5,673.97	472.83	4.00*	3.49	5.95
Total	15	11,344.85				

*Significativo con $\alpha \leq 0.05$.

Cuadro 28A. Análisis de varianza para el peso seco del tallo de plantas de chile manzano (a los 189 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	1,140.17	380.06			
Error experimental	12	4,562.97	380.25	1.00 ns	3.49	5.95
Total	15	5,703.14				

ns= no significativo

Cuadro 29A. Análisis de varianza para el peso seco de hojas de plantas de chile manzano (a los 105 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	1,097.52	365.84			
Error experimental	12	2,292.79	191.07	1.91 ns	3.49	5.95
Total	15	3,390.31				

ns= no significativo

Cuadro 30A. Análisis de varianza para el peso seco de hojas de plantas de chile manzano (a los 126 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	1,202.94	400.98			
Error experimental	12	2,756.43	229.70	1.75 ns	3.49	5.95
Total	15	3,959.37				

ns= no significativo

Cuadro 31A. Análisis de varianza para el peso seco de hojas de plantas de chile manzano (a los 147 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	1,370.38	456.79			
Error experimental	12	993.69	82.81	5.52*	3.49	5.95
Total	15	2,364.07				

*Significativo con $\alpha \leq 0.05$.

Cuadro 32A. Análisis de varianza para el peso seco de hojas de plantas de chile manzano (a los 168 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	1,778.67	592.89			
Error experimental	12	202.13	16.84	35.20**	3.49	5.95
Total	15	1,980.80				

**Altamente significativo con $\alpha \leq 0.01$.

Cuadro 33A. Análisis de varianza para el peso seco de hojas de plantas de chile manzano (a los 189 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	1,225.13	408.38	1.15 ns	3.49	5.95
Error experimental	12	4,247.02	353.92			
Total	15	5,472.15				

ns= no significativo

Cuadro 34A. Análisis de varianza para el peso seco de hojas de plantas de chile manzano (a los 210 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	577.79	192.60	1.41 ns	3.49	5.95
Error experimental	12	1,638.03	136.50			
Total	15	2,215.82				

ns= no significativo

Cuadro 35A. Análisis de varianza para el peso seco de flores de plantas de chile manzano (a los 147 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	3.46	1.15	30.00**	3.49	5.95
Error experimental	12	0.46	0.04			
Total	15	3.92				

**Altamente significativo con $\alpha \leq 0.01$.

Cuadro 36A. Análisis de varianza para el peso seco de flores de plantas de chile manzano (a los 168 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	0.76	0.25			
Error experimental	12	2.01	0.17	1.49 ns	3.49	5.95
Total	15	2.77				

ns= no significativo

Cuadro 37A. Análisis de varianza para el peso seco de flores de plantas de chile manzano (a los 189 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	1.30	0.43			
Error experimental	12	4.19	0.35	1.23 ns	3.49	5.95
Total	15	5.49				

ns= no significativo

Cuadro 38A. Análisis de varianza para el peso seco de flores de plantas de chile manzano (a los 210 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	0.86	0.29			
Error experimental	12	2.29	0.19	1.52 ns	3.49	5.95
Total	15	3.15				

ns= no significativo

Cuadro 39A. Análisis de varianza para el peso seco de frutos de plantas de chile manzano (a los 63 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	48.71	16.24	11.85**	3.49	5.95
Error experimental	12	16.44	1.37			
Total	15	65.15				

**Altamente significativo con $\alpha \leq 0.01$.

Cuadro 40A. Análisis de varianza para el peso seco de frutos de plantas de chile manzano (a los 84 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	86.36	28.79	18.04**	3.49	5.95
Error experimental	12	19.15	1.60			
Total	15	105.51				

**Altamente significativo con $\alpha \leq 0.01$.

Cuadro 41A. Análisis de varianza para el peso seco de frutos de plantas de Chile manzano (a los 105 días después del

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	182.38	60.79	10.30**	3.49	5.95
Error experimental	12	70.79	5.90			
Total	15	253.17				

**Altamente significativo con $\alpha \leq 0.01$.

Cuadro 42A. Análisis de varianza para el peso seco de frutos de plantas de chile manzano (a los 126 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	154.70	51.57			
Error experimental	12	96.01	8	6.45**	3.49	5.95
Total	15	250.71				

**Altamente significativo con $\alpha \leq 0.01$.

Cuadro 43A. Análisis de varianza para el peso seco de frutos de plantas de chile manzano (a los 147 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	944.94	314.98			
Error experimental	12	405.96	33.83	9.31**	3.49	5.95
Total	15	1,350.90				

**Altamente significativo con $\alpha \leq 0.01$.

Cuadro 44A. Análisis de varianza para el peso seco de frutos de plantas de chile manzano (a los 168 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	26.64	8.88			
Error experimental	12	9.08	0.76	11.74**	3.49	5.95
Total	15	35.72				

**Altamente significativo con $\alpha \leq 0.01$.

Cuadro 45A. Análisis de varianza para el peso seco de frutos de plantas de chile manzano (a los 189 días después del trasplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	4.59	1.53			
Error experimental	12	1.30	0.11	14.12**	3.49	5.95
Total	15	5.89				

**Altamente significativo con $\alpha \leq 0.01$.

Cuadro 46A. Análisis de varianza para el peso seco de frutos de plantas de chile manzano (a los 210 días después del trasplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	3.30	1.10			
Error experimental	12	1.97	0.16	6.70**	3.49	5.95
Total	15	5.27				

**Altamente significativo con $\alpha \leq 0.01$.

Cuadro 47A. Análisis de varianza para el peso seco total de plantas de chile manzano (a los 105 días después del trasplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	10,644.10	3,548.03			
Error experimental	12	3,765.88	313.82	11.31**	3.49	5.95
Total	15	14,409.98				

**Altamente significativo con $\alpha \leq 0.01$.

Cuadro 48A. Análisis de varianza para el peso seco total de plantas de chile manzano (a los 126 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	10,858	3,619.33			
Error experimental	12	17,437.51	1,453.13	2.49 ns	3.49	5.95
Total	15	28,295.51				

ns= no significativo

Cuadro 49A. Análisis de varianza para el peso seco total de plantas de chile manzano (a los 147 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	15,709.97	5,236.66			
Error experimental	12	7,736.01	644.67	8.12**	3.49	5.95
Total	15	23,445.98				

**Altamente significativo con $\alpha \leq 0.01$.

Cuadro 50A. Análisis de varianza para el peso seco total de plantas de chile manzano (a los 168 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	13,229.22	4,409.74			
Error experimental	12	3,904.22	325.35	13.55**	3.49	5.95
Total	15	17,133.44				

**Altamente significativo con $\alpha \leq 0.01$.

Cuadro 51A. Análisis de varianza para el peso seco total de plantas de chile manzano (a los 189 días después del trasplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	12,833.63	4,277.88			
Error experimental	12	18,026.66	1,502.22	2.85 ns	3.49	5.95
Total	15	30,860.32				

ns= no significativo

Cuadro 52A. Análisis de varianza para el peso seco total de plantas de chile manzano (a los 210 días después del trasplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	3,583.44	1,149.48			
Error experimental	12	8,413.05	701.09	1.70 ns	3.49	5.95
Total	15	11,996.49				

ns= no significativo

Cuadro 53A. Análisis de varianza para la producción por corte de plantas de chile manzano (a los 141 días después del trasplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	6,468.72	2,156.24			
Error experimental	12	941.80	78.48	27.48**	3.49	5.95
Total	15	7,410.52				

**Altamente significativo con $\alpha \leq 0.01$.

Cuadro 54A. Análisis de varianza para la producción por corte de plantas de chile manzano (a los 162 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	454.48	151.49			
Error experimental	12	4,191.49	349.29	0.43 ns	3.49	5.95
Total	15	4,645.97				

ns= no significativo

Cuadro 55A. Análisis de varianza para la producción por corte de plantas de chile manzano (a los 169 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	24,116.14	8,038.71			
Error experimental	12	2,851.25	237.60	33.83**	3.49	5.95
Total	15	26,967.39				

**Altamente significativo con $\alpha \leq 0.01$.

Cuadro 56A. Análisis de varianza para la producción por corte de plantas de chile manzano (a los 188 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	41,557.07	13,852.36			
Error experimental	12	998.95	83.25	166.40**	3.49	5.95
Total	15	42,556.02				

**Altamente significativo con $\alpha \leq 0.01$.

Cuadro 57A. Análisis de varianza para la producción por corte de plantas de chile manzano (a los 195 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	85,868.84	28,622.95			
Error experimental	12	11,761.37	980.11	29.20**	3.49	5.95
Total	15	97,630.21				

**Altamente significativo con $\alpha \leq 0.01$.

Cuadro 58A. Análisis de varianza para la producción por corte de plantas de chile manzano (a los 203 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	60,965.52	20,321.84			
Error experimental	12	10,898.93	908.24	22.37**	3.49	5.95
Total	15	71,864.45				

**Altamente significativo con $\alpha \leq 0.01$.

Cuadro 59A. Análisis de varianza para la producción por corte de plantas de chile manzano (a los 224 días después del transplante) sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	17,908.33	5,969.44			
Error experimental	12	1,625.54	135.46	44.07**	3.49	5.95
Total	15	19,533.87				

**Altamente significativo con $\alpha \leq 0.01$.

Cuadro 60A. Análisis de varianza para la producción total de plantas de chile manzano sembradas en invernadero, sometidas a cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Tratamientos	3	654,914.41	218,304.80			
Error experimental	12	71,598.34	5,966.53	36.59**	3.49	5.95
Total	15	726,512.75				

**Altamente significativo con $\alpha \leq 0.01$.

Cuadro 61A. Valores de la TCC ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$) durante los días después del transplante de chile manzano sometido a cuatro niveles de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Días después del transplante	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
0	0.62	0.82	0.14	0.27
21	0.79	1.00	0.74	0.89
42	0.95	1.14	1.34	1.89
63	1.08	1.26	1.92	2.58
84	1.19	1.34	2.41	2.94
105	1.28	1.39	2.77	2.99
126	1.35	1.41	2.97	2.72
147	1.39	1.39	2.95	2.14
168	1.42	1.35	2.68	1.24
189	1.43	1.27	2.10	0.02
210	1.41	1.16	1.17	-1.52

Cuadro 62A. Valores de la TAN ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$) durante los días después del trasplante de chile manzano sometido a cuatro niveles de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Días después del trasplante	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
0	0.003546	0.004691	0.000795	0.000806
21	0.000612	0.000824	0.000441	0.000565
42	0.000180	0.000160	0.000226	0.000324
63	0.000186	0.000169	0.000248	0.000295
84	0.000195	0.000172	0.000222	0.000264
105	0.000156	0.000136	0.000211	0.000163
126	0.000150	0.000100	0.000211	0.000144
147	0.000147	0.000095	0.000184	0.000106
168	0.000085	0.000069	0.000098	0.000049
189	0.000077	0.000048	0.000074	0.000001
210	0.000078	0.000046	0.000042	-0.000053

Cuadro 63A. Valores de la TRC ($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$) durante los días después del trasplante de chile manzano sometido a cuatro niveles de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Días después del trasplante	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
0	1.03300	1.36667	0.23167	0.23128
21	0.19752	0.22666	0.11245	0.14383
42	0.03822	0.03596	0.03464	0.05638
63	0.02452	0.02744	0.03374	0.04445
84	0.01430	0.01355	0.01976	0.02228
105	0.01340	0.01189	0.02011	0.01296
126	0.00968	0.00880	0.01349	0.01002
147	0.00862	0.00758	0.01094	0.00677
168	0.00836	0.00743	0.00922	0.00425
189	0.00670	0.00561	0.00667	0.00004
210	0.00559	0.00428	0.00381	-0.00463

Cuadro 64A. Valores instantáneos del IAF durante los días después del trasplante de chile manzano sometido a cuatro niveles de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Días después del trasplante	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
0	0.02	0.02	0.02	0.02
21	0.13	0.12	0.17	0.16
42	0.53	0.72	0.60	0.58
63	0.58	0.74	0.77	0.87
84	0.61	0.78	1.09	1.11
105	0.82	1.02	1.31	1.84
126	0.90	1.40	1.41	1.90
147	0.95	1.47	1.61	2.02
168	1.67	1.96	2.74	2.54
189	1.86	2.64	2.82	2.53
210	1.81	2.55	2.80	2.85

Cuadro 65A. Valores medios de la DAF (días) durante los días después del trasplante de chile manzano sometido a cuatro niveles de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 1999-2000.

Días después del trasplante	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
0				
21	2	2	2	2
42	7	9	8	8
63	12	15	14	15
84	13	16	20	21
105	15	19	25	31
126	18	25	29	39
147	19	30	32	41
168	27	36	46	48
189	37	48	58	53
210	38	55	59	57

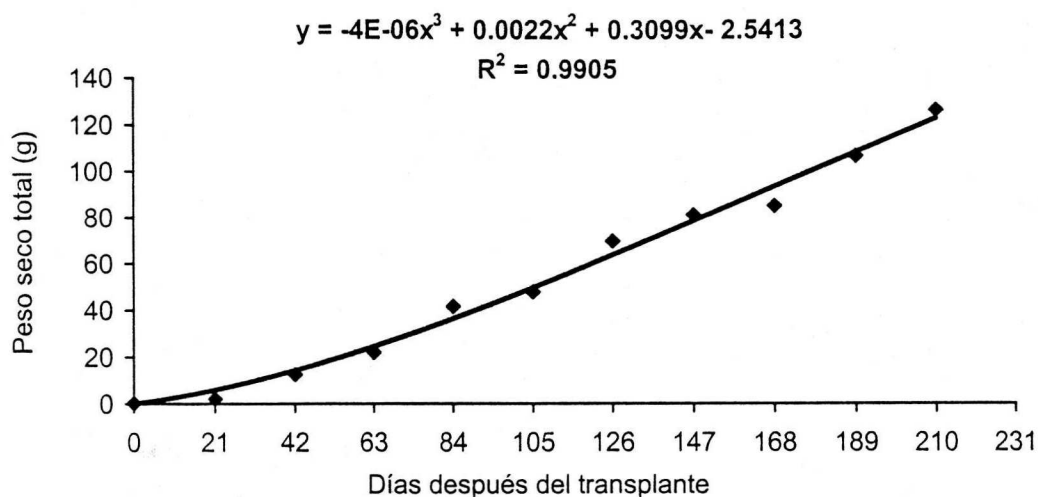


Figura 1A. Acumulación de peso seco total y curva ajustada en función de los días posteriores al trasplante para chile manzano bajo invernadero y sometido a fertirriego con la solución nutritiva de Steiner al 50%. Chapingo, México, 1999-2000.

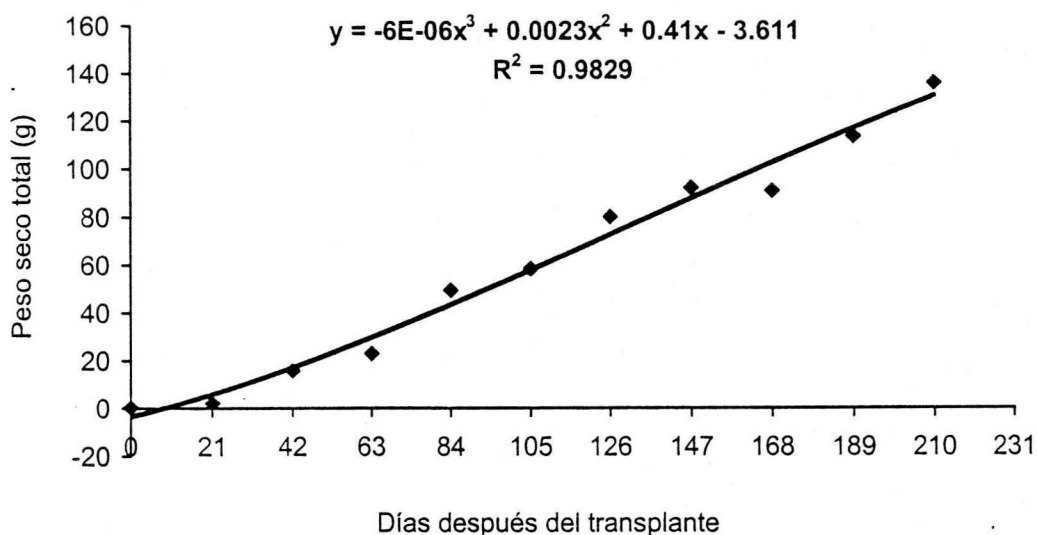


Figura 2A. Acumulación de peso seco total y curva ajustada en función de los días posteriores al trasplante para chile manzano sembrado bajo invernadero y sometido a fertirriego con la solución nutritiva de Steiner al 75%. Chapingo, México, 1999-2000.

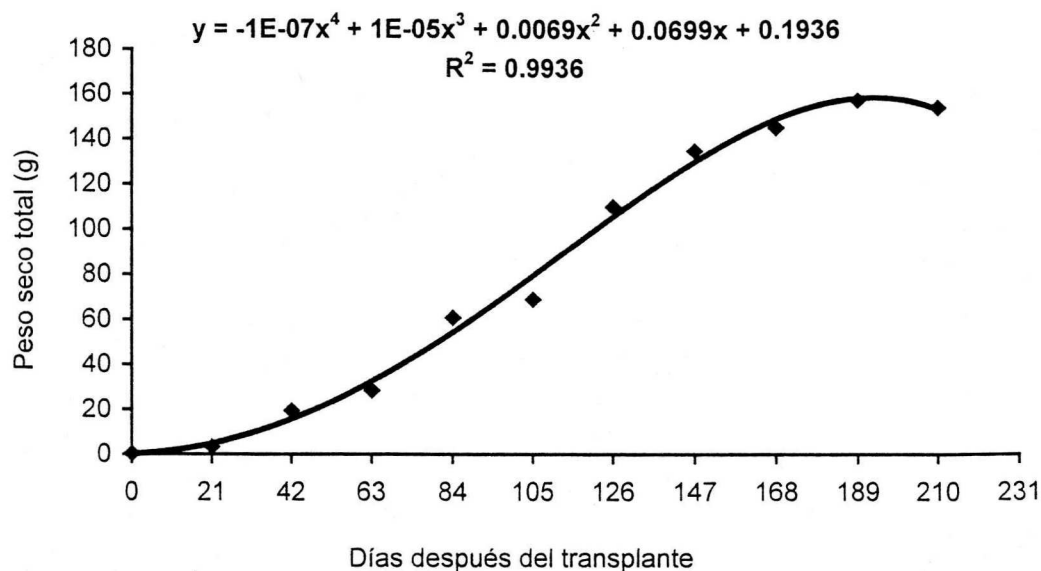


Figura 3A. Acumulación de peso seco total y curva ajustada en función de los días posteriores al transplante para chile manzano sembrado bajo invernadero y sometido a fertirriego con la solución nutritiva de Steiner al 100%. Chapingo, México, 1999-2000.

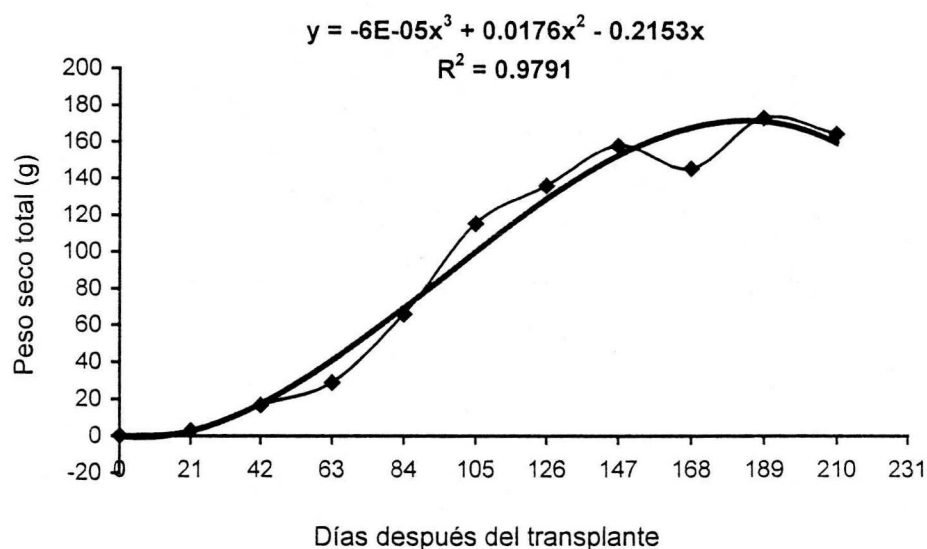


Figura 4A. Acumulación de peso seco total y curva ajustada en función de los días posteriores al transplante para chile manzano sembrado bajo invernadero y sometido a fertirriego con la solución nutritiva de Steiner al 125%. Chapingo, México, 1999-2000.



A



B



C



D



E

Figura 5A. Algunas labores importantes de manejo del experimento. A. Siembra de semillas en charolas, B. Transplante a vasitos de unisel, C. Transplante a bolsas plásticas negras en invernadero, D. Colocación de malla sombra en invernadero, E. Colocación de tutores y rafias.



Figura 6 A. Índices de madurez comercial en chile manzano (color naranja característico y semillas negras).