



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

"ENSEÑAR LA EXPLOTACIÓN DE LA TIERRA, NO LA DEL HOMBRE"



DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

INSTITUTO DE HORTICULTURA

**ANÁLISIS DE CRECIMIENTO Y DINÁMICA NUTRIMENTAL DE DOS
HÍBRIDOS DE CHILE MANZANO (*Capsicum pubescens* R & P)**

TESIS

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA:

Mario de Jesús Moreno Roblero

**JUNIO DE 2015
CHAPINGO, ESTADO DE MÉXICO**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES

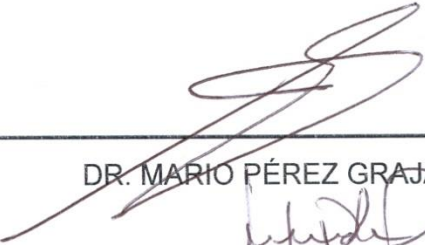


**ANÁLISIS DE CRECIMIENTO Y DINÁMICA NUTRIMENTAL DE DOS
HÍBRIDOS DE CHILE MANZANO (*Capsicum pubescens* R & P)**

Tesis realizada por **Mario de Jesús Moreno Roblero** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

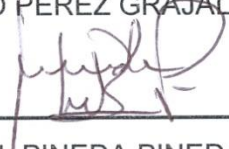
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR:



DR. MARIO PÉREZ GRAJALES

ASESOR:



DR. JOEL PINEDA PINEDA

ASESOR:



PH.D. JAIME SAHAGÚN CASTELLANOS

Dedicatoria

A Dios que me permite cada día seguir adelante y enfrentar cada uno de los problemas que se presentan sin desfallecer.

Con mucho cariño, respeto y admiración a mis padres: Imelda Roblero Pérez y Mario Moreno López, por todo ese amor y apoyo incondicional en cada etapa de mis estudios y en cada paso de mi vida, por el esfuerzo, apoyo y palabras de aliento que me permitieron salir adelante, muchas gracias.

A mis hermanos Erik Abimael y Cristian Magdiel, que siempre estuvieron en mi mente y que fueron parte de mi inspiración para salir adelante, Dios los Bendiga siempre.

A mis abuelos: Tereso y Olegario, que siempre estuvieron apoyándome y deseándome lo mejor y para que saliera adelante.

A las personas que se quedaron a mi lado sin importar las circunstancias, a esas personas que llegaron a mi vida y marcar la diferencia, a las personas que se fueron y me dejaron una lección de vida.

A mis amigos que de corazón me dijeron que le echara ganas y que saliera delante, a los que conocí durante mis estudios y con los que viví momentos que quedaran grabados en mi memoria y mi corazón.

Al municipio de Siltepec, a mi majestuoso Estado de Chiapas, y a mi México querido.

Con todo mi amor, respeto, cariño y aprecio de corazón.

Mario de Jesús Moreno Roblero.

Agradecimientos

A Dios por haberme dado la existencia y por cada uno de los logros obtenidos y por obtener en la vida.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por haberme otorgado la beca que hizo posible lograr un grado más en mi formación profesional.

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Instituto de Horticultura por haber permitido que durante 2 años continuara preparándome de manera profesional con estudios de calidad y por los momentos que viví durante mi estancia en la universidad, que me permitieron crecer como una mejor persona.

Al Dr. Mario Pérez Grajales, por el apoyo, consejos, dedicación y dirección para la realización de la presente tesis.

Al Dr. Joel Pineda Pineda por su colaboración, el apoyo y las asesorías brindadas para la realización de este trabajo.

Al Dr. Jaime Sahagún Castellanos por valiosa aportación y participación durante la revisión del presente y concluir satisfactoriamente este trabajo.

A los profesores de la Universidad que durante mi estadía, me brindaron parte de sus conocimientos y contribuyeron a mi formación profesional.

A mis compañeros de clase que durante mi permanencia en Chapingo dejaron momentos y me dieron lecciones muy importantes para afrontar la vida.

A las personas que creyeron en mí, que me dieron consejos, y que me apoyaron para que pudiera terminar la maestría y a las personas que hicieron posible la realización de este trabajo.

DATOS BIBLIOGRÁFICOS

Mario de Jesús Moreno Roblero nació el 02 de enero de 1990 en El Triunfo, Municipio de Escuintla, Chiapas, radicando en el municipio de Siltepec, Estado de Chiapas. Ingreso a la Universidad Autónoma Chapingo el 2004 y realizar los estudios de Preparatoria Agrícola y en 2007 entrar a la Carrera de Ingeniero Agrónomo especialista en Fitotecnia periodo 2007-2011.

Trabajó en la empresa Hortícola del Desierto en H. Caborca, Sonora en 2011 desempeñando funciones de inspector de calidad en empaque e inspección en campo en 600 hectáreas.

En enero de 2013 ingresó a la Maestría en Ciencias en Horticultura en el Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	x
ABSTRACT	x
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	2
3. HIPÓTESIS	2
4. REVISIÓN DE LITERATURA	3
4.1 Importancia del chile en México	3
4.2 El cultivo de chile manzano en México	3
4.3 Descripción botánica	4
4.3.1 Raíz.	4
4.3.2 Tallo.	5
4.3.3 Hoja.	5
4.3.4 Flor.....	5
4.3.5 Fruto.	5
4.3.6 Semilla.....	6
4.4 Requerimientos ambientales	6
4.4.1 Temperatura.....	6
4.4.2 Radiación.....	6
4.4.3 Humedad relativa y del suelo.	6
4.4.4 Suelo y sustrato.	7
4.5 Sistemas de producción de chile manzano	7
4.6 Mejoramiento genético del chile manzano	8
4.6.1 Cruzamiento e hibridación.	10

4.6.2 Cruza simple.	10
4.6.3 Líneas Puras.	11
4.7 Análisis de crecimiento	11
4.7.1 Análisis de crecimiento mediante el método funcional.....	13
4.7.2 Índices de eficiencia fisiológica	14
4.7.3 Tasa relativa de crecimiento (TRC).....	15
4.7.4 Tasa de asimilación neta (TAN).....	16
4.7.5 Razón de área foliar (RAF).....	17
4.8 Los elementos esenciales y sus funciones	17
4.9 Técnicas para el estudio de la nutrición mineral de los cultivos	21
4.10 Mediciones del estado nutrimental	22
4.11 Análisis de tejido vegetal.....	23
4.11.1 Análisis de la parte aérea de la planta.....	24
4.11.2 Análisis secuencial.....	24
4.11.4 Análisis de hojas u otros órganos de referencia	25
4.12 Criterios para la interpretación de los análisis de tejido vegetal.....	26
4.12.1 Intervalos de concentración.....	26
4.12.2 Deficiente.....	26
4.12.3 Bajo o Marginal.....	27
4.12.4 Adecuado o Suficiente.	27
4.12.5 Alto.....	27
4.13.6 Tóxico o Excesivo.	27
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
5.1 Sitio experimental	28
5.2 Material vegetal.....	28
5.2 Solución nutritiva.....	29

5.3 Unidad y diseño experimental	30
5.4 Manejo del cultivo	30
5.5 Caracteres evaluados	30
5.5.1 Morfológicos y agronómicos.....	30
5.5.2 Índices de eficiencia fisiológica	31
5.4.3 Contenido y extracción nutrimental	31
5.5 Análisis de los datos.....	32
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
6.1 Análisis de crecimiento	33
6.1.2 Acumulación de biomasa	33
6.1.2 Altura de planta, diámetro del tallo principal y número de bifurcaciones	34
6.1.3 Número de hojas y área foliar	37
6.2 Índices de eficiencia fisiológica	38
6.2.1 Tasa absoluta de crecimiento (TAC).....	38
6.2.2 Tasa relativa de crecimiento (TRC).....	38
6.2.3 Tasa de asimilación neta (TAN).....	39
6.2.3 Relación de área foliar (RAF)	40
6.3 Demanda nutrimental.....	43
6.4 Contenido y extracción de N, P y K	43
6.5 Contenido y extracción de Ca y Mg.....	47
6.6 Contenido y extracción de Fe, Cu y Zn.....	50
6.7 Contenido y extracción de Mn y B	53
7. CONCLUSIONES	56
8. BIBLIOGRAFÍA.....	57

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Cantidad de fertilizante para preparar 500 litros de solución nutritiva para el cultivo de chile manzano con la Solución Nutritiva Universal de Steiner (SNUS) al 100 % de concentración, Chapingo, México. 2015.	29
Cuadro 2. Cantidad de nutrimento requerido para conducir 10,000 plantas•hectárea ⁻¹ de dos híbridos (MARUCA y JHOS) de chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i> R y P) en ciclo de cultivo de 180 días después del trasplante. Chapingo, México. 2015.	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cinética de acumulación de materia seca durante el ciclo de cultivo de dos híbridos (MARUCA y JHOS) de chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i> R y P). 0 a 20 ddt bifurcación del tallo principal; 20 a 40 ddt floración; 40 ddt formación de fruto; 60 a 160 ddt maduración de fruto y de 160 a 180 ddt cosecha de frutos. ddt = Días después del trasplante. Chapingo, México. 2015.	34
Figura 2. a) Altura de planta, b) Diámetro de tallo, c) Número de bifurcaciones del tallo principal durante el ciclo del cultivo de dos híbridos (MARUCA y JHOS) de chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i> R y P). 0 a 20 ddt bifurcación del tallo principal; 20 a 40 ddt floración; 40 ddt formación de fruto; 60 a 160 ddt maduración de fruto y de 160 a 180 ddt cosecha de frutos. ddt = Días después del trasplante. Chapingo, México. 2015.	36
Figura 3. a) Número de hojas, b) Área Foliar, durante el ciclo del cultivo de dos híbridos (MARUCA y JHOS) de chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i> R y P). 0 a 20 ddt bifurcación del tallo principal; 20 a 40 ddt floración; 40 ddt formación de fruto; 60 a 160 ddt maduración de fruto y de 160 a 180 ddt cosecha de frutos. ddt = Días después del trasplante. Chapingo, México. 2015.	37
Figura 4. a) Tasa absoluta de crecimiento (TAN), b) Tasa relativa de crecimiento (TRC), c) Tasa de asimilación neta (TAN), d) Relación de área foliar (RAF), durante el ciclo del cultivo de dos híbridos (MARUCA y JHOS) de chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i> R y P). 0 a 20 ddt bifurcación del tallo principal; 20 a 40 ddt floración; 40 ddt formación de fruto; 60 a 160 ddt maduración de fruto y de 160 a 180 ddt cosecha de frutos. ddt = Días después del trasplante. Chapingo, México. 2015.	42
Figura 5. Contenido y extracción de N, P y K, durante el ciclo del cultivo de dos híbridos (MARUCA y JHOS) de chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i> R y P). 0 a 20 ddt	

bifurcación del tallo principal; 20 a 40 ddt floración; 40 ddt formación de fruto; 60 a 160 ddt maduración de fruto y de 160 a 180 ddt cosecha de frutos. ddt = Días después del trasplante. Chapingo, México. 2015..... 46

Figura 6. Contenido y extracción de Ca y Mg, durante el ciclo del cultivo de dos híbridos (MARUCA y JHOS) de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P). 0 a 20 ddt bifurcación del tallo principal; 20 a 40 ddt floración; 40 ddt formación de fruto; 60 a 160 ddt maduración de fruto y de 160 a 180 ddt cosecha de frutos. ddt = Días después del trasplante. Chapingo, México. 2015..... 49

Figura 7. Contenido y extracción de Fe, Cu, Zn durante el ciclo del cultivo de dos híbridos (MARUCA y JHOS) de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P). 0 a 20 ddt bifurcación del tallo principal; 20 a 40 ddt floración; 40 ddt formación de fruto; 60 a 160 ddt maduración de fruto y de 160 a 180 ddt cosecha de frutos. ddt = Días después del trasplante. Chapingo, México. 2015..... 52

Figura 8. Contenido y extracción de Mn y B, durante el ciclo del cultivo de dos híbridos (MARUCA y JHOS) de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P). 0 a 20 ddt bifurcación del tallo principal; 20 a 40 ddt floración; 40 ddt formación de fruto; 60 a 160 ddt maduración de fruto y de 160 a 180 ddt cosecha de frutos. ddt = Días después del trasplante. Chapingo, México. 2015..... 55

ANÁLISIS DE CRECIMIENTO Y DINÁMICA NUTRIMENTAL DE DOS HÍBRIDOS DE CHILE MANZANO (*Capsicum pubescens* R & P)

ANALYSIS OF GROWTH AND DYNAMICS NUTRITIONAL OF TWO MANZANO HOT PEPPER HYBRIDS (*Capsicum pubescens* R & P)

Mario de Jesús **Moreno Roblero**¹ y Mario **Pérez Grajales**²

RESUMEN

Se estudió la dinámica de acumulación de materia seca, los índices de eficiencia fisiológica, el contenido y extracción nutrimental de dos híbridos de chile manzano (MARUCA y JHOS), con un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones, la unidad experimental fue una planta con muestreo destructivo cada 20 días. La acumulación de materia seca en un ciclo de cultivo de 180 días tuvo un comportamiento sigmoide. Los máximos valores de los índices de eficiencia fisiológica se presentaron a los 80 días después del trasplante con 1.24 y 1.38 g·día⁻¹ para la TAC, 0.049 y 0.054 g·g⁻¹·día⁻¹ para la TRC, 0.20 y 0.21 g·cm⁻²·día⁻¹ para la TAN en MARUCA y JHOS respectivamente. El contenido de nutrimentos al final del ciclo de cultivo fue 3.87, 0.61, 10.46, 1.29, 0.67 g·planta⁻¹, 41.08, 3.38, 12.01, 18.24 y 43.05 mg·planta⁻¹ para MARUCA y 4.0, 0.53, 10.2, 1.18 y 0.62 g·planta⁻¹, 39.35, 4.45, 11.89, 16.25 y 41.35 mg·planta⁻¹ en JHOS de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn y B, respectivamente.

Palabras clave: *Capsicum pubescens* (R & P), índices de crecimiento, contenido y extracción de nutrimentos.

ABSTRACT

The dynamics of dry matter accumulation, physiological efficiency rates, and the content and nutrimental extraction in two hybrids of manzano hot pepper were studied. A completely randomized experimental design with four repetitions was done. The experimental unit was a plant with destructive sampling every 20 days. The accumulation of dry matter in a growing cycle of 180 days had a sigmoid behavior. The maximum values of physiological efficiency rates were presented at 80 days after transplantation with 1.24 y 1.38 g·day⁻¹ for the AGR, 0.049 and 0.054 g·g⁻¹·day⁻¹ for the RNA, 0.20 and 0.21 g·cm⁻²·day⁻¹ for the RGR in MARUCA y JHOS, respectively. The content of nutrients at the end of the growing cycle was of 3.87, 0.61, 10.46, 1.29, 0.67 g·plant⁻¹, 41.08, 3.38, 12.01, 18.24 and 43.05 mg·plant⁻¹ for MARUCA and 4.0, 0.53, 10.2, 1.18 and 0.62 g·plant⁻¹, 39.35, 4.45, 11.89, 16.25 and 41.35 mg·plant⁻¹ in JHOS of N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn y B, respectively.

Keywords: *Capsicum pubescens* (R & P), growth rates, content and extraction of nutrients.

¹Autor de la tesis/Graduated student

²Director/ Thesis advisor.

1. INTRODUCCIÓN

El chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) se originó en Perú, pero se cultiva en México, generalmente en huertos familiares, en regiones con altitudes entre 1700 a 2400 metros como las que se encuentran en lugares templados y fríos en los estados de Michoacán, Puebla, México y Veracruz. En México, cerca del 40 % del chile manzano se exporta y el resto es consumido dentro del territorio nacional (Pérez y Castro, 2008).

La expresión del potencial de rendimiento de los cultivos depende de varios factores que están determinados por su constitución genética y otros de tipo externo como las condiciones climáticas, características de suelo, factores nutrimentales, técnica de producción y factores bióticos. El sistema de producción de chile manzano en invernadero, se caracteriza por el uso de variedades mejoradas, malla sombra, sustratos inertes, solución nutritiva, riego por goteo, poda de ramas y hojas, control de plagas y enfermedades, entre otros componentes tecnológicos. Este sistema de producción ha contribuido para obtener frutos de calidad y con alto rendimiento (80 toneladas por hectárea por año) (Pérez y Castro, 2008). Dentro de los factores que pueden ser controlados están los nutrimentales, por lo que es fundamental conocer la distribución de Biomasa y los requerimientos de nutrimentos en las diferentes etapas fenológicas del cultivo para abastecer a la planta de forma suficiente y oportuna para optimizar el uso y manejo de los insumos e incrementar la cantidad y calidad de los productos.

El análisis de crecimiento (AC) es una metodología que ha demostrado ser útil para cuantificar los efectos simultáneos de factores ambientales que influyen en la eficiencia y utilización de la radiación y, por tanto, en la estimación de la producción fotosintética neta (Evans, 1972; Hunt, 1978).

Por lo anterior se estudió la distribución de la biomasa aérea, los índices de eficiencia fisiológica, así como el contenido, la extracción y la tasa absoluta de absorción de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn y B en la biomasa aérea total en diferentes fases fenológicas de dos nuevos híbridos de chile manzano, que permitirán hacer más eficiente el uso de los nutrimentos aplicados en la fertilización e incrementar la productividad y calidad del producto.

2. OBJETIVOS

Estimar la acumulación de biomasa de la parte aérea de la planta y obtener los índices de eficiencia fisiológica (tasa absoluta de crecimiento, tasa relativa de crecimiento, tasa de asimilación neta y razón de área foliar) para generar información de dos híbridos de chile manzano (MARUCA y JHOS).

Determinar el contenido y la extracción de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn y B en dos híbridos de chile manzano en condiciones de hidroponía y determinar las etapas en las que ocurre la máxima absorción nutrimental.

3. HIPÓTESIS

El mayor requerimiento nutrimental de los dos híbridos de chile manzano se da en la etapa de fructificación, donde ocurre la mayor velocidad de crecimiento, así como la máxima velocidad de extracción de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn y B, ya que los frutos en crecimiento son los órganos de mayor demanda nutrimental.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Importancia del chile en México

El chile (*Capsicum* spp.) es originario del continente americano. El género *Capsicum* incluye a 27 especies, de las cuales cinco han sido domesticadas (*C. annum*, *C. chinense*, *C. frutescens*, *C. baccatum* y *C. pubescens*) y usadas ampliamente como especias, condimentos y vegetales (Pickersgill, 1997).

El chile es uno de los vegetales más importantes en México, en área sembrada y valor económico para exportación. La gran variación en climas y condiciones para su desarrollo que va desde 0-2000 m.s.n.m. permite tener producción tanto para consumo local como para exportación durante todo el año. En México, los tipos de chile más sembrados son los serranos, de árbol, jalapeños, guajillos, pasillas, anchos, piquines, habanero y manzano (Laborde y Pozo, 1984).

El chile es el saborizante más utilizado en México y a nivel mundial. Debido a la gran cantidad de tipos encontrados a lo largo de la República Mexicana y no presentes en otros lugares del mundo, es considerado centro de origen del género *Capsicum* especie *C. annum*. A pesar de su importancia, el chile, así como otras especies nativas de México no han recibido la atención debida por parte de investigadores, evolucionistas y agencias gubernamentales (Baltazar, 1996).

4.2 El cultivo de chile manzano en México

El chile manzano pertenece a la especie *Capsicum pubescens* (R y P) al cual se le denominó así porque sus hojas y tallos están cubiertos por tricomas. Es una de las cinco especies de chile que se siembran en el mundo (Martínez, 1999), es originario de las partes altas de Sudamérica, principalmente Bolivia, Perú y Chile (Chávez, 1999). Su fruto se aprecia en América y México por su sabor y picor (Sánchez, 2009). Fue

introducido a México a principios del siglo XX y es el único tipo de chile que se encuentra en las regiones con altitudes de 1700 a 2500 metros sobre el nivel del mar (Pérez y Castro, 2008).

En México la producción se concentra principalmente en los Estados de Michoacán, México, Morelos, Puebla y Veracruz (Chávez, 1999), generalmente en zonas altas y frías (Pérez y Castro, 1998), en huertos de traspatio y en superficies de no más de cinco hectáreas, dado que es una planta que requiere de sombra, es decir, de baja intensidad de luz (Pérez y Castro, 2008).

El cultivo de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) en invernadero no rebasa las 60 hectáreas en todo el país. Sin embargo, el empleo de esta técnica está siendo adoptada de manera vertiginosa y se caracteriza por el uso de variedades mejoradas de malla-sombra, sustratos inertes, solución nutritiva, riego por goteo, poda de ramas y hojas, control de plagas y enfermedades, enfocado a mejorar las condiciones de cultivo para obtener mayor calidad y rendimiento de fruto (Pérez y Castro, 2008).

4.3 Descripción botánica

Rivera (1996) indica que de acuerdo con los descriptores de *Capsicum* del SNICS se llegó a la siguiente descripción botánica de la especie:

4.3.1 Raíz. Cuando se cultiva a campo abierto, el sistema radical consta de una raíz principal típica o pivotante de origen seminal y numerosas raíces secundarias que pueden alcanzar hasta 1.2 m de profundidad y 0.8 m de exploración horizontal; 80% de ellas se encuentra en una capa de 20 a 30 cm, pero cuando se cultiva en sustratos inertes como el tezontle rojo, se encuentra en los primeros 15 cm, es más ramificada y su volumen se ve reducido.

4.3.2 Tallo. Es leñoso, su hábito de crecimiento puede ser compacto y/o erecto, tiene abundante vellosidad o pubescencia, es de color verde, presenta una coloración purpúrea en los primeros nudos, su ramificación es pseudodicotómica.

4.3.3 Hoja. Es simple, su forma es oblonga, de borde liso, excesivamente vellosa, la nervadura es reticulada perinerve. Se encuentra peciolada y su filotaxia es alternadística.

4.3.4 Flor. Es hermafrodita, color violeta y excepcionalmente blanca, su centro es blanco, el cáliz como la corola están fusionados. Los estambres tienen la misma longitud y el ovario es súpero.

4.3.5 Fruto. El color del fruto en estado inmaduro es verde y maduro puede ser amarillo, anaranjado o rojo. Es el único del género *Capsicum* que posee semillas negras. Tiene una placentación axilar. La longitud del fruto es de 5 cm y el diámetro es de 4 cm aproximadamente. Su forma varía, y depende del número de lóculos, cuando se presenta uno o dos, tiene forma de pera y cuando tiene tres o cuatro su forma es manzana. Su posición es declinante. La forma del margen del cáliz es dentado, presenta una constricción anular en la unión del cáliz y el pedúnculo. La forma del fruto en la unión con el pedúnculo es truncada y acorazonada, no presenta cuello en la base del fruto. La forma del ápice del fruto es hundido y raras veces de forma obtusa. Presenta una ligera corrugación al observarse un corte transversal y el fruto es persistente.

4.3.6 Semilla. Es de forma ovalada, de color negro, con el borde ligeramente ondulado. Mide alrededor de 5 mm de diámetro y en un gramo se encuentran 430 semillas.

4.4 Requerimientos ambientales

4.4.1 Temperatura. El intervalo óptimo para el crecimiento y desarrollo adecuado de esta especie es de 18 a 22 °C en el día, y 10 a 12 °C en la noche. La temperatura base o cero vegetativo es de 5 °C y cuando la temperatura es mayor a 35 °C se provoca el aborto de las flores. La especie se adapta bien a altitudes de 1700 a 2500 m, siempre que no existan heladas. Para la germinación de las semillas (8 días) se requieren de 25 a 28 °C.

4.4.2 Radiación. La radiación óptima promedio que demanda la especie es de 550 μmol de fotones $\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, lo que equivale a 550 Einstein. Con la radiación incidente en el día, en el mes de mayo, cuando se presentan los máximos valores de radiación, las hojas de la planta de chile manzano se tornan amarillas ya que ocurre la desnaturalización de la clorofila (fotooxidación), por lo que es cultivada bajo condiciones de sombra (Pérez, 2002).

4.4.3 Humedad relativa y del suelo. La planta se desarrolla bien con humedad relativa de 70 a 80 %. Arriba de este valor se tiene poca dehiscencia de anteras disminuyendo la polinización y fecundación de los óvulos, y en consecuencia se tiene menor número de semillas y a su vez menor tamaño de fruto. Con humedades relativas menores a 40 % existirá deshidratación de los granos de polen ocasionando baja polinización y formación de semillas (Pérez, 2002).

La humedad óptima del suelo o sustrato de cultivo es de 70 a 80 % de la humedad aprovechable (Pérez y Castro, 1998).

Un porcentaje mayor ocasiona una deficiente aireación en el sistema de raíces y en consecuencia deficiente absorción de minerales y agua. Un porcentaje de humedad debajo del 50 % estimula el cierre de estomas, ya que con ello la planta evita la pérdida de agua. Sin embargo, esto es inconveniente debido a que con el cierre estomático se evita la entrada de CO₂, sustrato básico para la fotosíntesis.

4.4.4 Suelo y sustrato. Lo óptimo para mejorar el proceso de absorción de la raíz, y proveer un desarrollo y crecimiento adecuado de la planta de chile manzano, es un suelo de textura franca a arenosa, estructura granular, profundos y con pH de 5.5 a 6.5. En el caso de sustratos empleados en sistemas hidropónicos, éstos deben ser inertes y estériles y con buena capacidad de aireación y retención de humedad. Uno de ellos es el tezontle rojo, el cual es ampliamente usado en sistemas hidropónicos en la zona centro de México (Pérez y Castro, 1998).

4.5 Sistemas de producción de chile manzano

La producción en México se caracteriza por ser principalmente de temporal, lo cual provoca una concentración de este producto en los meses de julio a diciembre y una carencia casi absoluta, de enero a junio, por ello, han surgido, en los últimos diez años, el cultivo intensivo de chile manzano en invernadero y el de campo abierto con el uso de riego por goteo. Estas variantes de producción constituyen sistemas que generan mayor calidad y rendimiento de fruto.

Al respecto, se concluye que los sistemas de producción intensivos tienen ventajas no sólo en la calidad y cantidad de producto cosechado, sino también en la oportunidad de su producción; es decir, abastecer en los meses de enero a junio (Pérez y Castro, 1998; Pérez y Castro, 2008).

Generalmente, la producción se realiza en zonas altas y frías en huertos de traspatio y en superficies de no más de cinco hectáreas donde se asocia con árboles frutales. Su cultivo depende del temporal y los rendimientos son relativamente bajos, de cinco a siete t/ha/año. En tanto que en un sistema de producción intensivo en invernadero se alcanzan 75 t/ha/año y mayor calidad de fruto, lo cual representa una ventaja en la comercialización del producto (Pérez y Castro, 1998).

El cultivo de chile manzano en invernadero no rebasa las 30 hectáreas. Sin embargo, el empleo de esta técnica está siendo adoptada de manera vertiginosa y se caracteriza por el uso de malla sombra, sustratos inertes, solución nutritiva, riego por goteo, sistema de tutorio, poda de ramas y hojas, control de plagas y enfermedades, todo ello enfocado a mejorar las condiciones del cultivo para obtener mayor calidad, rendimiento y oportunidad en su producción para satisfacer la demanda de un mercado creciente (Pérez y Castro, 1998).

4.6 Mejoramiento genético del chile manzano

Una de las mejores estrategias para incrementar el rendimiento de los cultivos, es la utilización de variedades mejoradas.

La obtención de este tipo de variedades representa un problema complejo, no sólo por la escasez de facilidades sino también porque México es un mosaico de regiones agrícolas que difieren en clima, topografía, incidencia de organismos fitopatógenos, costumbres de los agricultores, sistemas de cultivo y en el aprovechamiento de los recursos disponibles (Esquivel, 1999).

El rendimiento es un carácter determinado tanto por factores ambientales que influyen en el crecimiento de la planta, como por el potencial genético de la misma, a través de múltiples caracteres morfológicos, tales como hábito de crecimiento, número de flores

por planta, tamaño y número de frutos, y densidad del cultivo, además de los numerosos procesos fisiológicos (Esquivel, 1999).

La evaluación de progenies mediante los diseños de apareamiento dialélico de Griffing (1956) puede ser empleado para obtener información de los efectos genéticos aditivos y no aditivos a través del cálculo de las aptitudes combinatorias general y específico, respectivamente. Esta información puede servir de base para determinar cuál o cuáles serían las estrategias genotécnicas más adecuadas para el chile manzano (Pérez, 2002).

A partir de 1994 se crea el Programa de Producción y Mejoramiento Genético de Chile Manzano en la Universidad Autónoma Chapingo; en donde el primer paso fue realizar una colecta amplia de material genético existente en México y en Sudamérica. Se identificó la variedad de diferentes caracteres agronómicos y se inició un proceso de mejora genética para la obtención de variedades e híbridos y; paralelamente, la investigación para generar la tecnología de producción intensiva en condiciones de invernadero (Pérez y Castro, 2008).

En cuanto a variedades, se han generado híbridos interpoblacionales precoces, de rendimiento y calidad de fruto altos, entre otras características ventajosas. La generación de ellos fue a través de cruzas de los mejores individuos de diferentes materiales seleccionados en varios ciclos o años. La evaluación de genotipos obtenidos fue con el uso del diseño dialélico de Griffing Método II (1956).

En 2002 se generó el primer híbrido intervarietal de chile manzano (Puebla x Zongolica) en México, el cuál fue evaluado y descrito de acuerdo a los descriptores de *Capsicum* del SNICS con fines de registro de derechos de obtentor para la Universidad Autónoma Chapingo. En 2012 quedó registrado con el nombre de Grajales St. Paralelamente, se

derivaron ocho líneas de dicho material a través de cinco ciclos de autofecundación para cada una de ellas (González y Zúñiga, 2014).

Las ventajas de identificar híbridos de cruza simple sería la obtención de materiales iguales o superiores a sus progenitores y de gran uniformidad en las características mencionadas (González y Zúñiga, 2014).

4.6.1 Cruzamiento e hibridación. Cruzar es el mecanismo mediante el cual se lleva a cabo la reproducción por apareamiento entre individuos por medios artificiales, es decir, por *cruzamiento*; el resultado de un cruzamiento es una cruza, también llamada cruce. El cruzamiento elimina así la autofertilización o *autofecundación*, y si bien se define como apareamiento (es decir, entre dos individuos), no implica esto que no se usen también cruzamientos masivos en plantas multiflorales, pero que al nivel de gametos y cigotos formados, tienen lugar (no podría ser en otra forma) entre miembros de un par de individuos (Márquez, 1985). La hibridación es un área de la genotécnia vegetal que consiste en el aprovechamiento de la generación F_1 , como tal, derivada de un cruzamiento.

La obtención de la F_1 puede ser por cruzamiento en cualquier tipo de poblaciones (no necesariamente líneas puras), y su aprovechamiento puede ser inmediato (híbridos de cruza simple, de cruza de tres líneas o cruza doble), o mediato, es decir, casos en que de todos modos el material aprovechable original es la F_1 , de uno o varios cruzamientos. La hibridación se basa principalmente en el aprovechamiento de efectos génicos no aditivos (Márquez, 1985).

4.6.2 Cruza simple. Es el cruzamiento entre dos genotipos generalmente dos líneas puras en la mejora genética de plantas (Márquez, 1985).

4.6.3 Líneas Puras. Las líneas puras son individuos que descienden de un solo individuo autógeno. Una población de individuos totalmente autógenos es entonces una mezcla de líneas puras, que en forma natural, no cambian su constitución genética por medio del cruzamiento. Por esto la selección no es efectiva sobre una línea pura, pero sí lo es en la población formada por una mezcla de líneas puras (Márquez, 1985).

4.7 Análisis de crecimiento

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

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

El crecimiento puede ser evaluado mediante el análisis de la variación del peso seco y el área foliar, en función del tiempo. Pero también mediante las curvas de crecimiento, que según Hunt (1982), son la expresión gráfica de una función matemática que describe el comportamiento del crecimiento de un organismo o población. En el estudio cuantitativo del crecimiento se realizan muestreos del material de estudio, los cuales son destructivos y su frecuencia varía de acuerdo con los objetivos que se persigan (Evans, 1972).

El análisis de crecimiento permite obtener conocimiento sobre el proceso de acumulación y distribución de biomasa a lo largo del ciclo o en una etapa específica de su desarrollo, tanto en la planta completa como en sus diferentes órganos, de modo que permite conocer la relación entre la fuente y la demanda (Evans, 1972).

Es útil para cuantificar la producción fotosintética neta, es decir, la cantidad de biomasa acumulada menos las pérdidas por respiración (Roberts *et al.*, 1985). Estas técnicas se emplean para demostrar el efecto de un ambiente o de una práctica de manejo en particular sobre un cultivo, y para explicar el comportamiento diferencial de las especies o variedades que crecen bajo las mismas condiciones. Además, permite estudiar el crecimiento mediante índices de eficiencia, así como cuantificar los efectos simultáneos de los factores ambientales que influyen en la eficiencia en la utilización de la radiación solar y, por tanto, la producción y distribución de la materia seca (Reta, 1986).

El análisis de crecimiento tiene su base en la medición de la producción de materia seca (MS) y del área foliar (AF), variables que caracterizan el estado morfológico de las plantas en diferentes intervalos de muestreo. Con MS y AF se calculan índices cuya interpretación sirve para describir el crecimiento de las plantas y sus partes, así como las relaciones entre el aparato asimilatorio y la producción de materia seca (Evans, 1972). Al graficar esta información generalmente se obtiene una curva sigmoide en la que se reconocen tres fases: *i*) fase exponencial que va desde la germinación hasta parte de la etapa juvenil, *ii*) fase lineal donde el crecimiento vegetativo es más rápido y se tiene la mayor demanda de agua y nutrimentos, y *iii*) la fase del estado constante o final donde se acumula la mayor cantidad de materia seca y disminuye la demanda de agua y nutrimentos (Brown y Scott, 1986).

El AC puede efectuarse mediante dos enfoques: a) el *Método clásico*, en el cual se evalúa el crecimiento con base en datos provenientes de muestras con un alto número de plantas utilizadas (repeticiones) tomadas con intervalos de tiempo largos; en este método no se realiza el ajuste de los datos mediante modelos matemáticos, aunque pueden analizarse estadísticamente; y b) *Método funcional*, en donde los datos provienen de plantas con un número bajo de repeticiones, pero con intervalos de tiempo cortos, los cuales son ajustados con modelos estadísticos (Hunt, 1982; Torres, 1984). Estos métodos no son mutuamente excluyentes, pues si el tiempo y el espacio no son problema, los muestreos pueden ser grandes y frecuentes, pero esto no es lo común.

De esta manera el esquema a seguir deberá de hacer un uso eficiente de los recursos disponibles, lo cual influirá en el diseño y la ejecución del experimento (Hunt, 1982).

4.7.1 Análisis de crecimiento mediante el método funcional

Su principio consiste en seleccionar una función matemática adecuada, representada por una curva suave, que ajusta los valores registrados del área foliar y de la biomasa acumulada, de manera que se aproxime a la curva real de crecimiento (Kvet *et al.*, 1971). Evans (1972) señala algunos problemas que ocasionan variabilidad en un análisis de crecimiento, tales como: i) diferencias en la constitución genética de la población en estudio; ii) diferencias en el ambiente entre muestreos; iii) diferencias en estructura y función entre plantas y muestreos; y iv) imposibilidad para realizar las mediciones necesarias sin destruir la planta. Al respecto, Beadle (1988) sugiere que las plantas a utilizar en un análisis de crecimiento deben seleccionarse y agruparse al inicio del experimento de acuerdo con su tamaño, para que así cada grupo de plantas que

constituya un muestreo tengan similitud en morfología y tasas de crecimiento, de tal manera que las evaluaciones no sean afectadas por las variaciones.

4.7.2 Índices de eficiencia fisiológica

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

El análisis mediante funciones del crecimiento se puede realizar en plantas individuales o en comunidades vegetales. En plantas individuales se utiliza la tasa absoluta del crecimiento (TAC), la tasa relativa de crecimiento (TRC), la tasa de asimilación neta (TAN), la razón de área foliar (RAF), área foliar específica (AFE), y la razón de peso foliar (RPF).

Para el análisis de comunidades se utiliza el índice de área foliar (IAF), la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) y la duración del área foliar (DAF). Sin embargo, no existe razón por la cual no se puedan utilizar en el análisis de comunidades, los mismos índices utilizados en el análisis de plantas individuales (Hunt, 1978).

Mediante el registro del rendimiento económico y el rendimiento biológico, durante la madurez fisiológica se puede calcular el índice de cosecha (IC), que es el cociente entre el rendimiento económico y la biomasa total o rendimiento biológico.

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

Tasa absoluta de crecimiento (TAC). Es un índice de crecimiento simple que corresponde a la tasa de cambio o de incremento en tamaño, por unidad de tiempo. Se aplica comúnmente en peso seco total o área foliar total por planta. La biomasa por unidad de área o por individuo de cualquier cultivo y especie, en función del tiempo, se expresa en $\text{g} \cdot \text{día}^{-1}$, se calcula con la diferencia entre dos puntos consecutivos de la curva de crecimiento dividida en el intervalo de tiempo; es decir, proporciona la pendiente promedio de la curva en ese periodo (Hunt, 1982).

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

4.7.3 Tasa relativa de crecimiento (TRC). Representa el incremento de peso seco por unidad de peso seco presente por unidad de tiempo, cuyas unidades son $\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$. Blackman (Hunt, 1990) propuso el cálculo de la TRC de una planta con base en el Principio de la tasa de interés compuesto, donde la materia seca producida por la Planta

es dependiente de los tres factores siguientes: 1) el peso de la semilla, representando el capital inicial; 2) la tasa promedio, mediante la cual la planta hace uso del material ya presente para construir nuevo material, que representa la tasa de interés; y 3) el periodo de crecimiento. Asimismo, el crecimiento ya efectuado contribuye en la producción del nuevo material, por lo que el índice apropiado a utilizar es la TRC, que representa el incremento en biomasa por unidad de biomasa presente por unidad de tiempo (Radford, 1967; Hunt, 1978; Milthorpe y Moorby, 1982;). Generalmente se debe calcular para un intervalo de tiempo que corresponda a una sección específica de la curva que resulte de graficar la biomasa contra el tiempo.

4.7.4 Tasa de asimilación neta (TAN). Este índice involucra una relación de incremento en peso seco (g) por unidad de área foliar (m^2) por unidad de tiempo (día), y es una medida indirecta de la fotosíntesis, ya que la materia seca es producida por la actividad fotosintética, y sus unidades son $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$, y proporciona estimación precisa sólo si la relación entre el peso y el área foliar es lineal en el tiempo de t_1 a t_2 ; en intervalos cortos de una a dos semanas, esta condición se satisface.

Quizás es el índice de eficiencia más afectado por las condiciones ambientales, ya que es derivada del área foliar, y ésta a su vez se ve afectada por los cambios en los niveles de radiación solar, temperatura, humedad, etc. La TAN está correlacionada positivamente con la temperatura y negativamente con el sombreado de las hojas; también correlaciona positivamente con el peso específico de las hojas, e inversamente con la RAF (Ramírez, 1985). Durante las primeras semanas de crecimiento, en diferentes cultivos, los valores de la TAN son altos por el poco autosombreo de las hojas; conforme transcurre el desarrollo, el índice de área foliar y el autosombreo aumentan, por lo que el valor de la TAN tiende a disminuir, aunque ocasionalmente

puede incrementar su valor, principalmente en la floración y durante el llenado del fruto (Reta, 1986).

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

4.8 Los elementos esenciales y sus funciones

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

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

por el papel biológico que desempeñan (Mengel y Kirkby, 1987), también se han clasificado funcionalmente en dos grupos: los que participan en la estructura de un compuesto importante y los que tienen una función activadora de enzimas (Resh, 2001).

También se pueden clasificar en términos de la cantidad o concentración de estos en la planta y de su requerimiento como fertilizante por la misma. De acuerdo con esta última clasificación, los elementos que la planta requiere en su metabolismo han sido clasificados como macronutrientes; cuando se encuentran en la planta cantidades de por lo menos 0.02 % y presentan una relación directa con la nutrición, y su ausencia impide el desarrollo de órganos, ocasionando por tanto reducción o pérdidas en el rendimiento (Resh, 2001).

Micronutrientes; cuando se encuentran cantidades entre 0.0002 y 0.02 %, tienen una función específica e indispensable para completar ciertas funciones fisiológicas, si se encuentran presentes por arriba de los requerimientos óptimos la planta manifiesta síntomas de toxicidad (Davidescu, 1982).

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

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

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

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

El potencial de rendimiento de los cultivos, está determinado por factores incontrolables y controlables: 1) factor genético, 2) condiciones ambientales y 3) manejo técnico del cultivo.

El factor genético corresponde a las características fenotípicas y potencial de desarrollo determinado por la constitución genética in situ del material vegetal empleado, cuya expresión será el resultado de la interacción con factores externos, como la nutrición mineral del cultivo (Davidescu, 1982).

La nutrición de cultivos se preocupa de que ninguno de los elementos esenciales para el crecimiento de las plantas sea o se vaya a constituir en un factor limitativo para que las plantas alcancen los rendimientos máximos posibles en un ambiente dado. Ello exige conocer cuál es el rendimiento máximo posible (Galvis *et al.*, 1993). Desde un punto de vista agronómico, la demanda nutrimental de un cultivo aumentará a medida que aumentan el rendimiento y la producción de biomasa asociada con éste. En el caso específico de las hortalizas, flores y frutales, además de los aspectos de rendimientos relacionados con la nutrición, debe considerarse el efecto que tiene la nutrición en la calidad de los productos (Etchevers, 1999).

Gran parte del esfuerzo en el área de nutrición de cultivos, ha sido dedicado a evaluar la capacidad de abastecimiento nutrimental que poseen los suelos y los requerimientos nutrimentales de los cultivos (Westerman, 1990). Esta tarea cae dentro del área llamada diagnóstico de la fertilidad del suelo y estado nutrimental de los cultivos. En la actualidad, además de medir esa capacidad de abastecimiento, es común que en la agricultura de altos insumos se dé un seguimiento del estado nutrimental de los cultivos a lo largo del ciclo de crecimiento, para evitar que la nutrición pudiese ser un factor limitativo para la producción. Si el diagnóstico señala que el abastecimiento nutrimental es deficiente, es necesario balancear dicho abastecimiento mediante la aplicación de fertilizantes o corregir directamente el desabasto con aplicaciones al cultivo. (Reuter y Robinson, 1986).

Las relaciones entre producción, calidad y la cantidad y tipo de fertilizante que se debe aplicar, son parte del dominio de lo que se llama la fertilidad cuantitativa. En ocasiones, como en la fertirrigación, se da la oportunidad de calcular y abastecer día a día las necesidades de nutrimentos que tendrá la planta aumentando en gran medida la eficiencia de uso y disminuyendo las probabilidades de contaminación que se generan cuando todo el fertilizante es aportado en una o dos aplicaciones. Se sabe que las aplicaciones de fertilizantes no son cien por ciento efectivas. Esto quiere decir que la planta sólo puede utilizar una parte de lo aplicado. De aquí que haya la necesidad de conocer la eficiencia de uso de los distintos fertilizantes en los diferentes cultivos. Esta eficiencia depende de la naturaleza de los fertilizantes, del tipo de cultivo, del suelo y de la tecnología de aplicación. Si la demanda del cultivo es menor o igual al suministro, la dosis de fertilizante a aplicar sería cero, aunque, en estos casos agronómicamente es aconsejable aplicar una fertilización de mantenimiento equivalente a la exportación de nutrientes por el producto de la cosecha más una pequeña cantidad. Si la demanda nutrimental es mayor que el suministro por el suelo, será necesario fertilizar. La dosis de fertilizante que se aplicará será proporcional a la magnitud del déficit encontrado. Para medir demanda, suministro y eficiencia de recuperación del fertilizante, así como para analizar los problemas de carácter nutrimental que se presentan o pudiesen presentar durante la producción de un cultivo, y para determinar algunos aspectos relacionados con la calidad del agua y del suelo es necesario contar con procedimientos químicos adecuados (Etchevers, 1999).

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

Son muchos los factores que afectan el rendimiento y la calidad de los cultivos, la nutrición es uno de los más importantes. El estado nutrimental es un factor invisible en el

crecimiento de la planta, excepto cuando existe un desequilibrio nutricional severo, que ocasionan síntomas visuales en la planta. La única manera de saber si un cultivo esta nutrido es hacer un análisis de tejido durante la estación de crecimiento. (Reuter y Robinson, 1986).

El análisis de tejido es una herramienta que nos ayuda en el monitoreo y en la evaluación del estado nutrimental de los cultivos). Por lo que se requiere de un modelo que describa la relación entre el rendimiento y la concentración nutrimental de la planta, una vez obtenido dicho modelo, éste nos sería útil para determinar la concentración nutrimental crítica. Dicha concentración puede variar bajo condiciones diferentes (Reuter y Robinson, 1986).

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

4.10 Mediciones del estado nutrimental

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

Para verificar que el estado nutrimental de un cultivo sea el ideal en cada momento de su ciclo de desarrollo, se cuenta con herramientas analíticas químicas que sirven para medir concentraciones nutrimentales en los tejidos vegetales y en el suelo. Las herramientas de diagnóstico que requieren de laboratorio son el análisis químico de tejido vegetal, savia y extracto tisular (Reuter y Robinson, 1986; Westerman, 1990).

4.11 Análisis de tejido vegetal

Los valores medidos en la planta pueden ser transformados en índices o utilizados directamente y comparados con criterios previamente establecidos como: niveles críticos, rangos de concentración, y otros índices de distinta naturaleza los cuales deben ser determinados con anterioridad a la aplicación del instrumento de diagnóstico indicado (Westerman, 1990). Hasta el momento sólo se conocen algunos de estos valores, pero cada día se agregan más a la lista; por lo general, la información disponible se refiere a concentraciones que se deben satisfacer en ciertos órganos de la planta en momentos muy específicos de su desarrollo.

La determinación de estas concentraciones de referencia puede hacerse directamente en el campo o en el laboratorio por diversos procedimientos claramente establecidos, pero que requieren de un buen control de la calidad de los análisis. En el análisis de tejido vegetal el principal órgano observado es la hoja, de ahí que a la técnica se le llame diagnóstico foliar, sin embargo, es posible analizar cualquier otro órgano para el que se cuente con información sobre sus concentraciones de referencia o la savia (Salisbury y Ross, 1994).

La estimación de las cantidades de nutrientes requeridas para alcanzar cierto rendimiento (establecido por las condiciones particulares de suelo y clima del sitio y por la planta y manejo en cuestión) precisa ciertos conocimientos teóricos y el empleo de

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

4.11.1 Análisis de la parte aérea de la planta

Los análisis de la parte aérea de la planta proporcionan información acerca de la concentración de los nutrientes en ésta y, cuando están debidamente relacionados con la producción de materia seca, sobre la cantidad de cada nutriente en ella. Existen dos variantes, el análisis secuencial o en varias etapas del crecimiento y el análisis al final del ciclo de crecimiento (Etchevers, 1999).

4.11.2 Análisis secuencial

El análisis secuencial se hace periódicamente desde el inicio del crecimiento hasta la madurez de la planta. Se emplea para establecer la dinámica de la absorción, esto es, cuáles son las concentraciones nutrimentales que se observan en distintas fases del desarrollo de la planta y las demandas particulares de nutrientes (cantidades de nutrientes presentes en la parte aérea) en los diversos estados fisiológicos de la planta. Esta última información sirve para determinar los momentos más adecuados para el suministro de fertilizantes dentro del ciclo de desarrollo del cultivo (Etchevers, 1999).

4.11.3 Análisis al final del ciclo de crecimiento

Los resultados de este análisis se emplean para obtener información sobre la cantidad total de elementos absorbida por la planta (exportación de nutrientes desde el suelo) y también para determinar el requerimiento interno, esto es, la concentración mínima de nutrientes que se requiere para alcanzar el rendimiento máximo posible. También se usa como indicador primario de la necesidad de nutrientes que tiene un cultivo determinado. En general, la demanda nutrimental menos la cantidad de nutriente que puede proporcionar el suelo, considerando un apropiado factor de eficiencia de uso de fertilizante, debe ser la dosis de fertilización (Etchevers, 1999).

4.11.4 Análisis de hojas u otros órganos de referencia

El análisis foliar se emplea para evaluar el estado nutrimental de las plantas e indirectamente la disponibilidad de nutrimentos por el suelo. Se puede medir la concentración total de un elemento en la planta o una fracción de ésta. El análisis de plantas se emplea principalmente para diagnosticar deficiencias nutrimentales y como base para formular recomendaciones de fertilización (Etchevers, 1999).

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

fundamento del análisis foliar es la relación que existe entre la concentración de un nutrimento en un órgano específico de la planta, colectado en un momento también específico de su desarrollo y el rendimiento de ésta (Etchevers, 1999).

4.12 Criterios para la interpretación de los análisis de tejido vegetal

4.12.1 Intervalos de concentración

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

El nivel crítico de toxicidad es aquel que se asocia con una reducción, por exceso nutrimental, de 5 a 20 % del rendimiento máximo. Los rangos de concentración se han dividido en deficiente, bajo o marginal, adecuado o suficiente, alto y tóxico o excesivo. A continuación se define cada uno de ellos (Etchevers, 1999).

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

4.12.3 Bajo o Marginal. Este es el rango de concentraciones, en la parte especificada que se asocia con una reducción del crecimiento o producción, pero en el cual la planta no muestra síntomas visibles de deficiencia. Cuando se observan niveles de este tipo, es preciso efectuar algunos cambios en las prácticas de fertilización.

Sin embargo, para ciertos cultivos pudiera ser conveniente operar en este nivel, por ejemplo en el caso de las flores.

4.12.4 Adecuado o Suficiente. Dentro de este rango de concentración, en la parte especificada, los cambios que ocurren no provocan aumentos o disminución del crecimiento o producción.

Esta clase también se conoce como intermedia, normal, o satisfactoria. Si los valores de un análisis de planta caen en esta clase no es necesario realizar ningún cambio en las prácticas de fertilización.

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

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

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Sitio experimental

Las plantas se establecieron en un invernadero de 994 m² ubicado en el lote P-4 del campo experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, localizado geográficamente a 19° 29' de Latitud Norte y 98° 53' de Longitud Este (González y Zúñiga, 2014).

El tipo de clima es C(Wo)(w)b(i)g, considerado el más seco de los subhúmedos, con régimen de lluvias en verano, con una precipitación invernal de 4.3% con oscilación térmica mayor a 6 °C, temperatura media anual de 16.4 °C, máxima de 28 °C en Mayo y mínima de 0.2 °C en Febrero, precipitación de 604.3 milímetros anuales y una altura de 2250 metros sobre el nivel del mar (García, 1988).

5.2 Material vegetal

Se emplearon semillas de frutos de dos híbridos sobresalientes, obtenidos de la cruce simple de ocho líneas avanzadas de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P). Estas líneas fueron derivadas del híbrido intervarietal Zongolica x Puebla a través de cinco ciclos de autofecundación para cada una de ellas. En 2012 y 2013 mediante el diseño dialélico de griffing método II se evaluaron los 28 híbridos más las ocho líneas progenitoras y se identificó a la cruce 1x2 registrada en el SNICS como “MARUCA” y a la 3x4 como “JHOS” como sobresalientes (González y Zúñiga, 2014).

El híbrido MARUCA se caracteriza por ser una planta de porte erecto, ramas con entrenudos medianos (12.1 cm), hojas ovaladas, tiene fruto de color amarillo de 61.95 mm de longitud y 58.86 mm de diámetro, de dos a tres lóculos por fruto, grosor de pericarpio de 7.23 mm, con 162 días para la primera floración, y 234 días para la madurez del fruto (González y Zúñiga, 2014).

El híbrido JHOS es una planta de porte semierecto, de hojas ovaladas, fruto de color amarillo de 66.2 mm de longitud y 55.78 mm de diámetro, con tres lóculos predominantes, grosor de pericarpio de 6.81 mm, con 160 días a la primera floración y 232 días para la madurez del fruto (González y Zúñiga, 2014).

5.2 Solución nutritiva

Como fuente de nutrimentos en el sistema hidropónico, la solución nutritiva fue preparada con los fertilizantes y las dosis que recomiendan Pérez y Castro (2010) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Cantidad de fertilizante para preparar 500 litros de solución nutritiva para el cultivo de chile manzano con la Solución Nutritiva Universal de Steiner (SNUS) al 100 % de concentración, Chapingo, México. 2015.

Fuente	Solución Nutritiva Universal de Steiner (%)
	100
	Cantidad (g)
Ácido fosfórico 85 %	50 ml
Sulfato de potasio	435
Sulfato de magnesio	615
Nitrato de potasio	375
Nitrato de calcio	650
Sulfato ferroso	25
Sulfato de manganeso	5
Sulfato de zinc	2.5
Sulfato de cobre	2.5
Bórax	10

Pérez y Castro (2010).

5.3 Unidad y diseño experimental

Se estableció en un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental se conformó de una planta establecida en cada una de las macetas, se realizaron 10 muestreos destructivos cada 20 días a partir del trasplante.

5.4 Manejo del cultivo

La siembra se realizó en charolas de poliestireno expandido de 80 cm de largo por 25 cm de ancho y 8 cm de profundidad con 200 cavidades, el día 4 de Abril del 2014.

El trasplante a vasos desechables se realizó el 26 de Mayo de 2014, a los 52 dds, se estableció en macetas de plástico negro de diez litros de capacidad, colocadas a 2.0 m entre hileras y 1.50 m entre macetas, al momento del trasplante. Como sustrato se empleó en la mitad de la parte baja de la maceta Tezontle y en la mitad superior una mezcla de tezontle y composta.

5.5 Caracteres evaluados

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

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

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

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

Número de hojas. Se contó el número de hojas por planta.

Área foliar (cm²). Se determinó el área foliar con un integrador de área foliar Delta-TMK2, en cada planta.

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

5.5.2 Índices de eficiencia fisiológica

Se calcularon los siguientes índices de eficiencia fisiológica (Hunt, 1990): tasa absoluta promedio de crecimiento (TAC), tasa relativa promedio de crecimiento (TRC), tasa promedio de asimilación neta (TAN) y relación de área foliar (RAF), con las ecuaciones siguientes:

$$TAC = \frac{PS_2 - PS_1}{T_2 - T_1} ; \quad TRC = \frac{\ln(PS_2) - \ln(PS_1)}{T_2 - T_1} ;$$

$$TAN = \frac{\frac{PS_2 - PS_1}{T_2 - T_1}}{\frac{\ln(AF_2) - \ln(AF_1)}{AF_2 - AF_1}} ; \quad RAF = \frac{AF}{PS}$$

Dónde:

PS₂ y PS₁: Biomasa seca de la planta al final y al inicio de un periodo determinado.

T₂ y T₁: Tiempo transcurrido entre dos muestreos.

AF₂ y AF₁: Área foliar por planta al final y al inicio del mismo periodo.

Ln: Logaritmo natural.

5.4.3 Contenido y extracción nutrimental

En cada muestreo se cuantificó el contenido nutrimental por planta y la extracción de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu y B, en la biomasa aérea total según el nutrimento. Se realizó una digestión húmeda para cada muestra con una mezcla de ácido sulfúrico y

ácido perclórico relación 4-1 y peróxido de hidrógeno, después llevado a una plancha de digestión marca Thermo Scientific Type 2200 hasta 300 °C hasta aclarar y después aforado a 50 ml con agua destilada, en este digestado se realizaron las determinaciones de cada nutriente. El contenido de Nitrógeno se realizó con el método arrastre de vapor por Microkjeldahl, para Fósforo se usó el método de Fotocolorimetría por reducción con molibdato en un Fotocolorímetro marca Genesys 10uV Scanning calibrado a 420 nanómetros.

En Potasio se realizaron diluciones con agua destilada según las muestras y se realizaron las lecturas en un flamómetro marca Flame Photometer 410 calibrado con muestras de potasio con 10, 20, 30, 40 y 50 ppm (Etchevers *et al.*, 1999), mientras que Calcio, Magnesio, Hierro, Cobre y Zinc se determinaron por Espectrofotometría de Absorción Atómica en un Espectrofotómetro marca GBC Scientific Equipment, Modelo Savant AA Sigma y Boro por medio de Fotocolorimetría con AZOMETINA-H.

Con las lecturas obtenidas para cada elemento y con base a la cantidad de materia seca obtenida por muestra se determinó la extracción nutricional por planta.

5.5 Análisis de los datos

Consistió en análisis de varianza (ANAVA), de acuerdo con el diseño experimental completamente al azar. Para establecer las diferencias estadísticas entre las medias en la acumulación de materia seca de cada órgano, se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey, con $\alpha < 0.05$ para las variables de estudio a través del paquete estadístico Statistical Analysis System versión 9 (SAS Institute, 2011).

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Análisis de crecimiento

6.1.2 Acumulación de biomasa

Ambos híbridos de chile manzano presentaron un crecimiento lento en los primeros tres meses de su ciclo biológico (Figura 1), en este tiempo el híbrido MARUCA sólo acumula 15 g de biomasa, que representa el 7 % del total ($210 \text{ g} \cdot \text{planta}^{-1}$), mientras que el híbrido JHOS acumuló 14 g de materia seca, que corresponde a 7.3 % de la biomasa acumulada ($190 \text{ g} \cdot \text{planta}^{-1}$). Después de los tres meses, el crecimiento fue rápido y con una cinética sigmoideal para ambos materiales para un ciclo de 180 días después del trasplante. En contraste, otros chiles cultivados para consumo en fresco como jalapeños, serranos, anchos y pasillas, que pertenecen a la especie *C. annuum* L, tienen un ciclo biológico de 4 a 5 meses (Pérez y Castro, 2008). Mengel y Kirkby (1978) mencionan que la proporción de fotoasimilados depende de la edad fisiológica de la planta, en plantas jóvenes para el crecimiento estructural y durante el llenado de frutos para la síntesis de compuestos orgánicos. Gasga (2006) encontró valores similares en los que en los primeros 80 ddt la acumulación de materia seca es muy baja, pero una vez iniciando la fructificación la acumulación de materia seca se incrementa, sus resultados permiten deducir que la planta tuvo diferentes tasas de crecimiento a lo largo de su desarrollo, menores al inicio y mayores al final del ciclo, al igual que los encontrados en el presente trabajo.

Acumulación de Biomasa

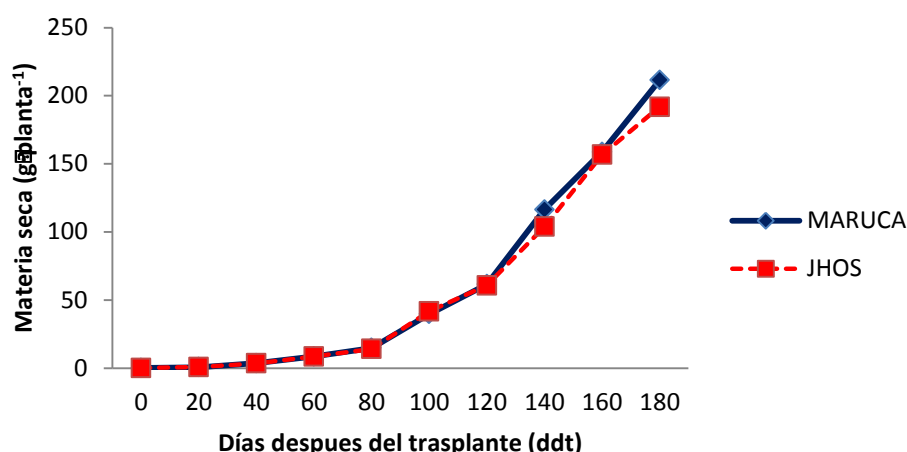


Figura 1. Cinética de acumulación de materia seca durante el ciclo de cultivo de dos híbridos (MARUCA y JHOS) de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P). 0 a 20 ddt bifurcación del tallo principal; 20 a 40 ddt floración; 40 ddt formación de fruto; 60 a 160 ddt maduración de fruto y de 160 a 180 ddt cosecha de frutos. ddt = Días después del trasplante, Chapingo, México. 2015.

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

En altura de planta, ambos híbridos presentaron un comportamiento tipo sigmoide (Figura 2). Existió diferencia significativa en el crecimiento a los 40 días, ya que el híbrido MARUCA fue ligeramente superior con 3.85 cm respecto a JHOS y a los 60 días el híbrido JHOS por 8.75 cm con un crecimiento acelerado a partir de los 40 días, alcanzando una altura final de 288 y 276 cm el híbrido MARUCA y JHOS, respectivamente. En contraste, Romero (2013) reporta un rápido crecimiento en chile miahuateco desde los 50 días y altura final de 80.17 cm. Sin embargo, el chile manzano es una planta perenne y en los sistemas de producción intensiva en invernadero se conduce con podas. Es decir, después del primer ciclo de producción donde la planta alcanza los 2.8 m de altura, esta se poda a una altura de un metro para iniciar un nuevo ciclo productivo, en tanto que el chile miahuateco es de ciclo anual.

Entre los híbridos existió diferencia significativa en el diámetro del tallo en algunos puntos durante el desarrollo del experimento, en el primer muestreo (0 ddt) MARUCA tuvo un diámetro de 2.3 mm, y JHOS 2.0 mm. Mientras que a los 60 y 80 ddt, el híbrido JHOS obtuvo un diámetro de 8.0 mm y 7.25 mm en MARUCA. Después ambos híbridos mantuvieron una tendencia constante en el diámetro de tallo. Las plantas con tallo grueso tienen mayor capacidad de sostener a las estructuras reproductivas, evitando que se quiebren o doblen, también se relaciona con mayor área transversal del floema que permite mayor flujo de asimilados a las partes aéreas.

En el número de bifurcaciones no se encontraron diferencias significativas ($\alpha=0.05$) en ambos híbridos. Al respecto, Romero (2013) reporta que en Chile miahuateco a concentraciones de 25, 50, 75, 100 y 125 % de la solución de Steiner, no influye sobre el número de bifurcaciones.

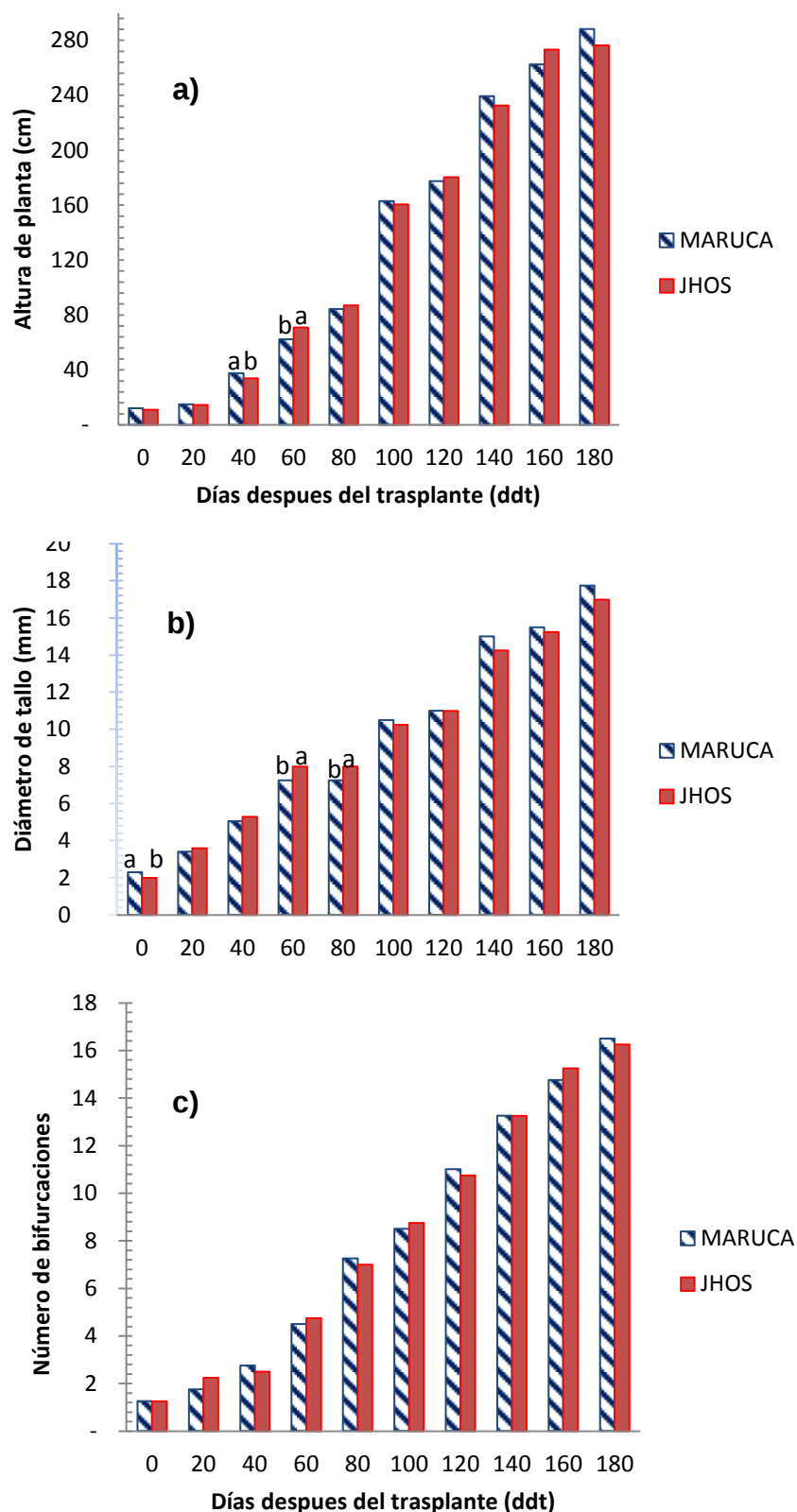


Figura 2. a) Altura de planta, b) Diámetro de tallo, c) Número de bifurcaciones del tallo principal durante el ciclo del cultivo de dos híbridos (MARUCA y JHOS) de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P). 0 a 20 ddt bifurcación del tallo principal; 20 a 40 ddt floración; 40 ddt formación de fruto; 60 a 160 ddt maduración de fruto y de 160 a 180 ddt cosecha de frutos. ddt = Días después del trasplante.

^a=muestreos donde hubo diferencias significativas entre híbridos. Chapingo, México. 2015.

6.1.3 Número de hojas y área foliar

De acuerdo con el análisis de varianza en el número de hojas, solo hubo diferencia significativa con $\alpha=0.05$ a los 100 días ddt siendo superior el híbrido JHOS respecto a MARUCA con 88 y 79 hojas, respectivamente. En la Figura 3 se observa un incremento acelerado en la producción de hojas a partir de los 80 días, para ambos híbridos. Este incremento se relaciona con la demanda de fotoasimilados que tienen los frutos para su crecimiento y desarrollo.

Debido a la dependencia entre número de hojas y área foliar (AF) con diferencia significativa a los 100 ddt. El híbrido JHOS con 4392 cm² y MARUCA con 4016 cm². También se observó incremento acelerado en AF partir de los 80 días en correspondencia al número de hojas (Figura 3). El área foliar, es muy importante ya que determina el potencial de la actividad fotosintética en las plantas (Klapwijk, 1986).

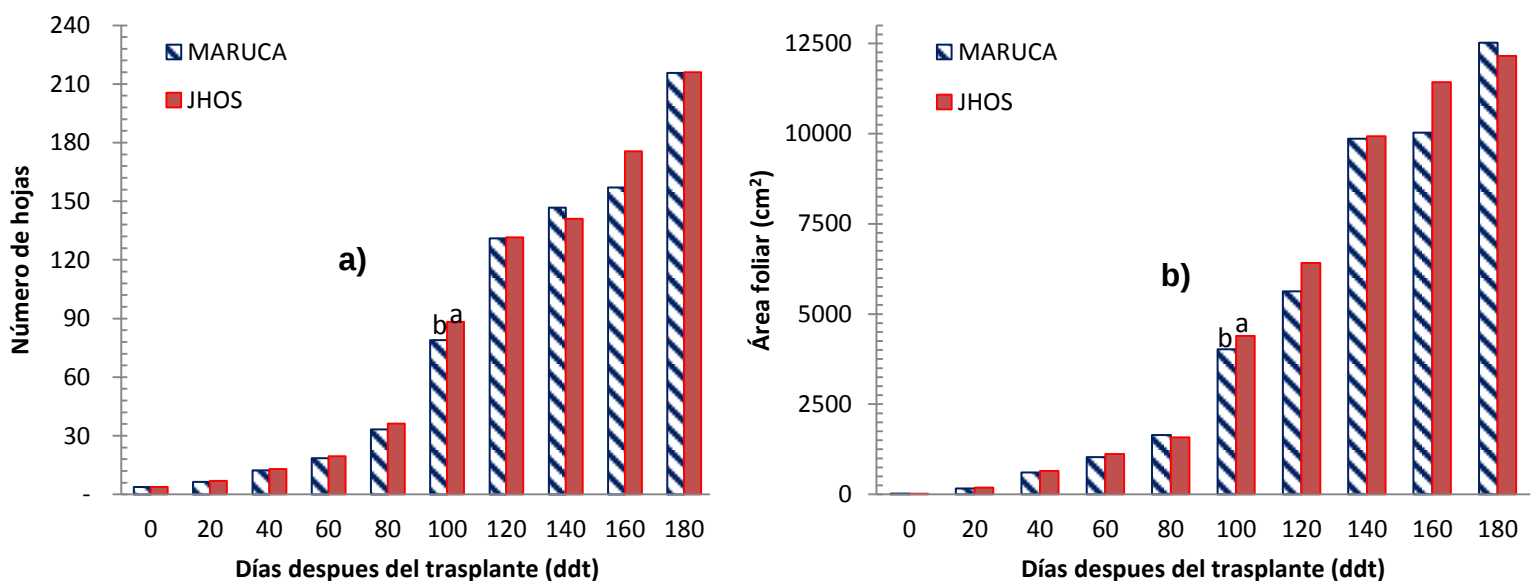


Figura 3. a) Número de hojas, b) Área Foliar, durante el ciclo del cultivo de dos híbridos (MARUCA y JHOS) de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P). 0 a 20 ddt bifurcación del tallo principal; 20 a 40 ddt floración; 40 ddt formación de fruto; 60 a 160 ddt maduración de fruto y de 160 a 180 ddt cosecha de frutos. ddt = Días después del trasplante. ^a=muestreos donde hubo diferencias significativas entre híbridos, Chapingo, México. 2015.

6.2 Índices de eficiencia fisiológica

6.2.1 Tasa absoluta de crecimiento (TAC)

La TAC mide el incremento de materia seca por unidad de tiempo. Ambos híbridos mostraron tendencias similares y constantes en TAC, en los primeros tres meses de crecimiento (Figura 4), a partir del quinto muestreo (80 ddt) presentaron un incremento acelerado en la acumulación de materia seca, pasando de 0.31 a $1.24 \text{ g}\cdot\text{día}^{-1}$, y de 0.27 a $1.38 \text{ g}\cdot\text{día}^{-1}$ para los híbridos MARUCA y JHOS, respectivamente.

La máxima expresión en TAC se alcanzó antes de realizar la primera cosecha de frutos, con una acumulación de materia seca de $2.64 \text{ g}\cdot\text{día}^{-1}$ para Maruca a los 180 ddt y para Jhos $2.65 \text{ g}\cdot\text{día}^{-1}$ a los 160 ddt, después de esa fecha la tendencia en TAC fue mantenerse e incluso a disminuir.

Al respecto, Martínez (2002) encontró que en seis variedades de chile manzano estudiadas una vez que alcanzaron sus valores máximos de TAC (180 y 240 ddt) estos disminuyeron inmediatamente, es decir, ninguna mantuvo una tasa promedio constante en la acumulación de materia seca total. Este comportamiento es típico de la TAC para cultivos de chile morrón (*C. annuum* L) (Cruz, 2001) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L) (Esquivel 1999). Sin embargo, otro estudio en chile manzano (*C. pubescens* RyP) cultivado a campo abierto, el comportamiento se mantuvo con fluctuaciones durante todo el ciclo de cultivo, (Domínguez y García, 1997) al igual que en chile mirador (*C. annuum* L) cultivado en invernadero (Antonio, 2000).

6.2.2 Tasa relativa de crecimiento (TRC)

La TRC es un índice que representa la eficiencia de la planta para producir nuevo material a partir de una unidad de peso en un tiempo determinado. Durante el ciclo de estudio (180 ddt) ambos materiales presentaron la misma tendencia, en donde la TRC

fue mayor durante el periodo vegetativo teniendo una TRC de hasta $0.088 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ y $0.095 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$, para MARUCA y JHOS respectivamente, la eficiencia de ambos híbridos para producir nuevo material disminuyó en función de la planta. A los 80 ddt ambos materiales presentaron un incremento súbito en la TRC, pasando de 0.027 a $0.049 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ para Maruca y de 0.025 a $0.054 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ para JHOS. Tal comportamiento se atribuye a que una vez iniciada la fructificación, estos tienen un incremento acelerado en ganancia de peso al principio de su crecimiento y una vez alcanzado el tamaño máximo de fruto, la tendencia será a disminuir.

Cabe destacar que durante el desarrollo vegetativo, los tallos y hojas son más eficientes en crecimiento hasta el inicio de la fructificación y de inicio de fructificación hasta el final del ciclo los frutos se constituyen como los órganos más eficientes en el crecimiento, aunque la eficiencia en la TRC de tallos, hojas y frutos es menor al término del ciclo (Martínez, 2002).

Hedge (1997) en un estudio de bell pepper (*Capsicum annuum* L.) encontró que los valores más altos de TRC se dan durante el desarrollo vegetativo, comportamiento semejante encontrado en este trabajo. Besse *et al.* (1982) en un estudio en *C. annuum* L. también encontraron que la TRC es mayor durante el crecimiento vegetativo y ésta tiende a declinar en el transcurso del tiempo, al respecto Teasdale y Abdul-Baki (1997) mencionan que esta es una respuesta típica atribuida al incremento en la producción de tejidos estructurales no fotosintéticos conforme la planta madura.

6.2.3 Tasa de asimilación neta (TAN)

La TAN mide el incremento del peso seco total de la planta o de cada órgano, por unidad de área foliar por unidad de tiempo, por lo que es una medida dependiente de la

actividad fotosintética que se expresa en gramos de peso seco por centímetro cuadrado de área foliar por día.

Durante el periodo vegetativo y al inicio del crecimiento la planta presentó la TAN más alta con $0.19 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$ para ambos materiales, y conforme la edad de la planta avanza la TAN disminuyó y alcanzó valores de 0.1 y $0.090 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$ para MARUCA y JHOS, respectivamente (Figura 4). Esto se debe al envejecimiento de la hoja, lo que implica que varíe la cantidad de fotoasimilados y la dirección en que se transportan, las hojas adultas exportan principalmente hacia abajo, a la base del tallo y la raíz (Dibwell, 1979). Entre los días 80 y 100 ddt los híbridos alcanzaron una acumulación de $0.20 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$ para MARUCA y $0.21 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$ para JHOS, después disminuye para el final del ciclo. Gasga (2006) encontró tendencias similares en la que la TAN se incrementó en el periodo de desarrollo de fruto, lo que explica dicho comportamiento.

En seis variedades criollas de chile manzano se observó que cuando alcanzan los máximos valores de TAN, inmediatamente disminuyeron drásticamente, ninguna de ellas mantuvo una tasa promedio constante de acumulación de materia seca, este comportamiento los presentaron cultivos como: chile manzano, chile mirador, tomate y lechuga, (Domínguez y García (1997); Barraza (2000); Pinzón (1996) y Rodríguez y Flores (2000), respectivamente), con los valores máximos en las primeras etapas de desarrollo, lo cual sugiere que en ese tiempo, la planta debe abastecerse de una mayor cantidad de nutrimentos, debido a que en esta etapa se acumula mayor cantidad de fotoasimilados (Martínez, 2002).

6.2.3 Relación de área foliar (RAF)

La RAF mide la relación que existe entre el área foliar total y el peso seco total o por órgano de la planta. Como se observa en la Figura 4, durante el desarrollo vegetativo se

encuentran los valores más altos. Es decir, existe más área foliar que producción de materia seca en los primeros 40 ddt, ya que la RAF alcanzó los valores más altos con 267 y 254 $\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ para MARUCA y JHOS, respectivamente. Conforme la edad de la planta avanzó, esta relación disminuyó debido a que los fotoasimilados se concentraron en la producción de más órganos como son los tallos, frutos y raíz y la planta producía menos hojas y de menor área por unidad de tiempo.

La tendencia y los valores encontrados en este trabajo son similares a los reportados por Beese *et al.*, (1982), Hedge (1997) y Gasga (2006) mencionan que la relación de área foliar, es más alta durante el periodo vegetativo y disminuye conforme la edad de la planta avanza.

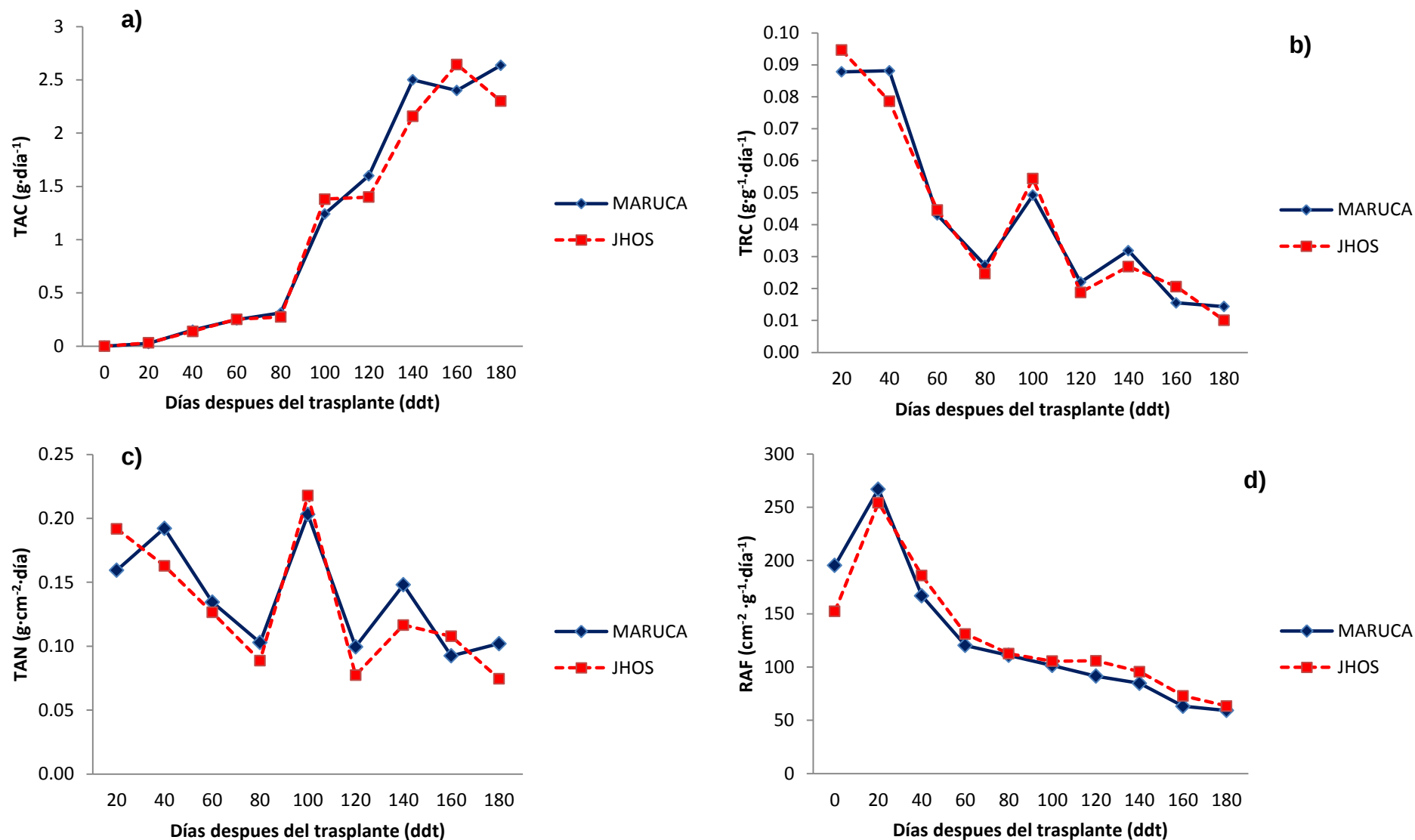


Figura 4. a) Tasa absoluta de crecimiento (TAN), b) Tasa relativa de crecimiento (TRC), c) Tasa de asimilación neta (TAN), d) Relación de área foliar (RAF), durante el ciclo del cultivo de dos híbridos (MARUCA y JHOS) de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P). 0 a 20 ddt bifurcación del tallo principal; 20 a 40 ddt floración; 40 ddt formación de fruto; 60 a 160 ddt maduración de fruto y de 160 a 180 ddt cosecha de frutos. ddt = Días después del trasplante. Chapingo, México. 2015.

6.3 Demanda nutrimental

Se considera que la demanda nutrimental de cada cultivo tiene como base la capacidad de absorber nutrimentos para obtener un rendimiento considerable y satisfactorio por medio de la producción y acumulación de materia seca (tallos, hojas, flores y frutos). (Hedge, 1997; Grageda, 1999).

Los datos de extracción de acuerdo con el número de plantas por hectárea permitieron calcular de manera aproximada la cantidad de nutrimento a utilizar en ciclo de cultivo de 180 días después del trasplante (Cuadro 2).

Cuadro 2. Cantidad de nutrimento requerido para producir 10,000 plantas•hectárea⁻¹ de dos híbridos (MARUCA y JHOS) de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) en ciclo de cultivo de 180 días después del trasplante. Chapingo, México. 2015.

Nutrimento (Kg)										
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	B
MARUCA	38.64	6.18	104.60	12.92	6.73	0.441	0.034	0.140	0.192	0.480
JHOS	40.80	5.27	92.00	11.74	6.14	0.384	0.045	0.119	0.163	0.384

6.4 Contenido y extracción de N, P y K

El contenido de nitrógeno, fósforo y potasio en la materia seca aérea durante el desarrollo del experimento presento un comportamiento similar para ambos híbridos (Figura 5). Para el caso del nitrógeno en MARUCA el contenido fluctuó entre 1.45 a 2.51 % y de 1.47 a 2.84 % para JHOS. Los valores más altos se presentaron al inicio del periodo vegetativo, puesto que se demanda nitrógeno para el desarrollo de hojas y tallos principalmente y actúa en los procesos de división y expansión celular. Lo anterior se mantiene hasta el inicio de la formación de frutos (Figura 5). Jones *et al.*, (1991)

Mencionan que los valores de concentración de N varían de 1.5 al 6 %, pero el intervalo de suficiencia va de 2.5 a 3.5 % en el tejido foliar, lo cual indica que el contenido de nitrógeno estuvo en los niveles de suficiencia para ambos híbridos, ya que se empleó la SNUS a una concentración de 100 % de tal manera que no existiese restricción en la disponibilidad de los nutrimentos.

Para fósforo el valor fue de 0.293 a 0.693 % y de 0.275 a 0.643 %, para MARUCA y JHOS, respectivamente. De manera similar que nitrógeno los valores más altos se presentaron en los primeros días del desarrollo vegetativo, con una tendencia a disminuir conforme la edad de la planta avanzó (Figura 5). El comportamiento del fósforo, en el presente estudio, es congruente con la forma de distribución que tiene en las plantas, ya que los tallos y hojas jóvenes que se encuentran en activo crecimiento contienen altas cantidades de P orgánico en forma de ácidos nucleicos y fosfolípidos (Mengel y Kirkby, 1982). Se sabe que el fósforo representa de 0.15 a 1.0 % del peso seco total en muchos cultivos, con valores de suficiencia de 0.2 a 0.4 % en hojas maduras (Jones *et al.*, 1991).

En potasio los valores obtenidos estuvieron entre 4.83 a 7.22 % en MARUCA y 4.80 a 6.90 % para JHOS, presentándose un incremento en la absorción de potasio cuando inicia el periodo de formación del fruto y se mantiene constante durante la maduración del mismo (Figura 5). Jones *et al.*, (1991) señalan que en las hojas de bell pepper el intervalo de suficiencia varía de 4 a 6 % de potasio. Esto puede explicarse con lo señalado por Mengel y Kirkby (1982) acerca de que uno de los factores importantes en determinar la absorción de este elemento es la morfología de las raíces y la absorción potencial de potasio que éstas presentan, lo cual está definido genéticamente y por lo

tanto varía según la especie y cultivar. El potasio forma parte del 1.0 a 5.0 % del peso seco del tejido foliar recién maduro con valores de suficiencia de 1.5 a 3.0 % (Jones *et al.*, 1991).

Para ambos híbridos la extracción de nitrógeno, fósforo y potasio tuvo la misma tendencia (Figura 5), la cual incrementó a partir de los 80 ddt, en nitrógeno fue de 0.26 a 0.80 g·planta⁻¹ y 0.24 a 0.82 g·planta⁻¹, llegando a extraer 3.87 g·planta⁻¹ y 4.0 g·planta⁻¹ para MARUCA y JHOS, respectivamente. En fósforo fue de 0.053 a 0.15 g·planta⁻¹ para MARUCA y de 0.057 g·planta⁻¹ a 0.16 g·planta⁻¹ para JHOS, manteniendo un incremento constante después de los 80 ddt llegando a extraer 0.61 g·planta⁻¹ y 0.53 g·planta⁻¹ para MARUCA y JHOS respectivamente. Para potasio el incremento fue de 1.03 a 2.47 g·planta⁻¹, llegando a extraer 10.46 g·planta⁻¹ al final del ciclo en MARUCA y en JHOS fue de 0.97 a 2.58 g·planta⁻¹, extrayendo al final de los muestreos 10.2 g·planta⁻¹.

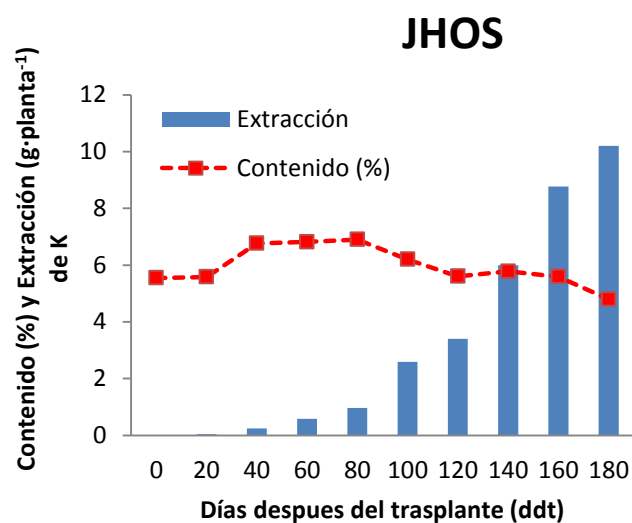
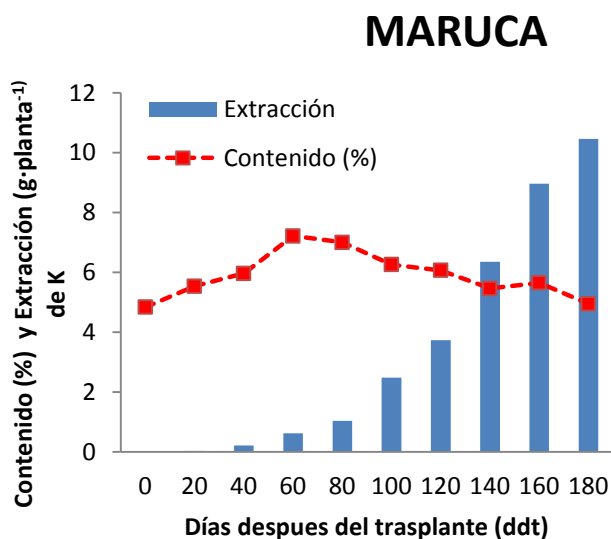
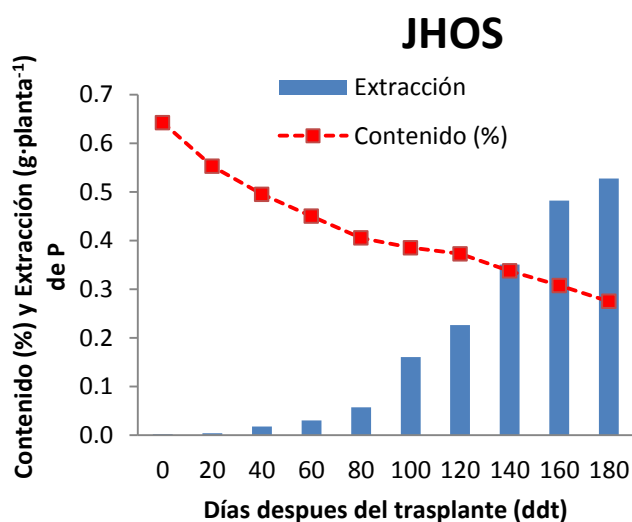
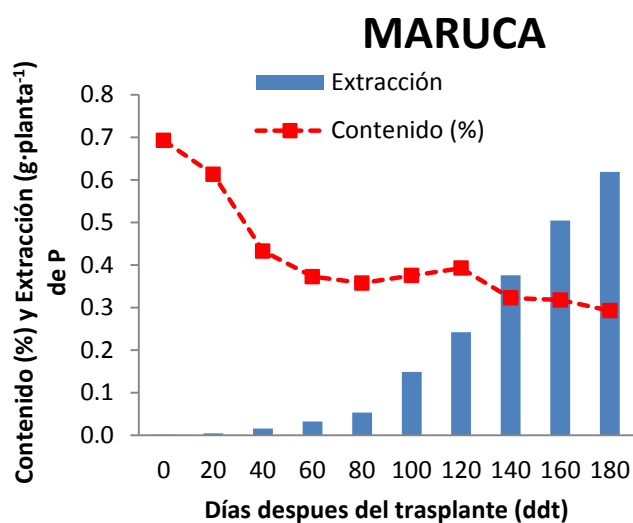
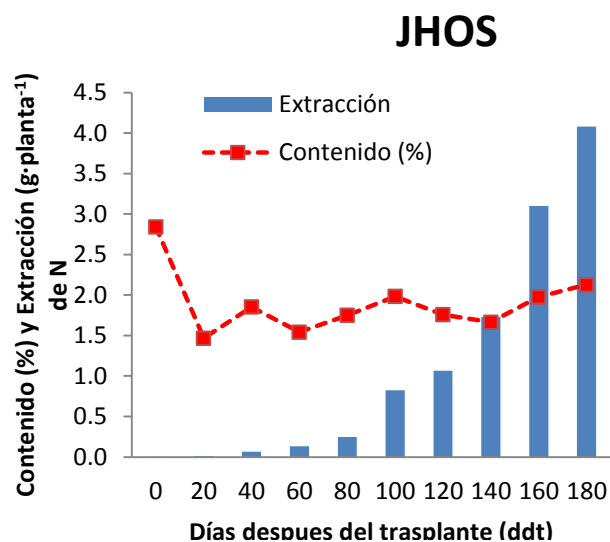
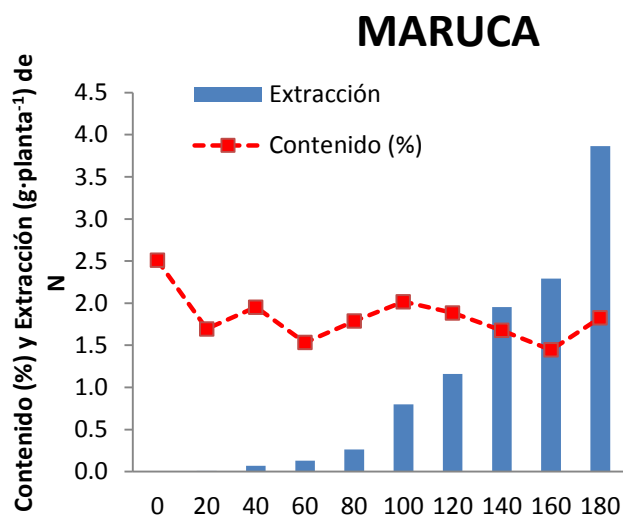


Figura 5. Contenido y extracción de N, P y K, durante el ciclo del cultivo de dos híbridos (MARUCA y JHOS) de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P). 0 a 20 ddt bifurcación del tallo principal; 20 a 40 ddt floración; 40 ddt formación de fruto; 60 a 160 ddt maduración de fruto y de 160 a 180 ddt cosecha de frutos. ddt = Días después del trasplante. Chapingo, México. 2015.

6.5 Contenido y extracción de Ca y Mg

Los datos obtenidos para el calcio durante el desarrollo del experimento de 0.45 a 0.68 % para MARUCA y de 0.37 a 0.72 % para JHOS. Los valores más altos se presentaron entre los 20 y 40 ddt, después de la primera bifurcación y comenzando la floración (Figura 6), disminuyendo hasta los 80 ddt donde se presentan los valores más bajos, y luego comienza una tendencia a incrementarse ligeramente y mantenerse constante hasta el final del periodo entre 0.50 y 0.61 %; este comportamiento es similar para ambos híbridos.

El contenido de Ca en la mayoría de cultivos varía de 0.2 a 3.0 % del peso seco en el tejido foliar (Jones *et al.*, 1991; Salisbury y Ross, 1994), como los datos se encuentran dentro de este intervalo, lo que explica porque no se observaron síntomas de deficiencia o toxicidad de este elemento a lo largo del ciclo de cultivo de ambos híbridos de chile manzano.

En magnesio los valores obtenidos estuvieron entre 0.23 a 0.82 % para el híbrido MARUCA y 0.23 a 0.74 % para el híbrido JHOS, ambos híbridos presentan los valores más altos al inicio del periodo vegetativo con una tendencia a disminuir conforme la edad de la planta avanza, estabilizándose y permaneciendo constante después de los 100 ddt entre 0.24 y 0.32 para los dos híbridos (Figura 6). Dichos valores pueden asociarse a que la mayor absorción de Mg se da en las hojas debido a que forma parte de la molécula de clorofila, siendo esencial en el proceso de fotosíntesis (Marschner, 1995).

El contenido de Mg de una planta varía de 0.15 a 1.0 % del peso seco del tejido foliar, con valores de suficiencia de 0.25 % en la mayoría de los cultivos (Jones *et al.*, 1991).

La extracción de calcio y magnesio tiene un comportamiento similar al de los demás macronutrientes ya que aumenta a partir de los 80 ddt (Figura 6), el Ca en MARUCA pasa de 0.067 a 0.20 g·planta⁻¹, extrayendo al final 1.29 g·planta⁻¹, en JHOS pasa de 0.053 a 0.22 g·planta⁻¹, extrayendo al final del ciclo 1.18 g·planta⁻¹; el Mg pasa de 0.041 a 0.099 g·planta⁻¹ y de 0.034 a 0.099 g·planta⁻¹, extrayendo al final 0.67 y 0.62 g·planta⁻¹, para MARUCA y JHOS, respectivamente.

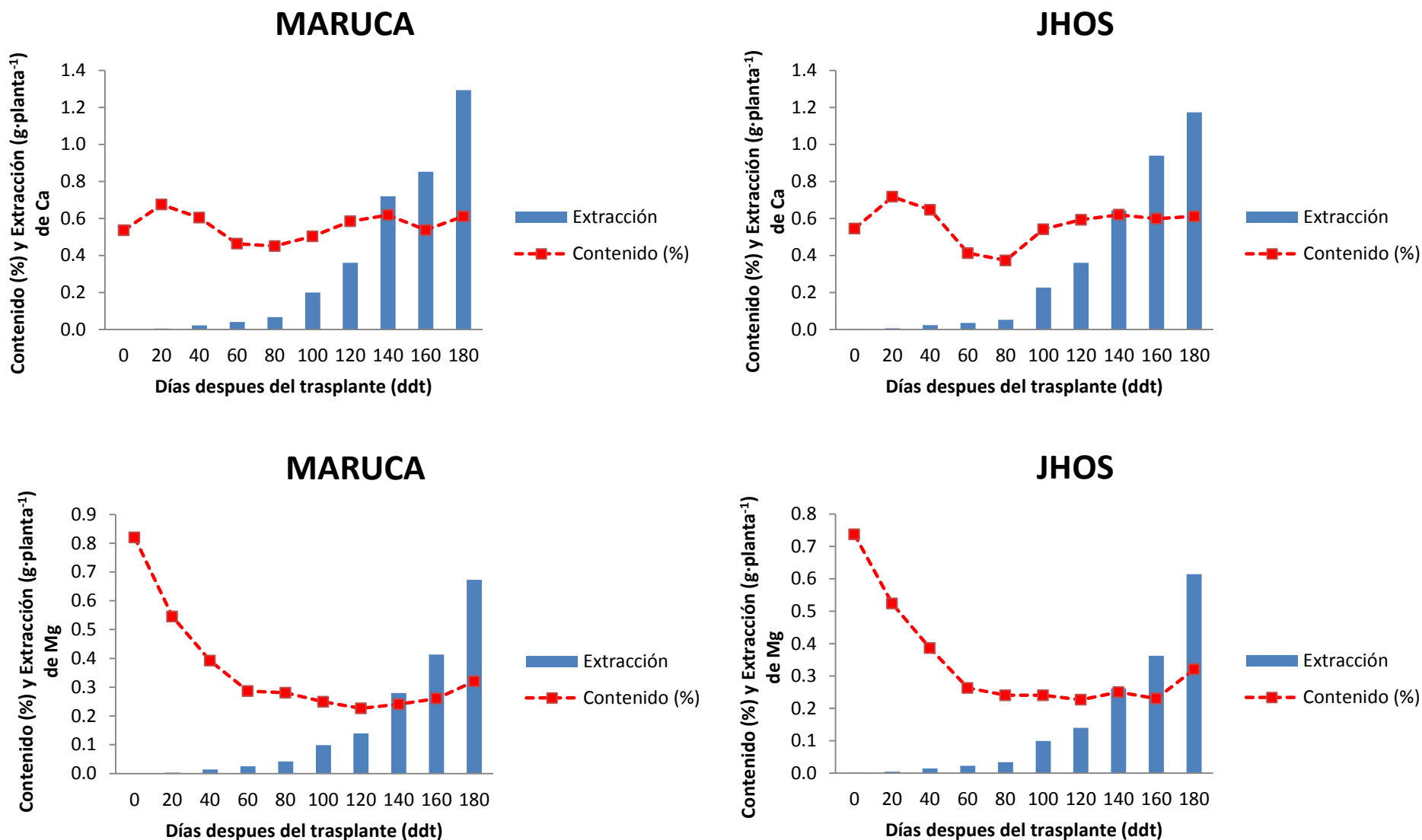


Figura 6. Contenido y extracción de Ca y Mg, durante el ciclo del cultivo de dos híbridos (MARUCA y JHOS) de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P). 0 a 20 ddt bifurcación del tallo principal; 20 a 40 ddt floración; 40 ddt formación de fruto; 60 a 160 ddt maduración de fruto y de 160 a 180 ddt cosecha de frutos. ddt = Días después del trasplante. Chapingo, México. 2015.

6.6 Contenido y extracción de Fe, Cu y Zn

Los datos obtenidos para hierro durante el desarrollo del experimento tuvieron un comportamiento similar para ambos híbridos (Figura 7) y variaron entre 72.98 y 64.58 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ al inicio del desarrollo vegetativo, incrementándose hasta 201.50 y 191.58 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ a los 40 ddt durante la floración y disminuyendo durante la formación del fruto hasta alcanzar 107.75 y 118.75 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ y a partir de los 80 ddt comenzó a incrementarse paulatinamente hasta llegar a extraer 227 y 219 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ entre los 140 y 160 ddt para los materiales MARUCA y JHOS, respectivamente.

En *Capsicum annuum* el intervalo de suficiencia del contenido de Fe varía de 60 a 300 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Jones *et al.*, 1991), el valor crítico durante la floración es de 130 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, en la formación de frutos es de 120 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ y en la producción es de 110 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Burgueño, 1994). Esto explica porque las cantidades de Fe al momento de la floración son más elevadas y luego tiende a disminuir.

Para cobre la tendencia es similar debido a que durante el periodo vegetativo el contenido está entre 11.22 y 14.34 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ y tiende a incrementar a 35 y 42 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ a los 40 ddt durante el periodo de floración para MARUCA y JHOS, respectivamente y tiende a disminuir durante la formación de fruto hasta llegar a su punto más bajo para MARUCA a los 120 ddt con 11.75 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ y a los 100 ddt para JHOS con 11 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ con una tendencia a mantenerse e incrementarse ligeramente (Figura 7).

El valor adecuado de Cu durante la floración es de 30 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ y en la formación de y producción de frutos es de 25 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Burgueño, 1994). Esto explica por qué durante la floración tiende a incrementarse la absorción de Cu, mientras que durante la formación y producción de frutos disminuye.

El zinc presenta un comportamiento similar que hierro y cobre, en etapa vegetativa el contenido es de 28.51 y 30.59 mg·kg⁻¹ y se incrementa cuando llega la etapa de floración donde presenta los valores más altos con 85.25 y 95.5 mg·kg⁻¹ para MARUCA y JHOS, respectivamente, con una tendencia ligera a disminuir pero manteniéndose alrededor de 65 mg·kg⁻¹ al final del ciclo para ambos híbridos (Figura 7).

En zinc la concentración adecuada en cultivos agrícolas va de 31 a 150 mg·kg⁻¹ (Arcos *et al.*, 1998). Los valores encontrados en este trabajo se encuentran en el rango mencionado.

En hierro, cobre y zinc el incremento en la extracción se da a los 120 a los 140 ddt (Figura 7), a diferencia de los macronutrientes que el incremento ocurre entre los 80 y los 100 ddt.

En hierro pasa de 9.61 a 27.61 mg·planta⁻¹, teniendo una extracción final de 41.1 mg·planta⁻¹ en MARUCA y de 11.72 a 21.98 mg·planta⁻¹, extrayendo un total de 39.35 mg·planta⁻¹ en JHOS.

En cobre el incremento fue de 0.723 a 2.066 mg·planta⁻¹ con un total final de 3.383 mg·planta⁻¹ y de 0.819 a 1.947 mg·planta⁻¹ con un final de 4.458 mg·planta⁻¹ para MARUCA y JHOS, respectivamente.

Con respecto a zinc en MARUCA pasa de 3.70 a 7.83 mg·planta⁻¹, con una extracción final de 12.01 mg·planta⁻¹ y en JHOS con 3.75 a 7.14 mg·planta⁻¹ y una extracción al final del ciclo de 11.89 mg·planta⁻¹.

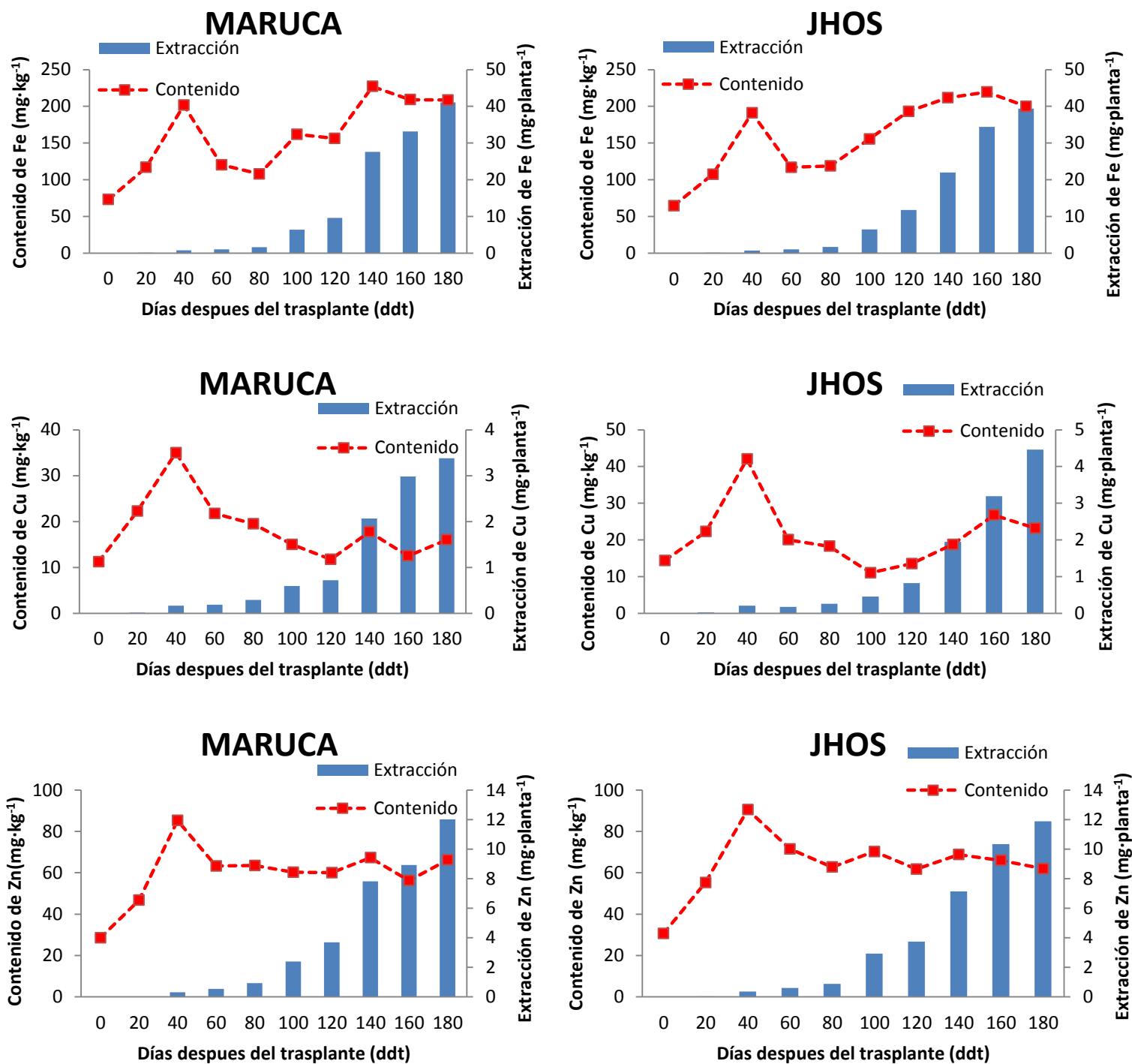


Figura 7. Contenido y extracción de Fe, Cu, Zn durante el ciclo del cultivo de dos híbridos (MARUCA y JHOS) de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P). 0 a 20 ddt bifurcación del tallo principal; 20 a 40 ddt floración; 40 ddt formación de fruto; 60 a 160 ddt maduración de fruto y de 160 a 180 ddt cosecha de frutos. ddt = Días después del trasplante. Chapingo, México. 2015.

6.7 Contenido y extracción de Mn y B

Los datos obtenidos para manganeso durante el desarrollo del experimento tuvieron un comportamiento similar a los demás micronutrientes en los dos híbridos. Para MARUCA en etapa vegetativa comenzó con $55.27 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ alcanzando los valores más altos a los 40 ddt durante la floración con una extracción de $215 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ y teniendo una tendencia a disminuir (Figura 8). Después, a los 100 ddt alcanza 86 ppm y se mantiene hasta el final de ciclo. Para JHOS en etapa vegetativa inició con $54.8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ incrementándose a los 40 ddt con $213.5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ estabilizándose a los 100 ddt y se mantuvo entre 73 a $84.75 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ hasta el final del ciclo.

En cuanto a Mn, Piggott (1988) menciona que el rango de concentración adecuado en cultivos hortícolas, se encuentra entre 26 a 300 ppm. Los datos obtenidos estuvieron dentro de este rango.

El comportamiento del Boro en ambos híbridos fue similar, con una ligera variación en relación a los demás micronutrientes estudiados, debido a que en el periodo vegetativo, ambos híbridos iniciaron con 38.42 y $35.79 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, alcanzando los valores más altos a los 80 ddt con 229 y $242.25 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ para MARUCA y JHOS, respectivamente, con una ligera disminución pero encontrándose bajo ese mismo rango hasta el final del ciclo (Figura 8).

Arcos *et al.* (1998) reportan que en *Capsicum annuum* el intervalo de suficiencia está entre 40 y $100 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en la etapa vegetativa. Gasga (2006) encontró valores similares en chile manzano con una extracción en etapa vegetativa de hasta $456.1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ con tendencia a disminuir y mantenerse al final del ciclo entre 227.02 a $299.6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ y en el

presente trabajo los valores son muy similares, lo que indica que *C. pubescens* extrae más boro que *C. annuum*.

En manganeso la extracción más significativa se presenta de los 120 a los 140 ddt, en MARUCA pasó de 5.36 a 8.58 mg·planta⁻¹, con una extracción final de 18.24 mg·planta⁻¹, mientras que en JHOS fue de 4.59 a 8.17 mg·planta⁻¹ extrayendo al final del ciclo 16.25 mg·planta⁻¹.

Con respecto a boro, la extracción significativa se dio de 100 a 120 ddt; en MARUCA fue de 5.82 a 12.39 mg·planta⁻¹, y en JHOS de 6.95 a 10.88 mg·planta⁻¹, mientras que la extracción final fue de 43.05 y 41.35 mg·planta⁻¹, respectivamente.

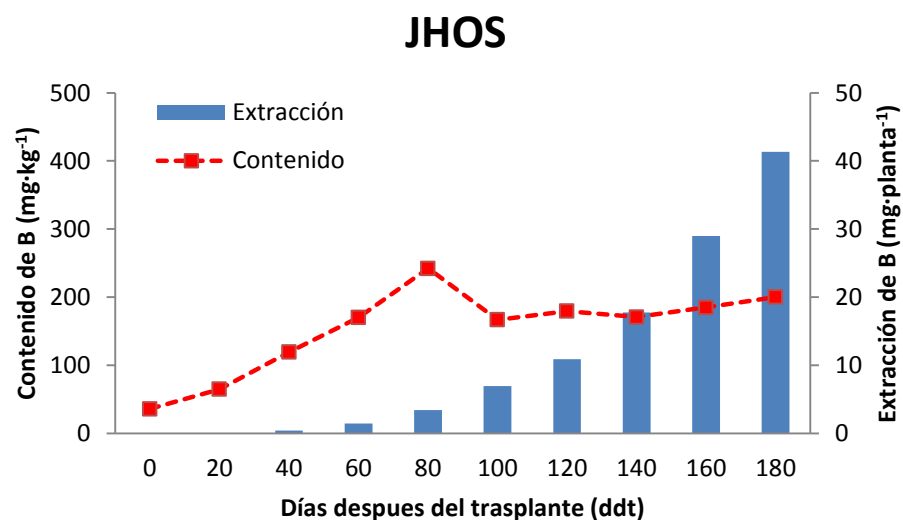
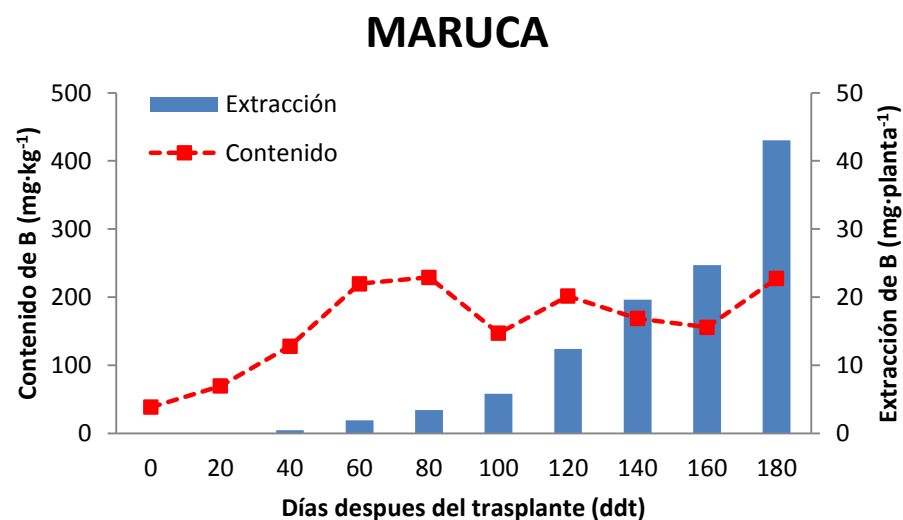
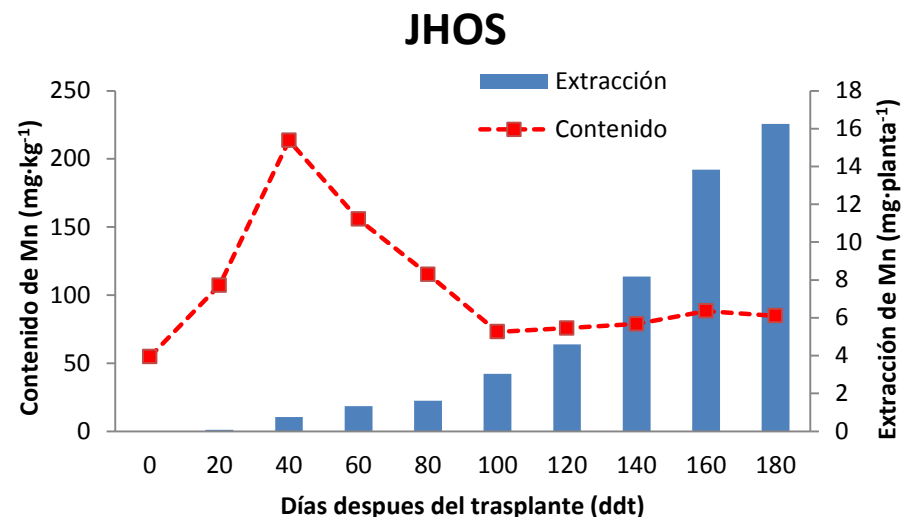
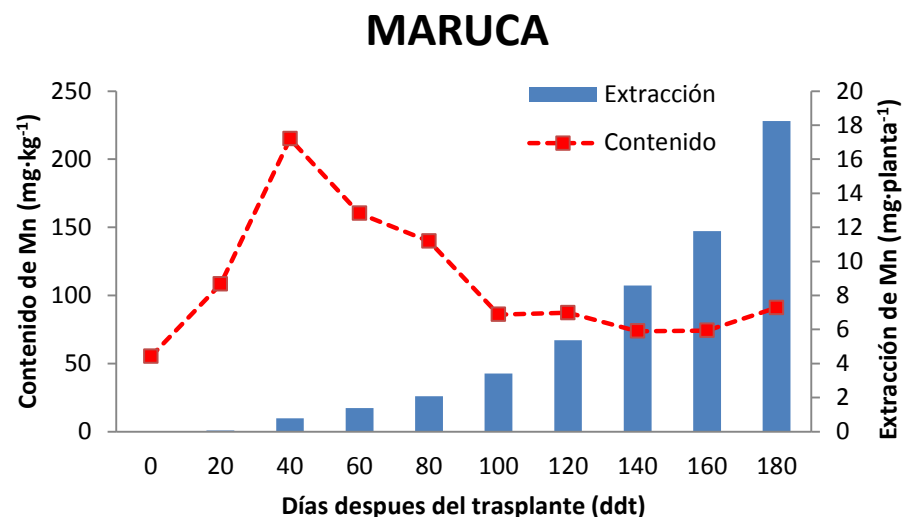


Figura 8. Contenido y extracción de Mn y B, durante el ciclo del cultivo de dos híbridos (MARUCA y JHOS) de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P). 0 a 20 ddt bifurcación del tallo principal; 20 a 40 ddt floración; 40 ddt formación de fruto; 60 a 160 ddt maduración de fruto y de 160 a 180 ddt cosecha de frutos. ddt = Días después del trasplante. Chapingo, México. 2015.

7. CONCLUSIONES

Se estimó la acumulación de materia seca de la parte aérea de la planta, lo cual permitió obtener los índices de eficiencia fisiológica y conocer el crecimiento y desarrollo de estos dos híbridos, se encontró que a los 80 ddt hubo cambios significativos, en donde la TAC incrementó de 0.31 a 1.24 $\text{g}\cdot\text{día}^{-1}$, y de 0.27 a 1.38 $\text{g}\cdot\text{día}^{-1}$ para MARUCA y JHOS, respectivamente. El comportamiento fue similar para TRC con valores de 0.027 a 0.049 $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$ en MARUCA y de 0.025 a 0.054 $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$ para JHOS. Y para MARUCA la TAN los valores más altos fueron de 0.20 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$ y 0.21 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$ para JHOS.

Las extracciones de nutrimentos obtenidos al final del ciclo en MARUCA fueron de 3.87, 0.61, 10.46, 1.29, 0.67 $\text{g}\cdot\text{planta}^{-1}$, para N, P, K, Ca, Mg, respectivamente; y 41.08, 3.38, 12.01, 18.24 y 43.05 $\text{mg}\cdot\text{planta}^{-1}$ de Fe, Cu, Zn, Mn y B, respectivamente; para el híbrido JHOS los resultados fueron 4.0, 0.53, 10.2, 1.18 y 0.62 $\text{g}\cdot\text{planta}^{-1}$ de N, P, K, Ca, Mg, respectivamente; mientras que para Fe, Cu, Zn, Mn y B fue de 39.35, 4.45, 11.89, 16.25 y 41.35 $\text{mg}\cdot\text{planta}^{-1}$, respectivamente.

El mayor requerimiento de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn y B en los dos híbridos de chile manzano se da entre las etapas de periodo vegetativo, floración y formación del fruto, debido a que ocurre la mayor velocidad de crecimiento, así como la máxima velocidad de absorción nutrimental.

8. BIBLIOGRAFÍA

- ANTONIO, R., O. 2000. Caracterización fenológica, morfológica y análisis de crecimiento de chile mirador (*Capsicum annuum* L) bajo condiciones de invernadero en Chapingo, México. Tesis de ingeniero agrónomo especialista en Fitotecnia. 37 p.
- ARCOS, C., G. HERNÁNDEZ, J. URIZA, 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 No. 24. División Agrícola. 206 p.
- BALTAZAR, B., M. 1996. Informe final del Proyecto G026: Diversidad genética del cultivo del chile (*Capsicum spp*) determinada por isoenzimas y RFLP's tipos: serrano, jalapeño, manzano y silvestres en su área de distribución. Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México. México. 65 p.
- BARRAZA, A., F. V. 2000. Crecimiento del chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.) en cuatro soluciones nutritivas bajo invernadero. Tesis de Maestría. Instituto de Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo, México. 42 p.
- BEADLE, C., L. 1988. Análisis del Crecimiento Vegetal. *In*: Técnicas en Fotosíntesis y Bioproductividad. Traducción al español de la 2da. Edición en inglés. Patrocinada por el Programa Ambiental de las Naciones Unidas (UNEP) y Colegio de Postgraduados. Ed. Futura. Chapingo, México. 17-21 p.
- BEESE, F.; HORTON, R.; WIERENGA, P.J. 1982. Growth and yield response of chilli pepper to trickle irrigation. *Agronomy Journal* 74:556-561.
- BIDWELL, R.G.S. 1993. Fisiología Vegetal. 2da Edición. Traducido al español por Cano y Cano, G.G; Rojas Garcidueñas, M.A.G.T. Editor. DF., México. 784 p.
- BROWN, D., A.; SCOUT, H., D. 1986. Dependence of Crop Growth and Yield on Root Development Activity *in*: Roots nutrient and water influx, and plant growth. Special Bulletin No. 49. ASA, USA. 135 p.
- BURGUEÑO, H.; URIBE F.; VALENZUELA M. 1994. La fertirrigación de cultivos hortícola con acolchado plástico. Vol. 1. BURSAG S. A de C. V. Sinaloa, México. 46 p.
- CHÁVEZ, J. J. 1999. Diversidad morfológica e isoenzimática del chile manzano (*Capsicum pubescens* R & P). Tesis de Doctorado en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 128 p.
- CRUZ, H. N. 2001. Relaciones entre la fuente y la demanda en chile morrón cultivado en altas densidades de población bajo hidroponía. Tesis de maestría en ciencias. Montecillos, México.
- DAVIDESCU, D. D.; DAVIDESCU D. V. 1982. Evaluation of fertility by plant and soil analysis. Editura Academiei. Bucaresti, Romania. 42 p.
- DOMÍNGUEZ, C., L. y E. GARCÍA, C. 1997. Caracterización fenológica y estudio de crecimiento de la planta de chile manzano (*Capsicum pubescens* RyP) en las

- condiciones ambientales de Chapingo. México. Tesis de licenciatura departamento de Fitotecnia. Chapingo México. 94 p.
- ESQUIVEL, E., G. 1999. Efectos de la temperatura sobre la fenología, producción de biomasa y rendimiento de grano y sus componentes en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis de Maestría en Ciencias. IREGEP. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 115 p.
- ETCHEVERS, J., D. 1999. Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutrimental de los cultivos. Terra 17:209-219.
- EVANS, C. E. 1972. The Quantitative Analysis of Plant Growth. University of California Press. Berkeley. 253 p.
- EVANS, L., T. 1983. Fisiología de los cultivos. Editorial Hemisferio Sur. S. A. Argentina. 387 p.
- FAGERIA, N.; BALIGAR, V.; JONES, CH. 1997. Growth and Mineral Nutrition of field Crops. Ed. Marcel Decker Inc. New York, USA. 476 p.
- GALVIS S., A.; ETCHEVERS J., D.; RODRÍGUEZ J., S. 1993. Estimación de los rendimientos máximos alcanzables de maíz en áreas de temporal del estado de Tlaxcala. Terra 11: 93-99.
- GARDNER F., P.; BRENT P., R.; MITCHELL R., L. 1985. Physiology of Crop Plants. Iowa State University Press. 327 p.
- GASGA, P. R. 2006. Análisis de crecimiento y dinámica nutrimental del chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.) Tesis de Maestría. Instituto de Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo, México.
- GONZÁLEZ J., J.; ZÚÑIGA, O., Y. 2014. Rendimiento, precocidad y calidad de fruto de veinticinco híbridos de chile manzano (*Capsicum pubescens* RyP). Tesis de licenciatura. Departamento de fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo, México. 32 p.
- GRAGEDA G., J. 1999. La fertilización en hortalizas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional del Noroeste. Folleto técnico No. 19. Sonora, México. 62 p.
- GRIFFING, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crosssing systems. Aust. J. Biol. Sci. 9:463-493.
- HEDGE, D. M. 1997. Nutrient requirements of solanaceous vegetable crops. Extension bulletin 441. Food Fertilizer Technology Center. Asian and Pacific Council. 43 p.
- HSIAO, T. C. 1982. Spacing canopy development and light interception. Agron. Abst. 99 p.
- HUNT, R. 1978. Plant growth analysis: studies in biology. No. 96. Edward Arnold (Publisher). London. 67 p.

- HUNT, R 1982. Plant growth curves: the functional approach to plant growth analysis. Edward Arnold (Publisher). Ud. London. 248 p.
- HUNT, R 1990. Basic growth analysis: plant growth analysis for beginners. Academic Division Unwin Hyman Ud. London, England. 112 p.
- JONES, J. B.; WOLF, B.; MILLS, H. A. 1991. Plant analysis handbook: a practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide. Micro-Macro Pub. Athens, Ga. (USA). 213 p.
- KLAPWIJK, D. 1986. Production of tomato transplants in The Netherlands. Acta Hort. 190: 505-510.
- KVET, J.; ONDOK, P.; NECAS, J.; JARVIS, P. 1971. Method of growth analysis In: Plant photosynthetic production, manual of methods. Sestak, Z., Catski and P. G. Jarvis (eds.) Pro W. Junk N. V. Publishers. The Hague. pp. 343-391.
- LABORDE C.J.; POZO, C.O. 1982. Pasado y presente del chile en México. SARH-INIA. México. Publicación especial número 85. Folleto. 80 p.
- LEAL, L., V. M. 1999. Estudio fisiológico y anatómico de la proliferación en maíz (*Zea mays* L.). Tesis de Doctor en Ciencias. IREGEP. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 95 p.
- MÁRQUEZ S., F. 1985. Genotécnica vegetal. Tomo 1 Ed. A.G.T. Editor, S.A. México, D.F. 357 p.
- MARSCHNER, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press. San Diego, CA, USA. 889 p.
- MARTÍNEZ, J. 1999. La diversidad de chiles en México. <http://www.starmet.net.mx/mexassit/chile/specier-sp.html>.
- MARTÍNEZ, H. F. 2002. Tasas e índices de eficiencia fisiotécnica de seis variedades criollas de chile manzano (*Capsicum pubescens* RyP). Teses de ingeniero agrónomo especialista en Fitotecnía. Chapingo. México. 31 p.
- MENGEL K.; KIRKBY E., A. 1978. Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute. Switzerland. 593 p.
- MIRANDA, V. 2004. Manejo de cultivos hidropónicos bajo invernadero. Edición UACH-Departamento de Preparatoria Agrícola. Serie de Publicaciones Agribot. México.
- MITHORPHE F., L.; MOORBY J. 1982. An Introduction to Crop Physiology. Cambridge University. Press. 202 p.
- PÉREZ G., M. y CASTRO B., R. 1998. Guía para la producción intensiva de chile manzano. Boletín de divulgación N° 1. Programa Nacional de Investigación en Olericultura. Departamento de Fitotecnía. Universidad Autónoma Chapingo. 17 p.
- PÉREZ G., M. 2002. Estudio genético y fisiológico del crecimiento, rendimiento y calidad de fruto en chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P). Tesis de Doctorado en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 106 p.

- PÉREZ G., M. Y CASTRO B., R. 2008. El chile manzano. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. México. 128 p.
- PICKERSGILL, B. 1997. Genetic resources and breeding of *Capsicum spp.* Euphytica 96: 129-133.
- PIGGOTT, T. J. 1988. Vegetable crops. p: 148-187. En: D. J. REUTER Y J. B. ROBINS (eds.). Plant analysis and interpretation manual. Inkata Press, Melbourne, Australia. 72.
- RADFORD P. J. 1967. Growth analysis formulae: Their use and abuse. Crop Sci. 7:171- 175.
- RAMÍREZ D., P. J. 1985. Análisis de crecimiento y componentes del rendimiento de los híbridos de maíz H-30 y H-31 Y de sus progenitores. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 181 p.
- RESH, H. 2001. Cultivos Hidropónicos. Nuevas Técnicas de Producción. Quinta Edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 558 p.
- RETA S., D. 1986. Crecimiento y aprovechamiento de la energía solar del frijol, (*Phaseolus vulgaris* L.) en asociación con maíz (*Zea mays* L.). Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo. México. 206 p.
- REUTER, O.J.; ROBINSON, J. B. 1986. Plant analysis and interpretation manual. Inkata Press. Sydney, Australia. 23 p.
- RICHARD, F. 1959. A flexible growth function empirical use. J. Exp. Bot. 10:290-300.
- ROBERTS, M. J.; LONG, S. P.; TIESZEN, L. L.; BEAOLE, C. L. 1985. Measurement of plant biomass and net primary production. pp 1-19. In: Techniques y bioproductivity and photosynthesis. Coombs, J., O. O. Hall, S. P. Longand. M. O. Scurlock (eds.) edit. Pergamon Press.
- ROMERO E., M. B 2013. Análisis de crecimiento y dinámica nutrimental del chile mihuateco (*Capsicum annuum* L.) Tesis de Maestría. Instituto de Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo, México.
- RUSELLE, M. P.; WILHELM, W. W.; OLSON, R. A.; POWER, J. F. 1984. Growth analysis based on degrees days. Crop Sci. 24:28-32.
- SALISBURY F., B.; ROSS C., W. 1994. Fisiología Vegetal. Ed. Iberoamérica S.A de C.V. D.F., México. 759 p.
- SÁNCHEZ S., H. 2009. Tipos de herencia en capsaicinoides, antioxidantes, azúcares solubles y caracteres morfológicos del fruto en chile manzano. Tesis de Doctorado en Ciencias con Especialidad en Genética. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. De México. 87 p.
- SAS Institute. 2002. SAS software release 6,12. Versión 9.00 SAS Institute Inc. Cary, NC., USA.
- SESTAK, A.; CATSKI, J.; JARVIS P. G. 1971. Plant Photosynthetic Production: Manual of methods. W. Junk N., publisher the Hague. 343-391.

- TEASDALE, J. R.; ABDUL-BAKI. 1997. Growth analysis of tomatoes in back polyethylene and hairy vetch productions systems. HortScience 32: 659-663.
- TORRES N., W. 1984. Análisis del crecimiento de las plantas. Cultivos tropicales. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INIA). Revista del Ministerio de Educación Superior de la República de Cuba. 38 p.
- WESTERMAN R., L.1990. Soil testing and plant analysis. Third ed. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin. 54 p.