



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DEPARTAMENTO DE FITOTECNÍA
INSTITUTO DE HORTICULTURA

ESTUDIO DEL CRECIMIENTO DEL FRUTO DE CHILE MANZANO
(*Capsicum pubescens* R y P)

TESIS

Que como requisito parcial

Para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA:

PABLO CLAUDIO ROJAS LARA



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

SEPTIEMBRE, 2008

Chapingo, Estado de México

ESTUDIO DEL CRECIMIENTO DEL FRUTO DE CHILE MANZANO

(*Capsicum pubescens* R y P)

Tesis realizada por ROJAS LARA PABLO CLAUDIO, bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

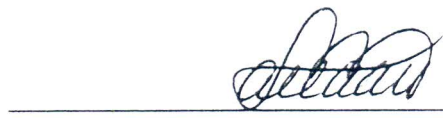
DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR:



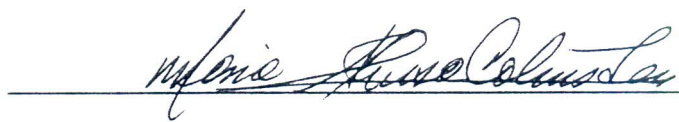
DR. MARIO PÉREZ GRAJALES

ASESOR:



DR. JAIME SAHAGÚN CASTELLANOS

ASESOR:



DRA. MARÍA TERESA COLINAS LEÓN

ASESOR:



DR. EDILBERTO AVITIA GARCÍA

LECTOR EXTERNO:



DRA. JACQUELINA FERNÁNDEZ VARGAS

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo, al Departamento de Fitotecnia y todos los profesores del Posgrado en Horticultura por la oportunidad de realizar mis estudios de Doctorado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el financiamiento recibido.

A los Doctores que conformaron el Comité asesor: Dr. Mario Pérez Grajales, Dra. María Teresa Colinas León, Dr. Jaime Sahagún Castellanos, Dr. Edilberto Avitia García, gracias por la confianza depositada en mí y apoyarme en la orientación de mis estudios.

A la Dra. Ana María por su apoyo y amistad.

Al Dr. Enrique Rodríguez Pérez, por la asesoría en la elaboración de los programas en el paquete estadístico SAS.

A la M. en C. Rosenda Margarita Ponce Salazar por la asesoría en el procesamiento de las muestras y la técnica histológica.

A la M. en C. Ana Isabel Bieler Antolin del laboratorio de Microcine por la toma de las fotomicrografías.

Al Ing. Cecilio Bautista Bañuelos por su apoyo y disponibilidad para la toma de datos de la fotosíntesis.

Al M. en C. Claudio Arturo Pérez Mercado y Don Antonio Díaz Santoyo por su apreciable amistad y disposición en el uso de las instalaciones del laboratorio de Nutrición de Frutales

A Don Francisco y Don Alfonso por su colaboración en el trabajo de invernadero.

DEDICATORIA

A mi esposa Silvia Eugenia gracias a su apoyo, su atención y paciencia he podido concluir este trabajo, esperando que en un futuro, yo sea el que te apoye en tu desarrollo profesional.

A mis hijos Pablo y Balam para que con entusiasmo continúen estudiando, ya que la vida sin preparación no es posible tener horizontes abiertos.

Como un recuerdo a la memoria de Robertito, Cesar Gómez Terán y Tello Gómez.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág
Índice de contenido.....	i
Índice de cuadros.....	iv
Índice de figuras.....	viii
Resumen y Abstract.....	x
Introducción general.....	1
CAPÍTULO I.	
1.1 Modelos matemáticos para estimar el crecimiento del fruto de chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i> R y P).....	5
1.2 Resumen.....	5
1.3 Abstract.....	7
1.4 Introducción.....	9
1.5 Materiales y métodos.....	13
1.6 Resultados y discusión.....	16
1.7 Conclusiones.....	23
1.8 Literatura citada.....	24
CAPÍTULO II.	
2.1 Evaluación de seis tipos de poda de ramas en chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i> R y P).....	27

	Pág
2.2 Resumen.....	27
2.3 Abstract.....	29
2.4 Introducción.....	30
2.5 Materiales y métodos.....	33
2.6 Resultados y discusión.....	36
2.7 Conclusiones.....	44
2.8 Literatura citada.....	45

CAPÍTULO III.

3.1 Fotosíntesis de chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i> R y P) en seis tipos de poda de ramas.....	48
3.2Resumen.....	48
3.3 Abstract.....	50
3.4 Introducción.....	51
3.5 Materiales y métodos.....	54
3.6 Resultados y discusión.....	56
3.7 Conclusiones.....	64
3.8 Literatura citada.....	65

CAPÍTULO IV.

4.1 Disposición y área de haces floemáticos en rama, peciolo y pedúnculo de chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i> R y P).....	67
4.2 Resumen.....	67

	Pág
4.3 Abstract.....	69
4.4 Introducción.....	71
4.5 Materiales y métodos.....	75
4.6 Resultados y discusión.....	77
4.7 Conclusiones.....	85
4.8 Agradecimientos.....	86
4.9 Literatura citada.....	87
Discusión general.....	90
Conclusiones generales.....	93
Literatura citada general.....	95

ÍNDICE DE CUADROS

Pág

CAPÍTULO I

CUADRO 1.

Estadística descriptiva y matriz de correlación de variables del crecimiento de frutos comercialmente maduros de plantas de chile manzano durante 108 días en 2004 y 101 días en 2005.

Chapingo, México..... 17

CUADRO 2.

Mejores modelos matemáticos para determinar el peso fresco (PF) de frutos de chile manzano en un sistema de producción intensivo en invernadero durante dos periodos de muestreo

(2004 y 2005). Chapingo, México..... 19

CUADRO 3.

Parámetros de los modelos que mejor estiman el crecimiento del fruto de chile manzano, con el peso fresco como variable respuesta durante dos periodos de muestreo (2004 y 2005).

Chapingo, México..... 22

CAPÍTULO II

CUADRO 1.

Análisis de varianza, coeficiente de variación y media de Nueve caracteres evaluados en frutos de chile manzano en seis diferentes tipos de poda de tallos durante 353 días después del trasplante (DDT). Chapingo, México, 2006..... 36

CUADRO 2.

Coeficientes de correlación estadísticamente significativos de caracteres evaluados en frutos de chile manzano en seis diferentes tipos de poda de tallos durante 353 días después del trasplante (DDT). Chapingo, México, 2006..... 37

CUADRO 3.

Comparación de medias de nueve caracteres evaluados en frutos de plantas de chile manzano en seis diferentes tipos de poda de tallos durante 352 días después del trasplante (DDT). Chapingo, México, 2006..... 39

CAPÍTULO III

CUADRO 1.

Análisis de varianza, coeficiente de variación y media de ocho caracteres fisiológicos evaluados en seis tipos de poda en plantas de chile manzano durante seis muestreos realizados de agosto a diciembre de 2006. Chapingo, México..... 57

CUADRO 2.

Comparación de medias de cinco caracteres fisiológicos evaluados en seis tipos de poda en plantas de chile manzano durante seis muestreos realizados de agosto a diciembre de 2006. Chapingo, México.....	58
--	----

CUADRO 3.

Comparación de medias del efecto de seis tipos de poda en cuatro caracteres fisiológicos evaluados en plantas de chile manzano durante seis muestreos realizados de agosto a diciembre de 2006. Chapingo, México.....	61
--	----

CAPÍTULO IV

CUADRO 1.

Comparación de medias, error estándar y coeficiente de variación del área del floema en rama, peciolo y pedúnculo del chile manzano en 2006. Chapingo, México.....	80
--	----

CUADRO 2.

Comparación de medias, error estándar y coeficiente de variación del área del floema en rama, peciolo y pedúnculo en tres estratos de la planta de chile manzano en 2006. Chapingo, México.....	81
--	----

CUADRO 3.

Comparación de medias, error estándar y coeficiente de	
--	--

variación del floema interno y externo de rama, peciolo y pedúnculo en tres estratos de la planta de chile manzano, 2006. Chapingo, México.....	83
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág
 CAPÍTULO IV	
 FIGURA 1.	
Corte transversal de rama de chile manzano del estrato medio.	
Se observa el floema interno 50X, en campo claro.	
Fl int: floema interno, Xl: xilema, Med: Médula.....	78
 FIGURA 2.	
Corte transversal de rama de chile manzano del estrato medio.	
Se observa el floema externo 50X, en campo claro.	
Fl ext: floema externo, Xl: xilema, Pnq: parénquima.....	78
 FIGURA 3.	
Corte transversal de peciolo estrato superior de la hoja de chile manzano. Se pueden observar el floema interno y externo 100X, en campo claro. Fl ext: floema externo, Fl int: floema interno, Xl: xilema, Pnq: parénquima.....	
	79
 FIGURA 4.	
Corte transversal de peciolo estrato superior de la hoja de chile manzano. Se pueden observar el floema interno y externo 50X, en contraste de fase. Fl ext: floema externo, Fl int: floema interno, Xl: xilema, Pnq: parénquima, Cr: cristales, Al: granos almidón.....	
	79

FIGURA 5.

Corte transversal de peciolo estrato superior de la hoja de chile manzano. Se pueden observar el floema interno y externo, así como la forma reniforme de los haces vasculares 25X, en campo claro. Fl ext: floema externo, Fl int: floema interno,

Xl: xilema, Pnq: parénquima, Tr: tricoma..... 80

**ESTUDIO DEL CRECIMIENTO DEL FRUTO DE CHILE MANZANO
(*Capsicum pubescens* R y P)**

**GROWTH STUDIED OF THE FRUIT OF APPLE PEPPER (*Capsicum
pubescens* R y P)**

Pablo Claudio Rojas Lara¹ y Mario Pérez Grajales²

RESUMEN GENERAL

En el estudio del crecimiento del fruto de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) se utilizó el híbrido intervarietal Puebla x Zongolica que es de alto rendimiento debido al volumen, grosor de pericarpio y peso de fruto, cultivado en un sistema de producción intensivo. El rendimiento se explica principalmente por el tamaño del fruto. El estudio del crecimiento mediante modelos matemáticos utilizando variables no destructivas permite proponer un manejo adecuado del cultivo. Por esta razón en este trabajo se propuso evaluar e identificar modelos matemáticos que describan el crecimiento del fruto, sin realizar muestreos destructivos. Para ello se evaluaron seis modelos de regresión (lineal simple, lineal múltiple y cuatro no lineales), bajo el supuesto de que alguno de estos explica eficientemente dicho crecimiento por medio de la variable independiente volumen de agua desplazada. Los modelos de

GENERAL ABSTRACT

In this study the apple pepper inter-varietal hybrid of (*Capsicum pubescens* R y P) "Puebla x Zongolica" was used, as it shows a high yield due to its great volume, thickness of pericarp, and fruit weight. Pepper plants were grown under an intensive production system. Fruit yield is explained mainly by its size. The fruit growth studied by testing and using mathematical models considering non destructive variables can be used to propose an appropriate crop management. In this work, it was proposed to evaluate and identify mathematical models to describe fruit growth avoiding destructive sampling. The evaluated mathematical models were: simple linear regression, multiple linear regression and four non lineal models. The hypothesis was that one model would explain efficiently the fruit growth by the independent variable displaced water volume. The best mathematical models to

¹ Tesista

² Director

regresión más adecuados para este propósito fueron: lineal simple, lineal múltiple y monomolecular. El modelo monomolecular estimó de manera sencilla y precisa el peso fresco del fruto utilizando una sola variable no destructiva, ya sea el volumen de agua desplazada o el volumen del mismo, por lo cual este modelo es el más práctico para la descripción del crecimiento de ellos. Por otro lado, para explicar el crecimiento del fruto en función de su peso también se evaluaron cinco tipos de poda de ramas para mejorar el manejo de las plantas y a su vez incrementar el tamaño y la calidad de frutos. Con el supuesto que la poda o eliminación del exceso de estructuras vegetativas modifica la calidad y rendimiento para que los fotosintatos sean destinados principalmente a los frutos. El rendimiento fue mayor en las plantas podadas a ocho bifurcaciones, le siguieron el testigo y las conducidas a tres tallos, también se obtuvieron los frutos de mayor tamaño. Con dichas podas se evitó el crecimiento excesivo de las plantas, se logra un mayor número de plantas por metro cuadrado, mejor manejo de ellas y facilita la cosecha de frutos. El incremento del rendimiento está también ligado a cambios en la fijación fotosintética del bióxido de carbono por lo que conviene reducir la superficie fotosintética e incrementar la tasa de fotosíntesis neta, para lo cual se evaluó el efecto de seis tipos podas de ramas sobre la fotosíntesis de las plantas de chile manzano. Las plantas podadas a uno, dos y tres tallos

estimate fruit growth were simple linear regression, multiple linear regression and monomolecular. The monomolecular model (in both sample periods) explain the fresh weight due to its easy implementation and precision through one non destructive variable, displaced water volume or volume of the fruit so this model is the most practical to describe the growth of the fruit. In order to explain fruit growth in function of yield five types of branch pruning were evaluated to identify the best to increase fruit size and quality, assuming that the pruning of stalks will produce the best fruit quality and size due to photoassimilation is mainly for fruits. Pruned plants to eight bifurcations produced the highest yield, following the control and the plant pruned to three stalks. The eight-bifurcation pruned plants and three-stalk pruned plants showed an increase of production and size. These pruning types prevented excessive growth, allowed for an increased plant density, and management and harvest were easier. Yield increase in crops is related to changes in the carbon dioxide photosynthesis setting, in order to raise the yield potential it is necessary to reduce the photosynthetic area and increase the photosynthesis net rate per unit of foliar area. The effects of six types of branch pruning in apple pepper plants on their photosynthesis were evaluated. Plants pruned to one, two and three stalks showed the best photosynthetic efficiency, while plants pruned to eight bifurcations showed intermediate level. On the other hand, growth study of fruit require to know the

mostraron la mejor eficiencia fotosintética, mientras que las plantas podadas a ocho bifurcaciones tuvieron un nivel intermedio. Por otra parte, en el estudio del crecimiento de fruto también se requiere conocer la anatomía de los haces vasculares de la planta, ya que los fotosintatos deben ser distribuidos desde las zonas de síntesis o de almacenamiento hacia todos los órganos que los demanden a través de un sistema de transporte especializado que es el floema. Por lo que se estudió la disposición y el área de los haces vasculares floemáticos de las estructuras vegetativas (rama, peciolo y pedúnculo) relacionadas con el transporte de fotosintatos hacia el fruto y se determinó que los haces vasculares están dispuestos en forma bicolateral en las tres estructuras vegetativas. En el peciolo, el floema, en sección transversal, es de tipo reniforme con haces vasculares bicolaterales. El área de los haces floemáticos de la rama media y superior fue mayor, ya que fueron los estratos con mayor producción de frutos. El área del floema de la zona interna y externa es igual en rama, peciolo y pedúnculo ($P \leq 0.05$).

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: regresión lineal simple, regresión lineal múltiple, modelo monomolecular, frutos, poda, tasa fotosintética, anatomía

anatomy of the plant vascular bundle, since the produced photoassimilates have to be distributed from synthesis or storage zones to all the organs of demand them. Area and disposition of phloem vascular bundles were studied in vegetative structures (branch, petiole and peduncle). Its structures relates with the photoassimilates transport to fruit. Bicollateral disposition of the phloem vascular bundles was observed in branch, petiole and peduncle. In the petiole the phloem, in transversal section it shows a form of kidney. Phloem area in medium and upper branches was the largest since they were the most active in fruit production. Phloem area in branch, petiole and peduncle between outer and inner zones were not statistically different ($P \leq 0.05$).

ADDITIONAL KEY WORDS: simple linear regression, multiple linear regression, monomolecular model, non linear models, fruits, pruning, net photosynthesis, anatomy.

INTRODUCCIÓN GENERAL

El chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) es una especie originaria de las zonas altas de América del Sur de donde se introdujo a México. Se comporta como una planta perenne, produce frutos carnosos de color verde brillante en estado inmaduro, que pasan a color amarillo o rojo al madurar. Son muy picantes y se consumen en fresco (Pozo, 1983; Nuez *et al.*, 2003).

El cultivo del chile manzano generalmente ocurre en huertos familiares, en regiones con altitudes entre 1700 a los 2400 m como las que se encuentran en algunos lugares templados y fríos de los estados de Michoacán, Puebla, México y Veracruz. La planta alcanza alturas de hasta tres metros y requiere una estación de crecimiento libre de heladas para poder vivir más de 10 años (Pérez y Castro, 1998).

También se le cultiva en condiciones de invernadero en un sistema de producción intensivo, en altas densidades de población (18,000 plantas·ha⁻¹) con variedades cuyos atributos son superiores a los de las variedades criollas (Pérez *et al.*, 2004).

El fruto del híbrido intervarietal de chile manzano Puebla x Zongolica, (Pérez *et al.* 2004), tiene volumen de 70 ml, grosor de pericarpio de 0.52 cm y rendimiento por planta de 2687 g·planta⁻¹ por año. La mayor demanda de este

híbrido intervarietal es favorecida por el tamaño promedio de sus frutos, respecto a sus progenitores, más que por el número de éstos por planta. Es decir, el rendimiento de fruto en chile manzano se explica principalmente por tamaño y peso. Para el análisis del crecimiento del fruto normalmente se realizan muestreos destructivos, por lo que no es posible utilizar el mismo fruto durante todo el periodo de estudio; la descripción de procesos biológicos se puede efectuar por medio de un modelo matemático empleando variables destructivas.

Montgomery (1991) propone que los modelos matemáticos son más concisos y menos ambiguos; esto, junto con la disponibilidad de reglas que se pueden usar mecánicamente, permite describir situaciones más complejas, con menos esfuerzo y menos riesgo de confusión.

La regresión no lineal sirve para describir sistemas biológicos y físicos (Rebolledo, 1994). Ostle (1986) y Montgomery (1991), propusieron, que si el modelo lineal no es el adecuado, se debe considerar el ajuste de algún modelo no lineal.

Por lo cual el estudio de su crecimiento a través de modelos matemáticos permite proponer un manejo adecuado del cultivo empleando variables no destructivas. Por lo que se propuso encontrar el modelo matemático que describa mejor el crecimiento del fruto de chile manzano y la variable no destructiva de mayor utilidad para dicho modelo.

Westwood (1982) y Ostle (1986) establecen que el crecimiento del fruto depende del incremento en volumen o peso, y que si se desea tener precisión en su determinación, se recomienda cuantificar el volumen de agua desplazada

por el fruto. También, la evaluación de niveles de poda en los tallos de chile manzano permitirá conocer la que mejor relación fuente demanda presente para incrementar el tamaño y calidad de los frutos.

La poda influye en el número, y en la calidad de flores y frutos (Almaguer, 1998). Según Nuez *et al.* (2003) ésta consiste en eliminar gran parte de la masa vegetativa, únicamente se deja el tallo principal y tres o cuatro ramas secundarias bien orientadas.

La poda de los brotes y ramas en chile manzano es necesaria para evitar un crecimiento excesivo de la planta e incrementar la calidad del fruto en tamaño y grosor del pericarpio (Pérez y Castro, 1998).

Se evaluó el efecto de la poda de ramas del chile manzano sobre variables fisiológicas como la fotosíntesis con el propósito de identificar el tratamiento con mayor eficiencia fotosintética.

Cálculos de la productividad por medio de la fotosíntesis foliar neta aportan cifras comparables sólo si se conoce bien la anatomía y morfología de la planta. Cualquier tejido en crecimiento, de almacenamiento o con metabolismo activo puede ser un vertedero (demanda) o destino de la savia (Salisbury y Ross, 1994).

Milthorpe y Moorby (1978, citado por Pérez *et al.*, 2004) mencionan que la mayor parte de los fotosintatos que recibe la demanda provienen de las hojas cercanas. Según Mendoza-Castillo *et al.* (2000) la fuerza de demanda de la fuente se podría limitar por una deficiencia en el transporte de fotosintatos o a un tamaño insuficiente de la demanda más que a una falta de capacidad de la fuente.

Para satisfacer los requerimientos del metabolismo y de crecimiento de las plantas, los fotoasimilados deben ser distribuidos desde las zonas de síntesis o de almacenamiento (fuente) hacia todos los órganos que los demanden (demanda), el floema conduce estos productos de la fotosíntesis (Bolhar-Nordenkamp, 1988). Salisbury y Ross (1994) mencionan que la capacidad de transporte del floema, estimada mediante la cantidad de tubos cribosos y las características anatómicas del tejido floemático en su conjunto, puede ser un factor limitativo en la movilización de asimilados entre la fuente y la demanda.

Thorpe y Minchin (1997) mencionan que la capacidad de transporte del floema, estimada mediante la cantidad de tubos cribosos y las características anatómicas del tejido floemático en su conjunto, puede ser un factor limitativo en la movilización de asimilados entre la fuente y la demanda.

De ahí que una de las interrogantes del desarrollo del fruto es relativa a las principales estructuras vegetativas que lo nutren para determinar si tienen áreas floemáticas similares o tiene algún patrón de variación entre ellas que sea benéfico para el crecimiento del fruto. Por esta razón se determinó la disposición y el área de los haces vasculares floemáticos de las estructuras vegetativas relacionadas con el aporte de fotosintatos del fruto como son: rama, peciolo y pedúnculo.

MODELOS MATEMÁTICOS PARA ESTIMAR EL CRECIMIENTO DEL FRUTO DE CHILE MANZANO (*Capsicum pubescens* R y P)¹

RESUMEN

El híbrido intervarietal de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) Puebla x Zongolica es de alto rendimiento por su volumen, grosor de pericarpio y peso de fruto. El rendimiento se explica principalmente por el tamaño del fruto, es recomendable conocer la dinámica del crecimiento del mismo. Normalmente su análisis se realiza por medio de muestreos destructivos, lo que hace imposible utilizar el mismo fruto durante el ciclo de cultivo, además la competencia entre los órganos de la planta disminuye su tamaño y peso, afectando negativamente la calidad y rendimiento. Por lo cual el estudio del crecimiento a través de modelos matemáticos utilizando variables no destructivas permite proponer un manejo adecuado del cultivo. Por esta razón en este trabajo se propuso evaluar e identificar modelos matemáticos que describan el crecimiento del fruto, sin

¹Rojas-Lara P. C., M. Pérez-Grajales, J. Sahagún-Castellanos, M. T. B. Colinas-León y E. Avitia-García. 2008. Aceptado por Revista Chapingo Serie Horticultura, 06/05/08

realizar muestreos destructivos. Se evaluaron los modelos: regresión lineal simple, regresión lineal múltiple y cuatro modelos no lineales. Con la hipótesis de que alguno de los seis modelos estudiados, explica eficientemente dicho crecimiento por medio de variables independientes como volumen de agua desplazada. Las plantas de chile se cultivaron bajo un sistema de producción intensivo, en 2004 y 2005. La variable dependiente fue el peso fresco de fruto y las variables independientes fueron: tiempo de crecimiento del fruto, longitud, ancho promedio de los hombros del fruto, volumen de agua desplazada y volumen del mismo. Se encontraron diferencias significativas entre las medias de las variables evaluadas en los dos periodos de muestreo ($P \leq 0.05$). Los modelos que mejor explican el crecimiento del fruto son: regresión lineal simple (sólo en el 2004) en función del volumen de agua desplazada y el volumen de fruto, el modelo de regresión lineal múltiple describe adecuadamente dicho crecimiento utilizando además de las variables anteriormente mencionadas, el tiempo de crecimiento, la longitud y el ancho promedio, tanto en el 2004 como en el 2005. Sin embargo, el monomolecular (en ambos periodos de muestreo) estima de una manera sencilla y precisa el peso fresco del fruto utilizando una sola variable no destructiva, ya sea, el volumen de agua desplazada o el volumen, haciendo que este modelo sea el más práctico para la descripción del crecimiento del fruto.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: regresión lineal simple, regresión lineal múltiple, modelo monomolecular, modelos no lineales

MATHEMATICAL MODELS FOR ESTIMATING FRUIT GROWTH IN APPLE PEPPER (*Capsicum pubescens* R y P)

ABSTRACT

The Apple pepper (*Capsicum pubescens* R y P) inter-varietal hybrid “Puebla x Zongolica” shows a high yield due to its great volume, pericarp thickness, and fruit weight. Fruit yield is explained mainly by size; therefore, it is only logical to determine the fruit growth dynamic. Fruit growth analysis has generally been undertaken by means of destructive sampling, which makes it impossible to use the same fruit throughout the growing period. In addition, the competition between the different organs of the plant decreases its size and weight, negatively affecting the quality and yield. This is possible by testing and using mathematical models that allow proposing an appropriate management of the crop. For this reason, this work proposed evaluating and indentifying mathematical models to describe fruit growth without destructive sampling. The evaluated mathematical models were: simple linear regression, multivariate linear regression and four non-lineal models. The hypothesis was that some of the studied models would satisfactorily explain fruit growth by independent variables such as “displaced water volume” (DWV). Pepper plants were grown under an intensive production system during 2004 and 2005. The dependent variable was fruit fresh weight and the independent variables were: time of

growth of the fruit, length, average diameter of the fruit shoulders, displaced water volume and volume itself. There were statistical differences between the two means of all variables in both sample periods ($P \leq 0.05$). The best mathematical models to estimate fruit growth are: simple linear regression (only in 2004) as a function of displaced water volume and volume of the fruit, and multiple linear regression, which appropriately describes this said growth through the above-mentioned variables, along with the fruit growing time, the length and average diameter of the fruit and its shoulders in 2004 and 2005. However, the monomolecular model (in both sample periods) satisfactorily explains the fresh weight of fruit due to its easy implementation and precision through one non-destructive variable, be it displaced water volume or volume of the fruit, making this model the most practical one to describe the growth of the fruit.

KEY WORDS: simple linear regression, multiple linear regression, monomolecular model, non-linear models

**MODELOS MATEMÁTICOS PARA
ESTIMAR EL CRECIMIENTO DEL FRUTO
DE CHILE MANZANO (*Capsicum
pubescens* R y P)**

P. C. Rojas Lara¹, M. Pérez Grajales², M. T.
B. Colinas León³, J. Sahagún Castellanos⁴,
E. Avitia García⁵.

RESUMEN

El híbrido intervarietal de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) Puebla x Zongolica es de alto rendimiento por su volumen, grosor de pericarpio y peso de fruto. El rendimiento se explica principalmente por el tamaño del fruto, es recomendable conocer la dinámica del crecimiento del mismo. Normalmente su análisis se realiza por medio de muestreos destructivos, lo que hace imposible utilizar el mismo fruto durante el ciclo de cultivo, además la competencia entre los órganos de la planta disminuye su tamaño y peso, afectando negativamente la calidad y rendimiento. Por lo cual el estudio del crecimiento a través de modelos matemáticos utilizando variables no destructivas permite proponer un manejo adecuado del cultivo. Por esta razón en este trabajo se propuso evaluar e identificar modelos matemáticos que describan el crecimiento del fruto, sin realizar muestreos destructivos. Se evaluaron los modelos: regresión lineal simple, regresión lineal múltiple y cuatro modelos no lineales. Con la hipótesis de que alguno de los seis modelos estudiados, explica eficientemente dicho crecimiento por medio de variables independientes como volumen de agua desplazada (VAD). Las plantas de chile se cultivaron bajo un sistema de producción intensivo, en 2004 y 2005. La variable dependiente fue el peso fresco de fruto y las variables independientes fueron: tiempo de crecimiento del fruto, longitud, ancho promedio de los hombros del fruto, volumen de agua desplazada y volumen del mismo. Se encontraron diferencias significativas entre las medias de las variables evaluadas en los dos periodos de muestreo ($P \leq 0.05$).

¹ Autor

² Director de tesis/Coautor

³ Director de tesis/Coautor

⁴ Director de tesis/Coautor

⁵ Director de tesis/Coautor

**MATHEMATICAL MODELS FOR
ESTIMATING FRUIT GROWTH IN APPLE
PEPPER (*Capsicum pubescens* R y P)**

P. C. Rojas Lara¹, M. Pérez Grajales², M. T.
B. Colinas León³, J. Sahagún Castellanos⁴,
E. Avitia García⁵.

ABSTRACT

The Apple pepper (*Capsicum pubescens* R y P) inter-varietal hybrid "Puebla x Zongolica" shows a high yield due to its great volume, pericarp thickness, and fruit weight. Fruit yield is explained mainly by size; therefore, it is only logical to determine the fruit growth dynamic. Fruit growth analysis has generally been undertaken by means of destructive sampling, which makes it impossible to use the same fruit throughout the growing period. In addition, the competition between the different organs of the plant decreases its size and weight, negatively affecting the quality and yield. This is possible by testing and using mathematical models that allow proposing an appropriate management of the crop. For this reason, this work proposed evaluating and indentifying mathematical models to describe fruit growth without destructive sampling. The evaluated mathematical models were: simple linear regression, multivariate linear regression and four non-lineal models. The hypothesis was that some of the studied models would satisfactorily explain fruit growth by independent variables such as "displaced water volume" (DWV). Pepper plants were grown under an intensive production system during 2004 and 2005. The dependent variable was fruit fresh weight and the independent variables were: time of growth of the fruit, length, average diameter of the fruit shoulders, displaced water volume and volume itself. There were statistical differences between the two means of all variables in both sample periods ($P \leq 0.05$).

¹ Author

² Thesis director/Coauthor

³ Thesis director/Coauthor

⁴ Thesis director/Coauthor

⁵ Thesis director/Coauthor

Los modelos que mejor explican el crecimiento del fruto son: regresión lineal simple (solo en el 2004) en función del volumen de agua desplazada y el volumen de fruto, el modelo de regresión lineal múltiple describe adecuadamente dicho crecimiento utilizando además de las variables anteriormente mencionadas, el tiempo de crecimiento, la longitud y el ancho promedio, tanto en el 2004 como en el 2005. Sin embargo, el monomolecular (en ambos periodos de muestreo) estima de una manera sencilla y precisa el peso fresco del fruto utilizando una sola variable no destructiva, ya sea, el volumen de agua desplazada o el volumen, haciendo que este modelo sea el más práctico para la descripción del crecimiento del fruto.

PALABRAS CLAVE: regresión lineal simple, regresión lineal múltiple, modelo monomolecular, modelos no lineales

The best mathematical models to estimate fruit growth are: simple linear regression (only in 2004) as a function of displaced water volume and volume of the fruit, and multiple linear regression, which appropriately describes this said growth through the above-mentioned variables, along with the fruit growing time, the length and average diameter of the fruit and its shoulders in 2004 and 2005. However, the monomolecular model (in both sample periods) satisfactorily explains the fresh weight of fruit due to its easy implementation and precision through one non-destructive variable, be it displaced water volume or volume of the fruit, making this model the most practical one to describe the growth of the fruit.

KEY WORDS: simple linear regression, multiple linear regression, monomolecular model, non-linear models

¹ Autor

² Director de tesis/Coautor

³ Director de tesis/Coautor

⁴ Director de tesis/Coautor

⁵ Director de tesis/Coautor

¹ Author

² Thesis director/Coauthor

³ Thesis director/Coauthor

⁴ Thesis director/Coauthor

⁵ Thesis director/Coauthor

INTRODUCCIÓN

El sistema de producción intensivo del chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) bajo condiciones de invernadero, en México, emplea altas densidades de población ($18,000 \text{ plantas} \cdot \text{ha}^{-1}$) (Pérez *et al.*, 2004) y cuenta con variedades cuyos atributos son superiores a los de las variedades criollas. El fruto del híbrido intervarietal de chile manzano Puebla x Zongolica, generado por Pérez *et al.* (2004) tiene gran volumen (70 ml), grosor de pericarpio (0.52 cm) y rendimiento por planta ($2687 \text{ g} \cdot \text{planta}^{-1}$ por ciclo). La mayor demanda de este híbrido intervarietal es favorecida por el tamaño promedio de sus frutos, respecto a sus progenitores, más que por el número de frutos por planta. Es decir, el rendimiento del fruto se explica principalmente por su tamaño y peso, por tal motivo es de gran interés conocer las variables que explican el crecimiento del mismo. No obstante, en este cultivo hay problemas aún sin resolver: por ejemplo, la competencia entre el tallo, las hojas y las raíces de la planta por los fotoasimilados, así como el elevado número de frutos por planta disminuyen el tamaño y peso de los mismos, afectando negativamente su calidad y rendimiento. Por lo cual el estudio de su crecimiento a través de modelos matemáticos permite proponer un manejo adecuado del cultivo.

Para el análisis del crecimiento del fruto normalmente se realizan muestreos destructivos, por lo que no es posible utilizar el mismo fruto durante todo el periodo de producción; la descripción de procesos biológicos como el antes

mencionado se puede efectuar por medio un modelo matemático empleando variables no destructivas.

Montgomery (1991) propone que los modelos matemáticos son más concisos y menos ambiguos; esto, junto con la disponibilidad de reglas que se pueden usar mecánicamente, permite describir situaciones más complejas, con menos esfuerzo, y con menos riesgo de confusión. Frecuentemente, los métodos de regresión se utilizan para analizar datos que provienen de experimentos que no fueron diseñados o en donde no se puede tener control sobre la variabilidad.

Las funciones de regresión lineal simple y múltiple son adecuadas para modelar una amplia variedad de relaciones entre variables respuesta y variables predichas. El coeficiente de determinación (r^2) se usa para juzgar la adecuación del modelo de regresión lineal simple y en la regresión lineal múltiple además se utiliza el coeficiente de colinealidad $C(p)$.

La regresión no lineal sirve para describir sistemas biológicos y físicos (Rebolledo, 1994). Ostle (1986) y Montgomery (1991), propusieron, que si el modelo lineal no es el adecuado, se debe considerar el ajuste de algún modelo no lineal. Para Rodríguez (1989) y, Graybill e Iyer (1994), los modelos que parecen ser no lineales pueden convertirse en lineales utilizando alguna transformación apropiada de la variable respuesta, las variables de predicción, los parámetros, o la combinación de éstos. Algunos modelos no lineales incluyen al logístico, exponencial, Michaelis-Menten y el monomolecular.

El modelo logístico puede expresar adecuadamente el crecimiento o desarrollo en función del tiempo, que se caracteriza por tener forma sigmoideal, un punto de inflexión y dos asíntotas, una superior y otra inferior (Calvo *et al.* 1994). El

modelo exponencial es válido para crecimientos o decrecimientos continuos en los que las condiciones son siempre igualmente favorables. El modelo de Michaelis-Menten se ha utilizado para describir el comportamiento de algunas poblaciones de insectos. El modelo monomolecular puede ser aplicado en agronomía, medicina y veterinaria, entre otras áreas.

Westwood (1982) y Ostle (1986) establecen que el crecimiento del fruto depende del incremento en volumen o peso, y que si se desea tener precisión en su determinación, se recomienda cuantificar el volumen de agua desplazada por el fruto, en tanto que, al diámetro lo consideraron una mala medida del crecimiento del fruto, ya que no hay una relación lineal con el volumen o el peso del mismo.

Tradicionalmente se tiene definido el largo y ancho como constantes del crecimiento de los frutos; el crecimiento del fruto puede determinarse con la técnica convencional, que consiste en medir el volumen de agua desplazada, o bien mediante una ecuación matemática, que permite estimar el volumen en cualquier etapa de su crecimiento (Guzmán *et al.* 1996). El volumen del fruto se puede representar con pocos parámetros y facilita las comparaciones entre distintas situaciones suministrando un estándar de comportamiento ideal con referencia al cual se puede juzgar y medir la realidad.

La hipótesis establecida en este estudio es que hay un modelo matemático que describe mejor el crecimiento del fruto de chile manzano y que el volumen de agua desplazada en una probeta cuando se sumerge el fruto es la variable de muestreo no destructivo de mayor utilidad para dicho modelo.

Se probaron seis modelos matemáticos (regresión lineal simple, regresión lineal múltiple, logístico, exponencial, Michaelis-Menten y el monomolecular) para analizar el crecimiento del fruto del chile manzano, sin hacer muestreos destructivos, con el propósito de identificar uno o varios de ellos que expliquen dicho crecimiento de manera similar a lo propuesto en durazno (*Prunus persica*, L. Batsh.) (Espinoza *et al.* 1998) y en naranjo (*Citrus sinensis* var. Valencia Late) (Avanza *et al.*, 2004). Donde los autores usaron variables explicativas como el largo, ancho a la altura de los hombros del fruto, volumen, volumen de agua desplazada y peso fresco del fruto.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente estudio, se utilizaron plantas del híbrido intervarietal Puebla x Zongolica que fueron cultivadas en condiciones de invernadero en Chapingo, Estado de México. Se usó el sistema de producción intensivo propuesto por Pérez y Castro (1998) que incluye la fertigación con la solución nutritiva universal de Steiner (Cadahia, *et al.*, 2000), reducción del nivel de irradiación a 60 %, temperatura promedio entre 18 y 20 °C, cultivo de las plantas en bolsas de polietileno blanco de 40 x 45 cm con tezontle rojo como sustrato y separación entre plantas de 50 cm, 160 cm entre hileras y entutorado.

El estudio del crecimiento del fruto se llevó a cabo en dos años (2004 y 2005). En el 2004 se utilizaron 245 plantas como población total y se evaluó el crecimiento de una muestra de 11 frutos (uno por planta), seleccionados al azar, de la población total; de cada uno de ellos se registró: el tiempo de crecimiento del fruto (T; días) que consistió en contar el número de días que transcurrieron desde que el fruto fue visible hasta que fue comercialmente maduro; longitud o largo del fruto (LON; cm); el ancho de los hombros del fruto en dos secciones perpendiculares: el ancho uno (A1) y ancho dos (A2), obteniendo posteriormente su promedio (AP; cm); volumen del fruto (VOL, cm³) resultado del producto de largo por el ancho uno por el ancho dos; volumen de agua desplazada al sumergir el fruto en una probeta con agua (VAD; ml) y peso fresco (PF; g). Esto se realizó del 10 de octubre al 6 de diciembre del 2004 con mediciones cada semana en total fueron 108 días, las plantas alcanzaron

una altura promedio de 1.50 m. La longitud, ancho uno y ancho dos, se midieron con un vernier digital Surtek. El peso fresco se obtuvo con una báscula digital Ohaus Scout 600 g x 0.1 g y el volumen de agua desplazada se midió con probetas graduadas de 25, 100, 500 y 1000 ml dependiendo del volumen del fruto, ya que, frutos recién formados tenían un volumen menor que los frutos comercialmente maduros; las variables se midieron sin desprender el fruto de la planta, para el PF se acercó la báscula y para el volumen de agua desplazada por el fruto se sumergía al acercar también la probeta con agua.

Con los datos obtenidos de los frutos comercialmente maduros, se calculó el promedio, la varianza, la desviación estándar, el error estándar y el coeficiente de variación del largo, ancho promedio, volumen, volumen de agua desplazada y el peso fresco; también se calculó la correlación entre cada par de variables, mencionadas anteriormente.

Para generar los modelos matemáticos del crecimiento del fruto se consideró como variable dependiente el peso fresco y como variables independientes: el tiempo de crecimiento del fruto, longitud; ancho promedio, volumen del fruto y volumen de agua desplazada por el fruto. Como el propósito fue evitar los muestreos destructivos de los frutos éstos se etiquetaron para identificarlos, se midieron las variables a lo largo de los muestreos, sin ser desprendidos de la planta.

Se estudiaron los modelos regresión lineal simple (RLS), regresión lineal múltiple (RLM) y los no lineales: exponencial, logístico, Michaelis-Menten y monomolecular. Para la evaluación de los modelos se consideraron: el coeficiente de determinación (r^2) mayor a 0.80, la prueba de bondad de ajuste

(PBA; X^2) con el valor más pequeño de X^2 y el cuadrado medio del error (CME) más pequeño; y además para la regresión lineal múltiple, el coeficiente de colinealidad $C(p)$, existe colinealidad cuando alguno de los coeficientes de correlación simple o múltiple entre algunas de las variables independientes es uno, es decir, cuando algunas variables independientes están correlacionadas entre sí. de acuerdo con lo propuesto por Álvarez y Boche (1999), Espinoza *et al.* (1998), Pérez *et al.* (2004), Hernández-López *et al.* (2004) y Avanza *et al.*, (2004). Para Besley *et al.* (1991) índices de condición entre 5 y 10 están asociados con una colinealidad débil, mientras que índices de condición entre 30 y 100 señalan una colinealidad moderada a fuerte. Para obtener estos parámetros se empleó el paquete estadístico SAS versión 8.0. En los modelos de la regresión lineal múltiple se aplicó el procedimiento de selección de variables con máximo incremento de r^2 (MAXR) y para los no lineales la opción NLIN. En todos los modelos se consideró como la variable dependiente el peso fresco (PF) y como variables independientes el tiempo de crecimiento del fruto, longitud, ancho promedio, volumen de agua desplazada y volumen de fruto.

El segundo muestreo fue del 14 de marzo al 21 de junio del 2005 que en total fueron 101 días del seguimiento del crecimiento de los frutos de la muestra, se utilizó la misma población de plantas con mediciones cada semana; para este periodo las plantas tenían un año de vida y una altura mayor de dos metros; se tomaron 25 frutos de manera aleatoria de 25 plantas en tres estratos: cinco frutos del estrato inferior, doce frutos del estrato medio y ocho frutos del estrato superior, debido a que la mayor producción de frutos se localizaba en el estrato medio. Los modelos y las variables evaluadas fueron los mismos que en 2004.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los promedios de las variables evaluadas en 2004 (Cuadro 1) resultaron mayores a los obtenidos en 2005 ($P \leq 0.05$). En 2004 las plantas fueron un año más jóvenes que en 2005 y la producción estaba concentrada en el estrato inferior, ya que, la altura de las plantas al iniciar la formación de frutos fue en promedio de 80 cm. Pérez *et al.* (2004) encontraron que el híbrido intervarietal Puebla x Zongolica alcanza un primer pico de producción en el estrato inferior entre 154 y 185 días después de la siembra (DDS), y vuelve a elevarse a los 246 DDS concentrándose en los estratos medio y superior, que corresponden al primero y segundo año de muestreo de este estudio, respectivamente.

La variabilidad en 2005 fue mayor a 2004 debido al tamaño de la muestra como lo muestran los coeficientes de variación de las variable longitud, ancho promedio, volumen del fruto, volumen de agua desplazada y el peso fresco del fruto, la producción se concentró en los estratos medio y superior (Cuadro 1). Se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre las medias de los dos periodos de muestreo de acuerdo con la prueba de "t".

Las variables que tuvieron alta asociación ($r \geq 0.90$) con el peso fresco del fruto (Cuadro 1) fueron, el ancho promedio (2005), volumen del fruto (2004 y 2005) y el volumen de agua desplazada (2004 y 2005). Pérez *et al.* (2004) obtuvieron resultados similares en chile manzano entre el volumen y el peso individual de fruto, y consideraron al tamaño del fruto como el componente más importante del rendimiento. Por su parte, Guzmán *et al.* (1996) consideraron que el

crecimiento del fruto del mango (*Mangifera indica* L.) puede determinarse con la técnica convencional basada en el volumen de agua desplazada por el fruto, estimando su crecimiento por medio de una ecuación matemática que involucra las variables que tienen mayor correlación con el peso fresco del fruto y producen mayor precisión en los modelos matemáticos.

CUADRO 1. Estadística descriptiva y matriz de correlación de variables del crecimiento de frutos comercialmente maduros de plantas de chile manzano durante 108 días en 2004 y 101 días en 2005. Chapingo, México.

	LON (cm) ^z		AP (cm)		VOL (ml)		VAD (ml)		PF (g)	
	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005
$\bar{X}$	6.4	5.1	4.8	4.1	150.4	89.0	53.6	34.9	56.4	32.7
$^zS^2$	1.3	1.1	0.2	0.6	1976.0	1843.0	380.4	259.0	169.7	212.8
S	1.2	1.1	0.4	0.8	44.4	43.0	19.5	16.1	13.0	14.6
ES	0.3	0.2	0.1	0.2	13.4	8.6	5.9	3.2	3.9	2.9
C V	18.0	21.0	9.2	18.6	29.5	48.0	36.4	46.0	23.1	44.7
(%)										
"t" y	3.42 *		2.75*		3.91*		3.02*		4.63*	
AP ^x					0.92*	0.92*	0.81*	0.92*	0.82*	0.93*
VOL							0.85*	0.96*	0.91*	0.98*
VAD									0.92*	0.99*

^z S²: varianza, S: desviación estándar, ES: error estándar, C.V.: coeficiente de variación (%). PF: peso fresco de fruto, LON: longitud, AP: ancho promedio, VOL: volumen, VAD: volumen de agua desplazada. ^y t: estadístico de prueba para muestras independientes a una $P \leq 0.05$. * Matriz parcial de correlación ($r \geq 0.90$). * significativo con una $P \leq 0.05$.

Entre las variables que tuvieron alta correlación (Cuadro 1), el AP y PF obtuvieron los valores más altos del coeficiente de determinación ($r^2 \geq 0.87$), para estimar el PF de los frutos usando los modelos regresión lineal simple, exponencial y logístico (Cuadro 2) en 2005.

De la prueba de bondad de ajuste, se obtuvo que la X^2 es mayor con respecto a los modelos obtenidos para estimar el PF mediante VOL y VAD, esto indica menor precisión en la estimación del PF del fruto. Avanza *et al.* (2004), estimaron el crecimiento del fruto del naranjo dulce por medio del diámetro ecuatorial en función del tiempo con el modelo logístico.

Hernández-López *et al.* (2004) reportaron que para estimar el crecimiento de los pinos (*Pinus patula*, var. *longipedunculata*; *P. pseudostrobus* y *P. ayacahuite*) el diámetro es el que da mejor ajuste para las tres especies con el modelo monomolecular. De igual manera, Álvarez y Bosch (1999) encontraron que el crecimiento de los frutos del nectarín tardío (*Prunus persica* L. Batsh cv. Sun Grand) con los dos diámetros ecuatoriales perpendiculares, se estima adecuadamente por el modelo monomolecular; resultados similares obtuvieron Ortega-Farias *et al.* (2002) con el diámetro de las bayas de vid para vino (*Vitis vinifera* cv. Cabernet Sauvignon y Chardonnay).

CUADRO 2. Mejores modelos matemáticos para determinar el peso fresco (PF) de frutos de chile manzano en un sistema de producción intensivo en invernadero durante dos periodos de muestreo (2004 y 2005). Chapingo, México.

VARIABLES	MODELO	zr^2		X^2		CME	
		2004	2005	2004	2005	2004	2005
PF vs AP ^y	RLS ^x	0.78	0.87	289*	250 ^{NS}	91*	29.40 ^{NS}
	EXP	0.79	0.90	350*	240 ^{NS}	85*	0.21 ^{NS}
	LOG	0.77	0.94	440*	142 ^{NS}	315*	0.16 ^{NS}
PF vs VAD	RLS	0.84	0.97	181 ^{NS}	68 ^{NS}	65.00 ^{NS}	6.50 ^{NS}
	MONO	0.81	0.92	112 ^{NS}	66 ^{NS}	0.03 ^{NS}	0.01 ^{NS}
PF vs VOL	RLS	0.83	0.97	132 ^{NS}	82 ^{NS}	71.00 ^{NS}	7.27 ^{NS}
	MONO	0.83	0.93	146 ^{NS}	63 ^{NS}	0.02 ^{NS}	0.01 ^{NS}
RLM	RLM	0.92	0.99	57 ^{NS}	23 ^{NS}	34.00 ^{NS}	2.29 ^{NS}

zr^2 : coeficiente de determinación; Ji cuadrada de la prueba de bondad de ajuste y CME: cuadrado medio del error del modelo. ^yPF: peso fresco (cm), AP: ancho promedio (cm), VAD: volumen de agua desplazada (ml) y VOL: volumen de fruto (cm³). ^xRLS: regresión lineal simple, EXP= exponencial, LOG= logístico y MONO= monomolecular, RLM= regresión lineal múltiple. ^{NS}, * ; no significativo y significativo a una $P \leq 0.05$, respectivamente.

Las variables VAD y VOL como predictores del PF tuvieron alto coeficiente de determinación, menor X^2 y menor CME en 2005 (Cuadro 2), según los modelos regresión lineal simple y monomolecular; de éstos, el monomolecular fue el más

preciso (Cuadro 3). Por otra parte, los modelos de regresión lineal simple y monomolecular para el 2004 el coeficiente de determinación fue más bajo, aunque la X^2 y CME fueron más altos con respecto al 2005 (Cuadros 2 y 3). En cambio, Castro-Brindis *et al.* (2004), encontraron que en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*, Brot) y en pasto ballico (*Lolium perenne* L), el modelo logístico es útil para estimar el crecimiento de estas especies. De igual manera a lo obtenido en 2005 en este estudio, Espinoza *et al.* (1998) concluyen que el modelo de regresión lineal simple estima satisfactoriamente la materia fresca con base en el volumen de los frutos de durazno; así también Pérez *et al.* (2004) utilizaron el volumen del fruto y el volumen de agua desplazada en la RLS estimando adecuadamente el crecimiento de los frutos del chile manzano. Al igual que en éste estudio, Avanza *et al.* (2004) en *Citrus sinensis* var. Valencia Late, encontraron que el modelo monomolecular fue el que mejor estimó el crecimiento de los frutos y en *P. patula* var. longipedunculata y en *P. rudis*, el mejor ajuste para estimar el crecimiento de los árboles fue este mismo modelo de acuerdo Hernández-López, *et al.* (2004).

La estimación de la variable dependiente peso fresco del fruto (PF) con el modelo de regresión lineal múltiple en ambos muestreos tuvo coeficientes de determinación altos ($r^2 \geq 0.90$) y la X^2 y el CME fueron pequeños lo que indica que éste es un buen modelo para estimar el PF (Cuadro 2). En 2004 se estimó el PF por medio de las variables independientes: tiempo de crecimiento del fruto, longitud, volumen de fruto y volumen de agua desplazada por el fruto (Cuadro 3); el índice de colinealidad C(p) fue de 4.67, que muestra que no hay asociación entre estas variables dentro del modelo. En 2005, se estimó la

variable dependiente PF en el modelo de regresión lineal múltiple por medio de las variables independientes: tiempo de crecimiento del fruto, longitud, ancho promedio, volumen de fruto y volumen de agua desplazada por el fruto (Cuadro 3), y el C(p) fue de 6.0 un poco mayor que en el modelo obtenido en 2004, sin embargo, también indica baja asociación entre las variables independientes en el modelo.

El modelo monomolecular fue el que mejor estimó el PF en ambos años de muestreo mediante el VAD, así como en el 2005 por medio de la variable VOL. Los modelos monomoleculares propuestos, permitieron hacer estimaciones precisas del PF, debido a que tuvieron un coeficiente de determinación mayor a 0.90, la prueba de bondad de ajuste mostró el valor de X^2 no significativa y el menor CME. Permitiendo estimar el PF con un modelo sencillo y preciso al usar cualquiera de dos variables no destructivas, el VAD y el VOL.

En 2005 la regresión lineal simple y el monomolecular explicaron adecuadamente el PF mediante el VOL y VAD, para los dos años de muestreo el modelo de regresión lineal múltiple fue el que predijo adecuadamente el PF (Cuadro 3). La diferencia entre los resultados obtenidos se explica porque hubo mayor variabilidad entre las características evaluadas de los frutos en el 2005, además como lo mencionan Pérez *et al.* (2004), los frutos del estrato inferior tienen mayor asimilación de fotosintatos y menor competencia, debido a que hay menor amarre de frutos.

El modelo monomolecular estimó con mayor precisión el PF, ya que tuvo los CMEs más pequeños para las variables independientes VAD y VOL (Cuadro 2). Como lo mencionan Espinoza *et al.* (1998) y, Avanza *et al.* (2004), es

importante que los modelos de estimación sean sencillos, lineales (con variables y regresores lineales) y simples (de una sola variable independiente) y considerando que el tamaño de los frutos son de fundamental importancia para la predicción de los volúmenes de producción.

CUADRO 3. Modelos que mejor estiman el crecimiento del fruto de chile manzano, con el peso fresco como variable respuesta durante dos periodos de muestreo (2004 y 2005). Chapingo, México.

MODELOS PARA ESTIMAR EL PESO FRESCO*		
	2004	2005
RLS		${}^z\text{PF} = 0.1053 + 0.9085\text{VAD}$
		$\text{PF} = 0.961 + 0.354\text{VOL}$
MONO	$\text{PF} = 137.6(1 - e^{-0.00874\text{VAD}})$	$\text{PF} = 1067.5(1 - e^{-0.00087\text{VAD}})$
		$\text{PF} = 248.4(1 - e^{-0.00159\text{VOL}})$
RLM	$\text{PF} = -4.52013 + (0.13243\text{T})$ $+ (1.46977\text{LON}) +$ $(0.09945\text{VOL}) + (0.39396\text{VAD})$	$\text{PF} = -0.22644 + (0.01631\text{T})$ $- (0.7345\text{LON}) + (0.98452\text{AP})$ $+ (0.1781\text{VOL}) + (0.43946\text{VAD})$

${}^z\text{PF}$: peso fresco del fruto (g), VAD: volumen de agua desplazada por el fruto (ml), VOL: volumen de fruto (cm³), T: tiempo de crecimiento del fruto (días), LON: longitud del fruto (cm), AP: ancho promedio (cm), e: base del logaritmo natural, RLS: regresión lineal simple, MONO: monomolecular, RLM: regresión lineal múltiple. *Significativo con $P \leq 0.05$.

CONCLUSIONES

Los modelos matemáticos que mejor describen el crecimiento del fruto de chile manzano, sin realizar muestreos destructivos son: el de regresión lineal simple, el monomolecular y el de regresión lineal múltiple, descartando los modelos exponencial, logístico y Michaelis-Menten. No obstante, el monomolecular utiliza sólo una variable independiente y tiene mayor precisión en la estimación del peso fresco de fruto. En dicho modelo se emplean las variables no destructivas tales como el volumen de agua desplazada en una probeta por el fruto o volumen del fruto.

- ÁLVAREZ, A.; BOCHE, S. 1999. Modelos matemáticos para describir crecimientos doble sigmoideos en frutos de un nectarín tardío (cv. Sun Grand). Universidad Nacional del Comahue. Agro Sur 27(1): 21-28.
- AVANZA, M. M.; GIMÉNEZ, L.; MAZZA, S. M.; RODRÍGUEZ, V. A. 2004. Descripción del crecimiento de frutos de naranjo dulce mediante el uso de modelos no lineales. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Universidad Nacional del Nordeste, Argentina, 4 p.
- BELSLEY, D. A.; KUH, E.; WELSCH, R. E. 1991. Conditioning Diagnostics: Collinearity and Weak Data in Regression. John Wiley & Sons. N. Y., U.S.A. 292 p.
- CADAHIA, L. C.; EYMAR, A. E.; LUCENA, M. J. J.; MONTALVO, L. T.; SEGURA, P. M. L.; ABAD, B. M.; CASTILLA, P. N.; LÓPEZ, V. D.; NOGUERA, M. P. 2000. Fertirrigación. Cultivos Hortícolas y Ornamentales. Ediciones Mundi-Prensa, 2ª edición. Madrid, España. 475 p.
- CALVO, H. R. M.; GONZÁLEZ, A. J. L.; PÉREZ, B. S. 1994. Manual de Modelos no Lineales en los Ámbitos Agronómico, Ganadero y Forestal. Ed. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Madrid, España. 110 p.
- CASTRO-BRINDIS, R.; GALVIS-SPINDOLA, A.; SÁNCHEZ-GARCÍA, P.; PEÑA-LOMELÍ, A.; SANDOVAL-VILLA, M.; ALCANTAR-GONZÁLEZ, G. 2004.

Demanda de nitrógeno en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*, Brot.). Revista Chapingo Serie Horticultura 10(2): 147-152.

ESPINOZA-ESPINOZA, J. R.; ORTIZ-CERECERES, J.; MENDOZA-CASTILLO, MA. DEL C.; VILLASEÑOR-ALVA, J. A.; VILLEGAS-MONTER, A.; PEÑA-VALDIVIA, C.; ALMAGUER-VARGAS, G. 1998. Modelos de regresión para la estimación del peso fresco y seco de ramas de duraznero (*Prunus persica*, L. Batsh.). Revista Chapingo Serie Horticultura 4(2): 125-131.

GRAYBILL, F. A.; H. K. IYER. 1994. Regression Analysis. Concepts and Applications. Ed. Duxbury Press. USA. 695 p.

GUZMÁN, E. C.; ALCALDE B. S.; MOSQUEDA V. R.; MARTÍNEZ G. A. 1996. Ecuación para estimar el volumen y dinámica de crecimiento del fruto de mango cv. Manila. Agronomía Tropical 46(4): 395-412.

HERNÁNDEZ-LÓPEZ, I.; FLORES-LÓPEZ C.; VALENCIA-MANZO, S.; CORNEJO-OVIEDO, E. H. 2004. Crecimiento de tres especies de pino en una plantación establecida en Santiago Comaltepec, Ixtlan, Oaxaca. In: Resultados de Proyectos de Investigación. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. ISBN 968-844-032-9. 7 p.

MONTGOMERY, D. C. 1991. Diseño y Análisis de Experimentos. Ed. Grupo Editorial Iberoamérica. México, 589 p.

ORTEGA-FARIAS, S. O.; LOZANO, P.; MORENO, Y. 2002. Desarrollo de modelos predictivos de fenología y evolución de madurez en vid para vino cv. Cabernet Sauvignon y Chardonnay. Agricultura Técnica 62(1): 27-37

OSTLE, B. 1986. Estadística aplicada. Ed. LIMUSA. México, D. F. 217 p.

de chile manzano. Boletín de divulgación Núm. 1. Programa Nacional de Investigación en Olericultura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 17 p.

PÉREZ, G. M.; GONZÁLEZ, H. V. A.; PEÑA, L. A.; MENDOZA, M. C.; PEÑA, V. C. C.; SAHAGÚN, C. J. 2004. Physiological characterization of manzano hot pepper (*Capsicum pubescens* R y P) landraces. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 129 (1): 88-92.

REBOLLEDO, R. H. H. 1994. SAS en Microcomputadoras. Análisis de experimentos con fines de optimización de insumos agrícolas. Ed. Universidad Autónoma Chapingo Departamento de Suelos. Área de fertilidad. 92 p.

RODRIGUEZ, A. J. 1989. Modelos Matemáticos Aplicados a la Agricultura. Ed. CIDH-CAADES, Serie Libros Técnicos. Texcoco, Estado de México. 84 p.

WESTWOOD, M. N. 1982. Fruticultura de zonas templadas. Ed. Mundi Prensa, Madrid, España. 461 p.

EVALUACIÓN DE SEIS TIPOS DE PODA DE RAMAS EN CHILE MANZANO

(*Capsicum pubescens* R y P)²

RESUMEN

Se evaluaron cinco tipos de poda de ramas en plantas de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) para facilitar el manejo e incrementar el tamaño y la calidad de sus frutos. Con el supuesto de que la poda de estructuras modifica la calidad y rendimiento de frutos debido a que los fotoasimilados son destinados principalmente a éstos. Se utilizaron plantas del híbrido intervarietal Puebla x Zongolica, cultivadas en un sistema de producción intensivo. Se empleó el análisis de varianza con un criterio de clasificación para comparar el efecto de cinco niveles de poda, un testigo con crecimiento libre cada uno de ellos con diez repeticiones. Los tratamientos mostraron diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre las medias de las variables registradas. Frutos con mayor volumen y ancho promedio tuvieron mayor peso

²Rojas-Lara P. C., M. Pérez-Grajales, J. Sahagún-Castellanos, M. T. B. Colinas-León y E. Avitia-García. 2008. Para ser remitido a la Revista Chapingo Serie Horticultura, 06/05/08

fresco y peso seco. El rendimiento y tamaño de fruto fueron mayores en las plantas podadas a ocho bifurcaciones, seguidas por la ausencia de poda y a tres tallos. Estos niveles de poda permitieron controlar el crecimiento excesivo de las plantas con la perspectiva de proponer un incremento de la densidad de plantas lo que permitiría un mejor manejo tanto del cultivo y un incremento de la producción de frutos.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: rendimiento, frutos, volumen, peso fresco

ABSTRACT

In this study, five types of branch pruning in apple pepper plants (*Capsicum pubescens* R y P) were evaluated to identify the best to increase fruit size and quality. Assume that the pruning of stalks will produce the best fruit quality and size due to photoassimilation is mainly for fruits. Intervarietal hybrid "Puebla x Zongolica" plants were used. They were grown in an intensive production system. Analysis of variance was used with five pruning levels, control with free growth and 10 replications. Means of treatments showed statistical differences for all registered variables ($P \leq 0.05$). The association between variables showed that the largest fruits, with highest volume and width showed higher fresh and dry weight. Plants pruned to eight bifurcations produced the highest yield, following the control and the plant pruned to three stalks. In the eight bifurcations and three stalk pruned plants fruit production and size were increased. These pruning types avoided excessive growth, allowed an increase in plant density and management and harvest were easier.

ADDITIONAL KEY WORDS: yield, fruits, volume, fresh weight

En algunos frutales se practican podas de plantación, formación, fructificación, saneamiento, rejuvenecimiento y en verde. La poda es la eliminación de partes de la planta, tales como yemas, brotes desarrollados, raíces y frutos. Sirve para mantener una forma deseable, controlar dirección y cantidad del crecimiento, y disminuir la competencia entre los órganos de la planta, regulando el balance entre el crecimiento reproductivo y vegetativo. La poda influye en el número, y en la calidad de flores y frutos (Almaguer, 1998).

En el caso del jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) con la poda del tallo principal y despunte se obtiene precocidad en la producción, se puede podar a uno o dos tallos para sostén y se remueven los brotes laterales para que se produzca el fruto sobre el tallo principal. También se incrementa la producción por unidad de superficie al aumentar la densidad de plantas. Los frutos maduraron en menor tiempo y si se quitan algunos de ellos se incrementa el tamaño, la uniformidad del color, son más tersos y limpios (Rodríguez *et al.*, 1989; Pérez y Castro, 1999; Bautista y Alvarado, 2005; Velasco y Nieto, 2005). A través de las podas se ha podido manipular los costos de producción, el tiempo de cosecha, el rendimiento total, el peso y tamaño de los frutos de jitomate (Davis y Estes, 1993).

En café (*Coffea arabica* L), la poda permite la sustitución de ramas improductivas por ramas vigorosas altamente productivas, favorece la aireación

y entrada de luz en la plantación, así como la eliminación de partes indeseables y dañadas por plagas y enfermedades (Ramírez, 1994).

La poda en pimiento (*Capsicum annuum*, L) es una práctica que no está muy difundida. Cuando se lleva a cabo puede ser de formación y de regeneración. En la poda de formación se suprimen parcialmente las ramas secundarias, con lo cual se intenta concentrar la producción en dos o tres ramificaciones, favoreciendo la ventilación y la calidad de los frutos. Los despuntes se practican sobre plantas vigorosas, para forzarlas a producir y para adelantar la maduración de los frutos. La poda de regeneración o rejuvenecimiento puede ejecutarse tras la recolección de los frutos de los primeros pisos y cuando el mercado esté saturado. Ésta consiste en eliminar gran parte de la masa vegetativa, únicamente se deja el tallo principal y tres o cuatro ramas secundarias bien orientadas (Nuez *et al.*, 2003).

Las variedades de chile manzano suelen florecer con una o varias flores en la cruz o primera ramificación de la planta. Tales flores dan lugar a frutos voluminosos, y éstos se desarrollan cuando la planta está en desarrollo vegetativo activo, en esta circunstancia la planta se debilita y se retrasa la cosecha del cultivo. Si se aplica poda de yemas terminales y una o dos hojas jóvenes se incrementa el número de ramas laterales y el número de frutos, hay un retraso en el crecimiento de la planta, debido a la utilización de los fotoasimilados por las yemas, ramas y hojas nuevas, pero menos para la raíz. La poda de los brotes y ramas en chile manzano es necesaria para evitar un crecimiento excesivo de la planta e incrementar la calidad del fruto en tamaño y grosor del pericarpio (Pérez y Castro, 1998).

Pérez *et al.* (2004) obtuvieron híbridos intervarietales que incrementan la calidad de los frutos; sin embargo, debido a que las plantas de chile manzano alcanzan una altura mayor a dos metros, se dificulta la cosecha, crece en forma arbustiva con ramificación pseudo-dicotómica, tiene alta variación en el rendimiento y calidad de los frutos, dependiendo de las condiciones del ambiente. Por lo que el objetivo de este estudio fue evaluar seis niveles de poda en los tallos de chile manzano que permitan un adecuado manejo de las plantas e incrementen el tamaño y calidad de los frutos. Bajo el supuesto de que la poda o eliminación del exceso de estructuras vegetativas modifica la calidad y rendimiento para que los fotoasimilados sean destinados principalmente a los frutos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron plantas de chile manzano del híbrido intervarietal Puebla x Zongolica, cultivadas en invernadero en Chapingo, Estado de México. Se empleó el sistema de producción intensivo propuesto por Pérez y Castro (1998), que incluye la fertigación con la solución nutritiva universal de Steiner (Cadahia *et al.*, 2000), reducción del nivel de irradiación a 60 %, temperatura promedio entre 18 y 20 °C, cultivo de las plantas en bolsas de polietileno blanco de 40 x 45 cm con tezontle rojo como sustrato y separación entre plantas de 50 cm y 100 cm entre hileras.

Las semillas se colocaron en vasos de poliestireno del número ocho con una mezcla de 90 % "Peat moss" (turba de pantano) y 10 % agrolita el 3 de agosto de 2005, y el trasplante a las bolsas de polietileno de color blanco se efectuó el 16 de octubre del mismo año. Las plantas se condujeron a uno, dos y tres tallos mediante podas de los brotes laterales conforme aparecían; esto se llevó a cabo de manera semejante a la conducción que se realiza en el cultivo de plantas de jitomate, dejando que las plantas crecieran hasta tres metros de altura. Los despuntes de los tratamientos podados a ocho y diez bifurcaciones se realizaron eliminando las yemas terminales de todos los tallos hasta que llegaron a una altura aproximada de 1.80 m para la poda a ocho bifurcaciones y 2.0 m para el tratamiento a diez bifurcaciones. El guiado o tutorado de las plantas podadas a uno, dos y tres tallos se realizó colocando hileras de alambre galvanizado paralelas por encima y a lo largo de las filas de macetas, sujetadas

de la base de marcos metálicos. Para el testigo y las podas a 10 tallos, las bifurcaciones se utilizaron cuatro tablas, dos de ellas se colocaron en cada extremo de la fila respectiva fijadas con alambre. La rafia se fue colocando lateralmente alrededor de cada una de ellas separadas a 20 cm conforme fueron creciendo las plantas.

Se utilizó el análisis de varianza con diez repeticiones y seis tratamientos: testigo (1), poda a un tallo (2), poda a dos tallos (3), poda a tres tallos (4), poda a 8 bifurcaciones (5) y poda a 10 bifurcaciones (6). La unidad experimental y de muestreo la constituyó una planta de chile manzano.

En total se efectuaron 22 muestreos del 15 de febrero al 9 de octubre de 2006. Las variables evaluadas fueron: número de frutos (NF); longitud del fruto (LON) en cm; el ancho de los hombros del fruto en dos secciones perpendiculares: ancho 1 (A1) y ancho 2 (A2), obteniendo posteriormente el ancho promedio (AP) en cm; volumen del fruto (VOL) producto del largo, ancho uno y ancho 2, en cm^3 ; peso fresco de fruto (PF) en g; peso seco de fruto (PS) en g; número de lóculos (LOC), grosor del pericarpio (PER) y número de semillas (NSE). La longitud, ancho uno, ancho dos y el grosor del pericarpio se midieron con un vernier digital Surtek de 0 a 150 mm. El peso fresco se obtuvo con una báscula digital Ohaus Scout 600 g x 0.1 g. Cada uno de los frutos muestreados se colocó en bolsas de papel del número 0.5, 1 y 2 dependiendo del tamaño del mismo, se llevaron a la estufa de secado hasta que alcanzaron peso constante y se pesaron en una báscula analítica obteniéndose el peso seco (PS), en g. El rendimiento se obtuvo de la suma total del peso fresco de frutos por planta.

Con los datos obtenidos de cada variable se obtuvieron los estadísticos descriptivos: promedio, varianza, desviación estándar, error estándar, el coeficiente de variación y la correlación entre cada par de variables. Se realizaron los análisis de varianza con diez repeticiones para determinar el efecto de cada tratamiento por variable. La comparación de medias se hizo con la prueba de Tukey con un nivel de significancia de 0.05 usando, el paquete estadístico SAS versión 8.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las medias de los diferentes tipos de poda presentaron diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) en todas las variables registradas (Cuadro 1).

CUADRO 1. Análisis de varianza, coeficiente de variación y media de nueve caracteres evaluados en frutos de chile manzano en seis diferentes tipos de poda de tallos durante 353 días después del trasplante (DDT). Chapingo, México, 2006.

FV ^z	GI ^y	LON	AP	VOL	NF	PF	PS	PERI	LOC	SEM
Trat.	5	8.1*	20.5*	29609*	122094*	5900*	73.7*	14.2*	1.4*	4268*
Error	566	0.5	0.3	415	2228	63	0.9	0.7	0.4	385
Total	571	8.6	20.8	30024	124322	5963	74.6	14.9	1.8	4653
CV (%)	-	18.6	20.2	54	76	52	56.0	23.0	23.0	58
Media	20.6	3.9	3.4	48	75	21	2.2	3.9	2.8	35

^zFV: fuente de variación, Trat: tratamiento, CV: coeficiente de variación.

^yGI: grados de libertad, LON: longitud (cm), AP: ancho promedio (cm), VOL: volumen (cm³), NF: número de frutos, PF: peso fresco (g), PS: peso seco (g), PERI: pericarpio (mm), LOC: número de lóculos, SEM: número de semillas.

*Significancia estadística a una $P \leq 0.05$.

La mayor asociación entre las variables se tuvo entre peso fresco, peso seco, ancho promedio, y volumen de los frutos; es decir, frutos con mayor volumen y ancho promedio tuvieron mayor peso fresco y peso seco (Cuadro 2).

Los plantas podadas a uno y a dos tallos, produjeron frutos de mayor tamaño en promedio (Cuadro 3), ya que la longitud (LON), ancho promedio (AP), volumen del fruto (VOL), grosor del pericarpio (PERI), peso fresco (PF) y seco (PS) de los frutos fueron los más altos en todos los tipos de podas.

CUADRO 2. Coeficientes de correlación estadísticamente significativos de caracteres evaluados en frutos de chile manzano bajo seis diferentes tipos de poda de tallos durante 353 días después del trasplante (DDT). Chapingo, México, 2006.

Variable	PF	AP	PS	VOL
PF	1.0	0.95*	0.87*	0.97*
AP		1.0	0.84*	0.96*
PS			1.0	0.84*
VOL				1.0

AP: ancho promedio (cm), VOL: volumen (cm³), PF: peso fresco (g), PS: peso seco (g). *Significancia a una $P \leq 0.05$.

Considerando las variables longitud (LON), ancho promedio (AP) y volumen (VOL) del fruto, las plantas conducidas a tres tallos y las plantas conducidas a ocho bifurcaciones tuvieron un comportamiento similar en cuanto al tamaño del

fruto, el cual fue intermedio con respecto a las plantas podadas a uno y dos tallos. El testigo y las plantas podadas a diez bifurcaciones tuvieron los frutos más pequeños considerando las variables longitud (LON), ancho promedio (AP) y volumen (VOL) del fruto. Razeto y Díaz de Valdés (2001) mencionan que el despunte de brotes en chirimoyo (*Annona cherimola* Mill) disminuye el flujo de asimilados hacia los ápices de crecimiento, permitiendo un mayor uso de ellos por los frutos en desarrollo. Por otro lado, determinan que las hojas de los brotes en crecimiento son polos de atracción de auxinas y giberelinas, más fuertes que las flores y ése sería el motivo del menor crecimiento de los frutos en la inflorescencia indeterminada.

Pérez *et al.* (2004) consiguieron para el híbrido intervarietal Puebla x Zongolica un volumen de fruto de 70 ml, semejante a lo obtenido en las plantas podadas a tres tallos del presente estudio. Sin embargo, ese volumen fue inferior a las plantas podadas a uno y dos tallos, aunque superior al testigo y las plantas podadas a ocho y diez bifurcaciones, respectivamente.

Razeto y Díaz de Valdés (2001) mencionan que en chirimoyo la eliminación de un exceso de brotes y la detención de su crecimiento mediante despunte aumenta el cuajado de frutos y disminuye la competencia con el desarrollo de éstos, teniendo como resultado frutos de mayor tamaño y mayor precocidad.

El grosor del pericarpio del fruto de las plantas podadas a tres tallos presentó valores intermedios, de manera semejante al tratamiento de las plantas despuntadas a diez bifurcaciones, el testigo y las plantas despuntadas a ocho bifurcaciones tuvieron el pericarpio más delgado. Pérez *et al.* (2004) obtuvieron que los frutos del híbrido intervarietal Puebla x Zongolica fue en promedio de

5.2 mm, igual que las plantas podadas a un tallo, siendo el máximo grosor obtenido en este estudio (Cuadro 3).

El número de lóculos fue igual en todos los tratamientos, excepto en el testigo en que fue ligeramente menor ($P \leq 0.05$); de igual manera, Pérez *et al.* (2004) registraron en promedio tres lóculos para el híbrido intervarietal Puebla x Zongolica.

CUADRO 3. Comparación de medias de nueve caracteres evaluados en frutos de plantas de chile manzano en seis diferentes tipos de poda de tallos durante 352 días después del trasplante (DDT). Chapingo, México, 2006.

Tratamiento	LON ^y	AP	VOL	NF	PF	PS	PERI	LOC	SEM
Testigo	3.7c ^z	2.9d	35.4d	89b	15.2d	1.6d	3.6c	2.7a	28.6c
Un tallo	4.4ab	4.3ab	84.3a	9.5c	37.0a	3.9ab	4.4ab	3.1b	51.5a
Dos tallos	4.6a	4.5a	94.3a	15.5c	40.8a	4.3a	5.2a	3.1b	47ab
Tres tallos	4.2ab	3.9b	68.0b	36.5c	29.6b	3.3b	4.3b	2.9b	38.1b
Ocho bif.	3.9b	3.2c	44.3c	104a	18.1c	1.8cd	3.8c	2.8b	39.2b
Diez bif.	3.7c	3.3c	43.2c	34.5c	19.2c	2.2c	4.1b	2.7b	27.3c

^zLON: longitud (cm), AP: ancho promedio (cm), VOL: volumen (cm³), NF: número de frutos, PF: peso fresco (g), PS: peso seco (g), PERI: pericarpio (mm), LOC: número de lóculos, SEM: número de semillas, bif.: bifurcaciones.

^yMedias con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey $P \leq 0.05$.

El número de semillas fue superior en las plantas podadas a uno y dos tallos. Las plantas podadas a tres tallos y las podadas a ocho bifurcaciones tuvieron un número intermedio entre ellas. El testigo y las plantas podadas a diez bifurcaciones tuvieron el menor número de semillas (Cuadro 3). Pérez *et al.* (2004) mencionan que el número de semillas promedio para el híbrido intervarietal Puebla x Zongolica fue de 70 por fruto, número superior a lo registrado en este trabajo.

El número de frutos fue mayor en las plantas podadas a ocho bifurcaciones, le siguieron el testigo y las plantas podadas a uno, dos, tres tallos y las plantas podadas a diez bifurcaciones que tuvieron en promedio el mismo número de frutos.

Pérez *et al.* (2004) obtuvieron 52 frutos por planta en el híbrido intervarietal Puebla x Zongolica, número inferior a lo obtenido en el testigo y las plantas podadas a ocho bifurcaciones; sin embargo, superior a las plantas podadas a uno, dos, tres tallos y las plantas podadas a diez bifurcaciones (Cuadro 3). Martínez-Solís *et al.* (2005) obtuvieron en jitomate un híbrido tipo Saladete de crecimiento indeterminado con 46.6 frutos totales por planta, por debajo de lo obtenido en el testigo y las plantas podadas a ocho bifurcaciones y por arriba de las plantas podadas a diez bifurcaciones y a uno, dos y tres tallos.

Aunque las plantas podadas a uno y dos tallos tuvieron los frutos más grandes, su número fue inferior con respecto al testigo, a las plantas podadas a tres tallos, así como a las podadas a ocho y diez bifurcaciones. Las plantas podadas a ocho y diez bifurcaciones presentaron el menor peso fresco y peso seco promedio de fruto.

Se apreció una mayor precocidad en la producción en las plantas podadas a un tallo, dos tallos y tres tallos, fue a los 165 días después del transplante. La mayor producción de frutos de las plantas podadas a ocho y diez bifurcaciones fue a los 165 días después del transplante para el primer caso y 193 días después del transplante para el segundo.

El rendimiento de fruto fue mayor en las plantas podadas a ocho bifurcaciones ($3744 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$), le siguieron el testigo ($2693 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$), poda a tres tallos ($2134 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$), poda a diez bifurcaciones ($1302 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$), poda a dos tallos ($1223 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$) y finalmente poda a un tallo ($666 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$). Pérez *et al.* (2004) mencionan que el híbrido intervarietal Puebla x Zongolica tiene un rendimiento de fruto de $2687 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$. Las plantas podadas a ocho bifurcaciones presentaron mayor rendimiento y las plantas podadas a uno y dos tallos estuvieron por debajo de ese rendimiento.

El rendimiento acumulado de pimiento (*Capsicum annuum* L) en invernadero, reportado por Zúñiga-Estrada *et al.* (2004), fue de 2000 g y 4000 g por planta el primero está por debajo del testigo ($2693 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$) y las plantas podadas a ocho bifurcaciones ($3744 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$), así como en las podadas a tres tallos ($2134 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$). Sin embargo, el segundo tipo está por arriba de todos los rendimientos reportados en este trabajo.

En Chile 'Habanero' (*Capsicum chinense* Jacq), Ramírez-Luna *et al.* (2005) obtuvieron rendimientos de fruto fresco de $1174.3 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$ en campo y $1126.2 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$ en invernadero, semejante a los tratamientos podados a 10 bifurcaciones ($1302 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$) y a dos tallos ($1223 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$).

1050 g planta⁻¹ de fruto verdura, semejante al tratamiento podado a dos tallos (1223 g·planta⁻¹) y mencionan que el primer fruto formado ejerce un fuerte dominio sobre los demás, atribuible a una mayor capacidad de demanda de fotoasimilados, que induce el aborto de los otros frutos de la planta.

Martínez-Solís *et al.* (2005) obtuvieron en jitomate híbrido tipo Saladete de crecimiento indeterminado, cultivado a seis racimos, 1791 g como producción de fruto por planta comprendido entre el rendimiento de las plantas podadas a diez bifurcaciones (1302 g·planta⁻¹) y las plantas podadas a tres tallos (2134 g·planta⁻¹).; es decir, de nivel intermedio entre los tratamientos. Mencionan que la diversidad de *Lycopersicon esculentum* Mill se ha reducido como respuesta a su domesticación y a los años de mejoramiento genético aplicado, aunado a que es una especie autógama, lo que también influye en su poca variabilidad. Méndez-Galicia *et al.* (2005) obtuvieron en la misma especie, conducida a un tallo y tres racimos en el testigo comercial rendimientos de 1857 g por planta, semejante a las plantas podadas a tres tallos (2134 g·planta⁻¹). En cambio, Razeto y Díaz de Valdés (2001) mostraron que el despunte de brotes a diez yemas en chirimoyo, tuvo el más alto nivel de producción.

Según Méndez-Galicia *et al.* (2005), “la necesidad de incrementar la producción agrícola en México conduce a considerar como opción tecnológica el uso de sistemas de producción intensiva e innovar paquetes tecnológicos de producción”. En el caso del chile manzano un paquete tecnológico puede montarse en un sistema intensivo, poda de las plantas a ocho o diez bifurcaciones o eliminación de brotes laterales para dejar uno, dos o tres tallos,

permitiendo establecer densidades de población semejantes a lo propuesto por Méndez-Galicia *et al.* (2005), para el jitomate de 8, 12 y 18 plantas por metro cuadrado de invernadero.

CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en la presente investigación se propone la poda de las plantas de chile manzano ya sea a ocho bifurcaciones o podas a tres tallos para incrementar la producción y el tamaño del fruto; además permite controlar efectivamente el crecimiento excesivo de las plantas, incrementar la densidad de plantas por metro cuadrado, un mejor manejo del cultivo y facilita la cosecha de los frutos.

- ALMAGUER, V. G. 1998. Principios de Fruticultura: Fruticultura General. Serie Textos Agronómicos. Mundi-Prensa. Universidad Autónoma Chapingo. D. F., México. 370 p.
- BAUTISTA, M. N.; ALVARADO, L. J. 2005. Producción de Jitomate en Invernadero. Edita Colegio de Postgraduados 1ª edición. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 265 p.
- CADAHIA, L. C.; EYMAR, A. E.; LUCENA, M. J. J.; MONTALVO, L. T.; SEGURA, P. M. L.; ABAD, B. M.; CASTILLA, P. N.; LÓPEZ, V. D.; NOGUERA, M. P. 2000. Fertirrigación. Cultivos Hortícolas y Ornamentales. Ediciones Mundi-Prensa, 2ª edición. Madrid, España. 475 p.
- DAVIS, J. M. ; ESTES, E. A. 1993. Spacing and pruning effect growth, and yield economic returns of staked freshmarket tomatoes. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 118 (6): 719-725.
- MARTÍNEZ-SOLÍS, J.; PEÑA-LOMELÍ, A.; RODRÍGUEZ-PÉREZ, J. E.; VILLANUEVA-VERDUZCO, C.; SAHAGÚN-CASTELLANOS, J.; PEÑA-ORTEGA, M. G. 2005. Comportamiento productivo en híbridos de jitomate y sus respectivas poblaciones F₂. Revista Chapingo Serie Horticultura 11(2): 299-308.
- MÉNDEZ-GALICIA, T.; SÁNCHEZ-DEL CASTILLO, F.; SAHAGÚN-CASTELLANOS, J.; CONTRERAS-MAGAÑA, E. 2005. Doseles escaleriformes con hileras de plantas de jitomate orientadas en dirección este-oeste. Revista Chapingo Serie Horticultura 11(1): 185-192.

- NUEZ, F.; GIL O. R.; COSTA, J. 2003. El Cultivo de Pimientos, Chiles y Ajíes. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 607 p.
- PÉREZ, G. M.; CASTRO, B. R., 1998. Guía para la Producción Intensiva de Chile Manzano. Boletín de Divulgación No. 1. Programa Nacional de Investigación en Olericultura (PRONAICO), Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 18 p.
- PÉREZ, G. M.; CASTRO, B. R., 1999. Guía para la Producción Intensiva de Jitomate en Invernadero. Boletín de Divulgación No. 3. Programa Nacional de Investigación en Olericultura (PRONAICO), Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 58 p.
- PÉREZ, G. M.; GONZÁLEZ, H. V. A.; PEÑA, L. A.; MENDOZA, C. M. C.; PEÑA, V. C.; SAHAGÚN, C. J. 2004. Physiological characterization of manzano hot pepper (*Capsicum pubescens* R y P) landraces. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 129 (1): 88-92.
- RAMÍREZ, J. E. 1994. Sistemas y edades de inicio de la poda de cafetos (*Coffea arabica* L.) cv. Catuaí. Agronomía Costarricense 18(1): 61-65.
- RAMÍREZ-LUNA, E.; CASTILLO-AGUILAR C. DE LA C.; ACEVEZ-NAVARRO, E.; CARILLO-ÁVILA, E. 2005. Efecto de productos con reguladores de crecimiento sobre la floración y amarre de fruto en chile 'Habanero'. Revista Chapingo Serie Horticultura 11(1): 93-98.
- RAZETO, M. B.; DÍAZ DE VALDÉS E. 2001. Efectos de la poda de verano y el anillado de corteza en chirimoyo (*Annona cherimola* Mill) var. Concha lisa. Agricultura Técnica 61(2): 215-220.

- REBOLLEDO, R. H. H. 1994. SAS en Microcomputadoras. Análisis de Experimentos Con Fines De Optimización De Insumos Agrícolas. Ed. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos. Área de fertilidad. 92 p.
- RODRÍGUEZ, R. R.; TABARES, R. J. M.; MEDINA, S. J. J. A. 1989. Cultivo Moderno del Tomate. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 206 p.
- SEDANO-CASTRO, G.; GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, V. A.; ENGLEMAN, E. M.; VILLANUEVA-VERDUZCO, C. 2005. Dinámica del crecimiento y eficiencia fisiológica de la planta de calabacita. Revista Chapingo Serie Horticultura 11(2): 291-298.
- VELASCO, H. E.; NIETO, Á. R. 2005. Cultivo de Jitomate en Hidroponía en Invernadero. Publicación especial no. 62 Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 63 p.
- ZÚÑIGA-ESTRADA, L.; MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, J. de J.; BACA-CASTILLO, G. A.; MARTÍNEZ-GARZA, Á.; TIRADO-TORRES, J. L.; KOHASHI-SHIBATA, J. 2004. Producción de chile pimienta en dos sistemas de riego bajo condiciones hidropónicas. Agrociencia 38(2): 207-218.

FOTOSÍNTESIS DE CHILE MANZANO (*Capsicum pubescens* R y P) EN SEIS TIPOS DE PODA DE RAMAS³

RESUMEN

El incremento del rendimiento está ligado a cambios en la fijación fotosintética de bióxido de carbono. Se evaluó el efecto de seis tipos de podas de ramas sobre la fotosíntesis de las plantas de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) con la hipótesis que la eficiencia fotosintética es modificada por la remoción de estructura de la planta. Se utilizaron plantas del híbrido intervarietal Puebla x Zongolica bajo el sistema de producción intensiva en invernadero con seis tratamientos y 10 repeticiones. En total se efectuaron 6 muestreos de agosto a diciembre de 2006, la unidad de muestreo consistió de tres plantas por tratamiento. Se tuvieron diferencias significativas entre efectos de tratamientos en todas las variables evaluadas ($P \leq 0.05$), se utilizó la prueba de comparación de medias de Tukey. La conductividad estomática, la humedad

³Rojas-Lara P. C., M. Pérez-Grajales, J. Sahagún-Castellanos, M. T. B. Colinas-León y E. Avitia-García. 2008. Para ser remitido a la Revista Chapingo Serie Horticultura, 06/05/08

relativa, el flujo fotónico y la tasa fotosintética fueron mayores en las hojas de las plantas podadas a uno, dos y tres tallos. Las hojas de plantas podadas a ocho y diez bifurcaciones tuvieron la temperatura más alta y junto con el testigo presentaron los niveles más altos de CO_2 . Las plantas podadas a uno, dos y tres tallos mostraron la mejor eficiencia fotosintética, mientras que las plantas podadas a ocho bifurcaciones tuvieron un nivel intermedio.

PALABRAS CLAVE: fotosíntesis, tasa fotosintética, flujo fotónico fotosintético.

ABSTRACT

The yield increase of crop species is related to changes in the carbon dioxide. The effects of six types pruning of branches of apple pepper (*Capsicum pubescens* R y P) plants on their photosynthesis were evaluated. The assumption was that the efficient photosynthesis is modified to remove structure of plant. Intervarietal hybrid "Puebla x Zongolica" plants were grown in an intensive production system. The experiment was done in an analysis of variance with six levels of pruning and 10 replications. Six samples were made during August to December 2006 the sample unit was three plants per treatment. Statistical differences ($P \leq 0.05$) between treatment means for all registered variables were found, and mean comparisons (Tukey) were performed. Stomatal conductivity, relative humidity, photon flow, net photosynthesis was larger in the leaves of plants pruned with one, two and three stalks. The eight and ten bifurcation pruned plants showed the highest temperature and alongside the control showed the highest levels of CO₂. Plants pruned with one, two and three stalks showed the best photosynthetic efficiency, while the plants pruned with eight bifurcations showed intermediate level.

ADDITIONAL KEY WORDS: photosynthesis, net photosynthesis, photosynthetic photon flow

INTRODUCCIÓN

Gifford *et al.* (1984) mencionan que el incremento del rendimiento está ligado a cambios en la fijación de bióxido de carbono por unidad de área foliar del cultivo y a la distribución de los fotosintatos entre los órganos de interés antropocéntrico.

La capacidad fotosintética foliar es la tasa fotosintética por unidad de área foliar cuando la irradiación está en un punto de saturación de dicha tasa, las concentraciones de CO₂ y O₂ son normales, la temperatura es óptima y la humedad relativa es elevada. Los productos de asimilación metabólica, incluyendo los de la fotosíntesis (fotosintatos), son necesarios para el crecimiento de las partes vegetales incapaces de fotosintetizar, e incluso para algunas partes que fotosintetizan muy poco como es el caso de algunos tallos y frutos. Típicamente, las hojas con su capacidad fotosintética, constituyen la fuente u origen del material que se transporta, aunque un órgano de almacenamiento y exportación también puede ser una fuente. Cualquier tejido en crecimiento, de almacenamiento o con metabolismo activo puede ser un vertedero (demanda) o destino de la savia (Salisbury y Ross, 1994).

Milthorpe y Moorby (1978, citado por Pérez *et al.*, 2004) mencionan que la mayor parte de los fotosintatos que recibe la demanda provienen de las hojas cercanas. Por su parte, Gifford y Evans (1981) consideran que el suministro de carbono a los frutos por parte de la fuente se incrementa cuando existe una mayor actividad en los frutos, éstos ejercen un control sobre la distribución de

carbono, de manera que el suministro a partir de la fuente se incrementa cuando existe una mayor actividad en los órganos de la demanda.

Según Mendoza-Castillo *et al.* (2000) la fuerza de demanda de la fuente se podría limitar por una deficiencia en el transporte de fotosintatos o a un tamaño insuficiente de la demanda más que a una falta de capacidad de la fuente.

Algunas hojas pueden ser fuente para ciertos órganos. En el caso del jitomate, cinco de sus hojas producen fotosintatos y sirven principalmente para nutrir a la raíz, y nueve de sus hojas producen fotosintatos que son destinados a la primera inflorescencia (Picket *et al.*, 1986).

En jitomate, el destino de los fotosintatos de una hoja y la fuente de suministro para un órgano en crecimiento cambia durante el crecimiento de la planta. El aporte y demanda de los fotosintatos son determinados por procesos fisiológicos en la fuente (es decir, la fotosíntesis en las hojas) y la demanda (es decir, la utilización de los fotosintatos en los frutos). Los cambios en estos procesos, debido a los factores ambientales, pueden afectar la división de los fotosintatos en la planta (Ho y Hewitt, 1986).

Salisbury y Ross (1994) mencionan que la máxima fijación de CO₂ se presenta hacia el medio día, cuando la irradiación está en su punto más elevado, ésta limita la fotosíntesis, lo que se refleja en la disminución en las tasas de fijación de CO₂ cuando las plantas se exponen a sombra de corta duración. Longitudes de onda entre 400 y 700 nm inducen la fotosíntesis, cuando se expresa en unidades de energía, esta irradiación se conoce como radiación fotosintéticamente activa, RFA (PAR, por sus siglas en inglés). Bajo un cielo despejado, la RFA tiene un valor de 400 a 500 W·m⁻², la cantidad efectiva de luz

en la fotosíntesis se conoce como flujo fotónico fotosintético (FFF). Sus unidades son moles de cuantos (fotones) por metro cuadrado por segundo. La luz solar se encuentra en el intervalo micromolar; en un día despejado de verano va de 2000 a 2300 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Una cantidad entre el 80 y el 90 % del flujo fotónico fotosintético es absorbida por una hoja representativa del dosel, aunque este valor varía de manera considerable con la edad y estructura de la hoja.

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de diferentes tipos de podas de ramas del chile manzano sobre la fotosíntesis de las plantas. Se pretende identificar el tratamiento que genera mayor eficiencia fotosintética con la hipótesis de que será aquel que con menor cantidad de hojas capte el máximo de luz solar aprovechable.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron plantas del híbrido intervarietal Puebla x Zongolica cultivadas en invernadero en Chapingo, Estado de México. Se usó el sistema de producción intensivo propuesto por Pérez y Castro (1998) que incluye la fertigación con la solución nutritiva universal de Steiner (Cadahia, *et al.*, 2000), reducción del nivel de irradiación a un 60 %, temperatura promedio entre 18 y 20 °C, cultivo de las plantas en bolsas de polietileno blanco de 40 x 45 cm con tezontle rojo como sustrato y separación entre plantas de 50 cm y 100 cm entre hileras.

Las semillas se sembraron el tres de agosto de 2005 y el trasplante se efectuó el 16 de octubre del mismo año. Las plantas se condujeron a uno, dos y tres tallos mediante podas de los brotes laterales conforme aparecían. Esto se llevó a cabo de manera semejante a la conducción que se realiza en el cultivo de plantas de jitomate, dejando que las plantas crecieran hasta tres metros de altura. En los despuntes correspondientes a las podas a ocho y diez bifurcaciones se eliminaron las yemas terminales de todos los tallos hasta que llegaron a una altura aproximada de 1.80 m para la poda a ocho bifurcaciones y de 2.0 m para la poda a diez bifurcaciones.

Se utilizó un análisis de varianza con seis tratamientos y diez repeticiones: testigo con crecimiento libre (1), poda a un tallo (2), poda a dos tallos (3), poda a tres tallos (4), poda a 8 bifurcaciones (5) y poda a diez bifurcaciones (6). La unidad experimental la constituyó una planta de chile manzano.

Se midió la tasa fotosintética de cada tratamiento, así como la concentración de CO₂, durante la mañana (10:00 – 12:00 A. M.), se utilizó un aparato portátil de fotosíntesis LI-6200 (LI-COR Inc. Lincoln, Nebraska, U.S.A.), equipado con una cámara de asimilación de medio litro. La unidad de muestreo la constituyeron tres plantas por tratamiento. En total se efectuaron seis muestreos uno cada tres semanas, el primero se efectuó a los 377 días después de la siembra y el último a los 483 días después de la siembra.

Las variables evaluadas fueron: flujo fotónico fotosintético ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), temperatura de la hoja ($^{\circ}\text{C}$), concentración de CO₂ ($\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$), humedad relativa (%), tasa fotosintética neta ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), conductancia estomática ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), concentración de CO₂ intercelular ($\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) y resistencia estomática ($\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$).

Se calcularon la media y el coeficiente de variación de las variables temperatura de la hoja (TLF), humedad relativa (HR), conductancia estomática (CND), resistencia estomática (RS), concentración intracelular de bióxido de carbono (CINT), concentración de bióxido de carbono (CO₂), flujo fotónico fotosintético (QNTM) y fotosíntesis neta (PHT), se realizaron los análisis de varianza para un diseño completamente al azar con tres repeticiones y la comparación de medias se hizo con la prueba de Tukey con un nivel de significancia de 0.05 usando el paquete estadístico SAS versión 8.0.

Se detectaron diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre las medias de los tratamientos de todas las variables evaluadas (Cuadro 1). Las variables con menor coeficiente de variación fueron la temperatura de las hojas, la concentración de bióxido de carbono y la concentración de CO_2 intercelular.

La temperatura más alta de la hoja se obtuvo en las plantas podadas a diez bifurcaciones, le siguieron las hojas de las plantas podadas a ocho bifurcaciones, las podadas a tres y a dos tallos. Las plantas testigo y las plantas podadas a un tallo tuvieron temperaturas de las hojas más bajas (Cuadro 2). Al respecto, Ramírez-Hernández y Pimienta-Barrios (2003) encontraron que en *Spondias purpurea* L (Anacardiaceae) las altas temperaturas causaron inhibición de la fotosíntesis y cierre de los estomas. En el caso de las diferentes podas del chile manzano las temperaturas más altas de la hoja tuvieron un efecto benéfico para la fotosíntesis, como es el caso de los tratamientos de las plantas podadas a dos tallos y a tres tallos.

Osmond *et al.* (1980) mencionan que la fotosíntesis depende de la temperatura, de la irradiación y del nivel de CO_2 intercelular. Los cambios de temperatura influyen en la tasa de asimilación de CO_2 , los efectos de los cambios de temperatura sobre la tasa de asimilación de CO_2 son reversibles en intervalos de 10 a 35° C, pero plantas expuestas a valores de temperatura inferiores o superiores pueden perjudicar irreversiblemente su aparato fotosintético.

CUADRO 1. Análisis de varianza, coeficiente de variación y medias de ocho caracteres fisiológicos evaluados en seis tipos de poda en plantas de chile manzano durante seis muestreos realizados de agosto a diciembre de 2006. Chapingo, México.

FV ^z	GI ^x	TLF	HR	CND	RS	CINT	CO ₂	QNTM	PHT
Trat.	5	28.2*	1062*	0.6*	5.2*	2873*	3215*	114614*	574*
Error	140	3.1	114	0.1	0.9	1249	655	16202	26
Total	145	31.3	1176	0.7	6.1	4122	3870	230816	600
CV		7.4	35	53.0	100	11	7	65	64
(%)									
Media		27.0	35	0.6	1.1	341	388	214	11

^zFV: fuente de variación, Trat: tratamiento, CV: coeficiente de variación.

^xGL: grados de libertad, QNTM: flujo fotónico fotosintético ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), TLF: temperatura de la hoja ($^{\circ}\text{C}$), CO₂: concentración de bióxido de carbono ($\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$), HR: humedad relativa (%), PHT: fotosíntesis neta ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), CND: conductancia estomática ($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), CINT: concentración intercelular de CO₂ ($\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$), RS: resistencia estomática ($\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$). * Significativo a una $P \leq 0.05$.

Las plantas en este experimento estuvieron dentro de ese intervalo, las plantas testigo fueron las que tuvieron el mayor nivel de CO₂ intercelular, las medias de los demás tratamientos no fueron estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$).

La humedad relativa y conductancia estomática en las hojas de las plantas podadas a uno, dos y tres tallos fueron mayores, con respecto a la que se presentó en las hojas del testigo y las plantas podadas a ocho y diez bifurcaciones (Cuadro 2).

CUADRO 2. Comparación de medias de cinco caracteres fisiológicos evaluados en seis tipos de poda en plantas de chile manzano durante seis muestreos realizados de agosto a diciembre de 2006. Chapingo, México.

Trat ^z	^y TLF	CINT	HR	CND	RS
Testigo	^x 25.5 d	358.5 a	25.2 b	0.38 b	1.9 a
Un tallo	25.7 d	333.7 b	39.9 a	0.71 a	0.8 bc
dos tallos	26.5 cd	331.7 b	41.1 a	0.77 a	0.6 c
tres tallos	27.2 bc	330.9 b	39.5 a	0.71 a	0.7 c
ocho	27.7 ab	347.9 ab	31.0 b	0.52 b	1.1 bc
bifurcaciones					
diez	28.2 a	344.0 ab	29.3 b	0.46 b	1.3 ab
bifurcaciones					

^z Trat: tratamiento.

^y TLF: temperatura de la hoja (°C), HR: humedad relativa (%), CND: conductancia estomática ($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), RS: resistencia estomática ($\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$).

^x Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P\leq 0.05$.

En el chayote (*Sechium edule* (Jacq) Swartz), Cadena-Iñíguez *et al.* (2001) mencionan que el control estomático es visto como la resistencia a la difusión de vapor de agua y CO₂ entre la hoja y el ambiente, y por consiguiente afecta la concentración de CO₂ en los espacios intercelulares de las hojas. En plantas C₃ en condiciones normales, la tasa fotosintética es dependiente de la concentración de CO₂ que hay en esos espacios intercelulares. Esta dependencia puede ser relativamente pequeña a bajas temperaturas, pero se puede incrementar si la temperatura aumenta. Los estomas tienden a abrir cuando hay incrementos en la temperatura y cierran cuando ésta es muy alta. Existe una apertura máxima cuando la temperatura es intermedia, aunque la respuesta observada depende de la especie que se esté estudiando. La conductancia estomática muestra que los estomas son extremadamente sensibles a los cambios de temperatura de la hoja y que actúan como sensores que operan el inicio de los mecanismos de defensa de *Sechium edule*. En el chile manzano se encontró que los tratamientos con temperaturas intermedias tuvieron humedades relativas altas y conductividad estomática intermedia, el nivel de CO₂ intercelular a su vez tuvo un comportamiento también intermedio. Éste fue el caso de las plantas podadas a uno, dos y tres tallos.

Otero-Sánchez *et al.* (2005) observaron que en ilama (*Annona diversifolia* Saff) la conductancia estomática tiene reducciones del 41 a 78 %, afectada también por la temperatura y el PAR (radiación fotosintéticamente activa) que fluctuó entre 737 a 910 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. La tasa de asimilación de CO₂ fue afectada negativamente por la temperatura de la hoja. El movimiento estomático regula la absorción de CO₂, y la humedad, la concentración de CO₂, la luz y la

temperatura son los principales factores que intervienen en la apertura y cierre de estomas. La conductancia estomática presentó una reducción significativa a medida que se incrementó la temperatura de la hoja, indicativa de la marcada sensibilidad de estomas de *ilama* al incremento de la temperatura y sobre todo de la radiación solar. El chile manzano respondió favorablemente a la conductancia estomática, cuando la temperatura fue la más alta, así como el flujo fotónico fotosintético, aunque el nivel de CO₂ fue menor en los tratamientos con respecto al testigo.

La resistencia estomática tuvo un comportamiento inverso a la respuesta de la conductividad estomática; es decir, fue mayor en las hojas de las plantas testigo y de las plantas podadas a diez bifurcaciones y menor en los demás tratamientos (Cuadro 2).

Ramírez-Hernández y Pimienta-Barrios (2003) encontraron que en *Spondias purpurea* L (Anacardiaceae) el nivel del flujo de fotones fotosintéticos en el dosel se encuentra entre 10 a 700 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$; en los tratamientos de poda de ramas del chile manzano también se obtuvo este intervalo. En este estudio en chile manzano, las podas a uno, dos y tres tallos produjeron los mayores niveles de captación de fotones, y las podas a ocho y diez bifurcaciones y el testigo produjeron la menor captación de fotones (Cuadro 3), todas dentro del intervalo mencionado por Ramírez-Hernández y Pimienta-Barrios (2003).

Las hojas de las plantas testigo tuvieron mayor concentración de CO₂, le siguieron las hojas de las plantas podadas a ocho y a diez bifurcaciones. El menor nivel de CO₂ lo tuvieron las hojas de las plantas podadas a uno, dos y tres tallos. Salisbury y Ross (1994) mencionan que a concentraciones altas de

CO₂, los niveles de irradiación elevados también incrementan la fotosíntesis más que las concentraciones bajas de CO₂, y que para saturar la fotosíntesis se requiere una concentración de CO₂ superior con niveles de irradiación elevados que con niveles bajos. Sin embargo, en el caso de las plantas de chile manzano con mayor concentración de CO₂ y bajo flujo fotónico fotosintético tuvieron menor tasa fotosintética. En cambio, las plantas con mayor flujo fotónico fotosintético, y baja concentración de CO₂ fueron más eficientes con una tasa fotosintética mayor (Cuadro 3).

CUADRO 3. Comparación de medias del efecto de seis tipos de poda en cuatro caracteres fisiológicos evaluados en plantas de chile manzano durante seis muestreos realizados de agosto a diciembre de 2006. Chapingo, México.

Nivel de poda ^z	QTNM ^y	CO ₂	PHT	CS
Crecimiento libre	^x 117.8 d	408.4 a	4.89 c	1.0 b
Un tallo	228.9 bc	381.4 bc	14.2 a	1.8 a
Dos tallos	307.9 a	383.3 bc	15.8 a	1.9 a
Tres tallos	272.3 ab	375.5 c	14.4 a	1.8 a
Ocho bifurcaciones	172.2 cd	394.5 ab	7.9 b	1.3 b
Diez bifurcaciones	180.1 cd	389.1 bc	5.6 bc	1.2 b

^z tratamiento.

^y QNTM: flujo fotónico fotosintético ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), PHT: tasa fotosintética neta ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), CO₂: concentración de bióxido de carbono ($\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$), CS: conductancia estomática (cm s^{-1}).

^x Valores con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

Las hojas de las plantas podadas a uno, dos y tres tallos tuvieron mayor tasa fotosintética (Cuadro 3). Según Pérez *et al.* (2004) la tasa fotosintética más alta fue para las variedades Zongolica y Chiapas de 7.76 y 7.25 $\mu\text{moles de CO}_2 \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, respectivamente, a cuatro meses después de la siembra, semejante a las plantas podadas a ocho bifurcaciones en este estudio.

Las plantas testigo y las podadas a diez bifurcaciones presentaron valores mayores a los registrados en el estrato inferior del estudio de Pérez *et al.* (2004), quienes obtuvieron valores de fotosíntesis neta, para las variedades Huatusco II y Chiapas, de 3.8 y 0.6 $\mu\text{moles de CO}_2 \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ y de 6.52 $\mu\text{moles de CO}_2 \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ en el estrato intermedio, semejante a las plantas podadas a ocho y diez bifurcaciones y de 21.87 $\mu\text{moles de CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ en el superior. Este valor está por arriba de lo obtenido en las plantas podadas a uno, dos y tres tallos. Las variedades Zongolica y Huatusco I tuvieron las máximas tasas de fotosíntesis global: 27.13 y 31.11, respectivamente, en los estratos medio y superior. De igual manera, éstas son tasas fotosintéticas que estuvieron por arriba de todos los tratamientos llevados a cabo en este estudio.

En el caso del híbrido intervarietal Puebla x Zongolica, Pérez *et al.* (2004) obtuvieron una tasa fotosintética de 4.72, estadísticamente inferior a la de sus progenitores: 8.46 y 11.25 para Zongolica y Puebla, respectivamente, con una radiación de 500 $\mu\text{mol de fotones m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ en el estrato superior. De los

tratamientos ensayados en este trabajo el que obtuvo una tasa fotosintética similar fue el testigo y las plantas podadas a diez bifurcaciones.

Los demás tratamientos estuvieron por arriba de esa tasa fotosintética, aún con un nivel de flujo fotónico inferior, lo que confirma lo mencionado por Pérez *et al.* (2004), en el sentido de que el aporte fotosintético de la planta podría mejorarse mediante la poda de las ramas superiores para conseguir mayor incidencia de radiación y producir mayor calidad de frutos.

Según Salisbury y Ross (1994), la tasa fotosintética máxima (CO_2 fijado) en las plantas C_3 cultivadas y hierbas de zonas templadas como *Glycine max* (soya) es de 10 a 20 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ y de árboles y arbustos deciduos de zonas templadas como *Fagus sylvatica* (haya Europea) es de 3 a 12 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, la máxima fijación de CO_2 se presenta hacia el medio día, cuando la irradiación está en su punto más elevado.

Estos niveles de tasa fotosintética son similares en chile manzano, ya que independientemente de los tratamientos, los valores oscilaron entre 4.89 y 15.8 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. En cambio, especies como *Tidestromia oblongifolia*, una especie típica C_4 , nativa de hábitats soleados y de plantas cultivadas como maíz (*Zea mays* L), sorgo (*Sorghum spp* L) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L), sus hojas no muestran saturación a la luz solar plena, y pueden tener tasas máximas de más del doble con respecto a la mayoría de especies C_3 ; presentan tasas tan elevadas como 40 a 50 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ en la fijación de CO_2 , valores muy por arriba de los obtenidos para el chile manzano en este estudio.

CONCLUSIONES

Las plantas podadas a uno, dos y tres tallos tuvieron mayor eficiencia para realizar la fotosíntesis, gracias al manejo de niveles intermedios de CO_2 (375 a $383 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) favorecida por los mayores niveles de conductividad estomática (0.71 a $0.77 \text{ moles}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), la humedad relativa (39.5 a 41.1 %), el flujo fotónico fotosintético (228.9 a $307.9 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) y la temperatura de las hojas (25.7 a 27.2°C), ésta última intermedia entre los tratamientos.

Las plantas podadas a ocho bifurcaciones tuvieron niveles intermedios en eficiencia fotosintética, así como de todas las variables evaluadas.

LITERATURA CITADA

- CADENA-IÑIGUEZ, J.; RUIZ-POSADAS, L. M.; TREJO-LÓPEZ, C.; SÁNCHEZ-GARCÍA, P.; AGUIRRE-MEDINA, J. F. 2001. Regulación del intercambio de gases y relaciones hídricas en chayote (*Sechium edule* (Jacq.) Swartz). Revista Chapingo Serie Horticultura 7(1): 21-35.
- GRIFFORD R. M.; EVANS L. T. 1981. Photosynthesis, carbon partitioning and yield. Ann. Rev. Plant Physiol. 32: 485-509.
- GIFFORD, R. M.; THORPE, J. H.; HITZ, W. D.; GIAQUINTA R. T. 1984. Crop productivity and photoassimilate partitioning. Science 225: 801-808.
- HO, L. C.; HEWITT, J. D. 1986. Fruit development, pp 201- 239. *In: The Tomato Crop. A Scientific Basis for Improvement.* Atherton, J. G.; Rudich, J. (Eds.). London, Great Britain.
- MENDOZA-CASTILLO, M. C.; GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, V. A.; ENGLEMAN, E. M.; ORTIZ-CERECERES, J. 2000. Área de floema y proliferación en maíz. Agrociencia 34(2): 141-151.
- OSMOND, C. B.; BJÖRKMAN, O.; ANDERSON, D. 1980. Physiological processes in plant ecology. Ecology Studies. New York, USA. pp.: 400-540.
- OTERO-SÁNCHEZ, M. A.; RUIZ POSADAS, L. M.; BECERRIL-ROMÁN, A. E.; TIJERINA-CHÁVEZ, L.; ENGLEMAN, E. M.; CASTILLO-MORALES, A. 2005. Crecimiento, relaciones hídricas e intercambio gaseoso de plantas jóvenes de ilama (*Annona diversifolia* Staff.) en condiciones de estrés hídrico. Revista Chapingo Serie Horticultura 11(1): 59-65.

PÉREZ, G. M.; CASTRO, B. R., 1998. Guía para la Producción Intensiva de Chile Manzano. Boletín de Divulgación No. 1. Programa Nacional de Investigación en Olericultura (PRONAICO), Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 18 p.

PÉREZ, G. M.; GONZÁLEZ, H. V. A.; PEÑA, L. A.; MENDOZA, C. M. C.; PEÑA, V. C.; SAHAGÚN, C. J. 2004. Physiological characterization of manzano hot pepper (*Capsicum pubescens* R. y P.) landraces. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 129 (1): 88-92.

PICKET, A. J. F.; STEWART K.; KLAPWIJK, D. 1986. Fruit Development, pp 111- 165. In: The Tomato Crop. A Scientific Basis for Improvement. Atherton, J. G.; Rudich, J. (Eds.). London, Great Britain.

RAMÍREZ-HERNÁNDEZ, B. C.; PIMIENTA-BARRIOS, E. 2003. Photosynthesis in Mexican plum [*Spondias purpurea* L. (Anacardiaceae)]. Revista Chapingo Serie Horticultura 9(2): 271-277.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. 1994. Fisiología Vegetal. p. 177-207. Traducido del inglés por: González, V. V. Grupo Editorial Iberoamericana. D. F., México.

DISPOSICIÓN Y ÁREA DE HACES FLOEMÁTICOS EN RAMA, PECIOLO Y PEDÚNCULO DE CHILE MANZANO (*Capsicum pubescens* R y P)⁴

RESUMEN

En el estudio del crecimiento del fruto se requiere conocer la anatomía de los haces vasculares de la planta, ya que los fotosintatos deben ser distribuidos desde zonas de síntesis o de almacenamiento hacia todos los órganos que los demanden a través de un sistema de transporte especializado que es el floema. En la presente investigación se propuso describir la disposición y el área de los haces vasculares floemáticos de las estructuras vegetativas relacionadas con el transporte de fotosintatos hacia el fruto como son: rama, peciolo y pedúnculo. Se obtuvieron muestras de estas estructuras vegetativas en tres estratos de plantas de chile manzano cultivadas en un sistema de producción intensivo durante el 2006. Las muestras se fijaron en FAA (formol-ácido acético glacial-alcohol), se deshidrataron y se incluyeron en paraplast. Posteriormente se

⁴Rojas-Lara P. C., M. Pérez-Grajales, J. Sahagún-Castellanos, M. T. B. Colinas-León y E. Avitia-García. 2008. Para ser remitido a la Revista Chapingo Serie Horticultura, 06/05/08

elaboraron preparaciones fijas con la tinción safranina-verde rápido en metilcelosolve. Se seleccionaron algunas preparaciones fijas para la toma de fotomicrografías, se observó la disposición de los haces floemáticos por muestra y se cuantificó el área de cada uno de ellos. Los datos fueron analizados de acuerdo con un modelo de un criterio de clasificación y las medias de cada estructura se compararon con base en la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Se encontró que los haces vasculares están dispuestos en forma bicolateral en las tres estructuras vegetativas. En el peciolo el floema, en sección transversal, es de tipo reniforme con haces vasculares bicolaterales. Se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en el área del floema de ramas, peciolos y pedúnculos en los tres estratos de la planta. El área de los haces floemáticos de la ramas medias y superiores fue la mayor y los estratos medio y superior tuvieron la mayor actividad en la producción de frutos. No existieron diferencias significativas del área del floema de la zona interna y externa en las distintas partes vegetativas.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: anatomía, haces floemáticos, floema interno, floema externo

ABSTRACT

To study the fruit growth it is required to know the anatomy of the plant vascular bundle, since the produced photo-assimilate must be distributed from synthesis or storage zone to all the organs that demand them. The amount of the transported products requires a specialized transport system, this is the phloem. This study was planned to describe phloem vascular bundle disposition and its area in vegetative structures related with photo-assimilate transport to fruit such as: branch, petiole and peduncle. Vegetative structure samples were obtained in three apple pepper plant strata of plants grown under an intensive production system during 2006. The samples were fixed in FAA (formol-acetic acid-alcohol). Were dehydrated and included in paraplast. Then fixed preparations were done with dye safranina-fast green in metilcelosolve. Some fixed preparations were selected to photomicrograph. Distribution of phloem vascular bundle was observed in each sample and the area of them was measured in everyone. Data were analyzed according to a one-way model and means were compared (Tukey, $P \leq 0.05$). Bicolateral distribution of the phloem vascular bundles were observed in branch, petiole and peduncle. In the petiole the phloem, in transversal section it shows a form of kidney. The phloem area was statistically different ($P \leq 0.05$) in branch, petiole and peduncle in the three samples. Phloem area in medium and upper branches was the largest and they were the most active in the fruit production. Phloem areas in branch, petiole and peduncle between outer and inner zones were not statistically different.

ADDITIONAL KEY WORDS: anatomy, phloem bundle, inner phloem, outer
phloem

INTRODUCCIÓN

Los cálculos de la productividad por medio de la fotosíntesis foliar neta aportarían cifras comparables sólo si se conocieran bien la anatomía y morfología de la planta y se tomaran en cuenta además la densidad y la geometría del dosel (Bolhar-Nordenkamp, 1988).

Al referirse a las plantas Mendoza-Castillo *et al.* (2000) mencionan que para satisfacer los requerimientos del metabolismo y del crecimiento, los fotoasimilados producidos durante la fotosíntesis deben ser distribuidos desde las zonas de síntesis o de almacenamiento (fuente) hacia los órganos que los demanden (demanda). La cantidad de los productos transportados y las distancias que tienen que recorrer requieren un sistema de transporte especializado que es el floema.

El floema forma parte, junto con el xilema, del sistema conductor de las plantas vasculares. Éste conduce los productos de la fotosíntesis a través de los elementos cribosos. El rasgo más característico de los elementos cribosos es la presencia de cribas en sus paredes y la desaparición del núcleo en su protoplasto. Las cribas son punteaduras primarias modificadas en las que pueden localizarse grupos de poros. El contenido de los poros, relaciona los protoplastos de elementos cribosos vecinos. Algunas cribas en las angiospermas, tienen filamentos de conexión y cilindros de calosa. Éstos se encuentran generalmente en las paredes terminales de los elementos. Las zonas de la pared que contienen estas cribas se llaman placas cribosas. La

perforación de las placas cribosas acontece después de la desintegración del núcleo. Los segmentos de tubo criboso se encuentran conectados unos con otros por las paredes que contienen las placas cribosas. Los miembros de los tubos cribosos de las angiospermas están acompañados por células parenquimáticas altamente especializadas que se denominan células anejas, éstas conservan su núcleo. Las células anejas y el parénquima floemático tienen un papel importante en el mantenimiento de un gradiente de presión en los tubos cribosos (Esau, 1982; Fahn, 1974).

Salisbury y Ross (1994) mencionan que el elemento criboso cercano a la célula fuente, mantiene alta la concentración de los asimilados por efecto de los azúcares. La concentración de asimilados en el extremo que actúa como vertedero en el sistema floemático se mantiene baja mientras estos productos se transfieren a otras células, en donde se metabolizan, se incorporan al protoplasma o se almacenan, con frecuencia en forma de almidón. El canal de comunicación entre fuente y vertedero (destino) es el sistema floemático con sus tubos cribosos; las soluciones de los alrededores son el apoplasto, en las paredes celulares y el xilema.

En el tallo el floema suele ser externo con relación al xilema como en el caso de numerosas familias de dicotiledóneas. En las Solanáceas, el floema se encuentra también hacia el interior del xilema. El floema situado en la parte interna del xilema se llama floema interno o intraxilar. Este floema se desarrolla algo más tarde que el floema externo. El floema interno o intraxilar puede presentarse en bandas separadas en el límite de la médula, como en *Lycopersicon esculentum* Mill, puede estar en contacto íntimo con el lado

interno del xilema y puede diferenciarse tanto a partir del procambium como a partir de células parenquimáticas. Un haz vascular en el que el floema intraxilar está en contacto íntimo con el xilema se llama haz bicolateral. Los haces bicolaterales que se encuentran en familias avanzadas de dicotiledóneas, parece ser el resultado de una especialización secundaria. La cantidad y disposición de los tejidos secundarios, y especialmente la del xilema puede variar también desde un cilindro completo de distintos grosores como en los árboles, hasta bandas separadas, como en los tallos herbáceos de algunas dicotiledóneas anuales, por ejemplo las *Cucurbitaceas*. Existen semejanzas entre los tejidos del pecíolo y los del tallo. Los haces vasculares del pecíolo pueden ser colaterales, bicolaterales o concéntricos. La disposición de los tejidos vasculares en el pecíolo difiere en las distintas especies. Pueden aparecer en una sección transversal, en forma de media luna ininterrumpida o continua o como un anillo completo o interrumpido, o como un anillo con haces adicionales externos e internos (Esau, 1982; Fahn, 1974).

Determinar la proporción de tubos cribosos es útil en el estudio de la translocación de asimilados, ya que se requiere estimar el transporte por flujo de masas a través de estas células del floema (Canny, 1975; Nobel, 1991; Salvador *et al.*, 1994).

Thorpe y Minchin (1997) mencionan que la capacidad de transporte del floema, estimada mediante la cantidad de tubos cribosos y las características anatómicas del tejido floemático en su conjunto, puede ser un factor limitativo en la movilización de asimilados entre la fuente y la demanda. Por ello, es necesario estudiar tales características con mayor detalle en los distintos

órganos de la planta, pues los tubos cribosos del floema intacto están, por un lado, en estrecho contacto con las células de la fuente y por el otro, con las de la demanda.

Se ignora si las principales estructuras vegetativas que nutren al fruto tienen áreas similares o tiene algún patrón de variación que sea benéfico para el crecimiento del fruto. Como parte del estudio de la anatomía del chile manzano en el ámbito de la fuente-demanda, el objetivo de este trabajo es describir la disposición y el área de los haces vasculares floemáticos de las estructuras vegetativas relacionadas con el aporte de fotosintatos al fruto como son: rama, peciolo y pedúnculo.

Las muestras de rama, peciolo y pedúnculo se obtuvieron de plantas del híbrido intervarietal Puebla x Zongolica, cultivadas en invernadero en Chapingo, Estado de México en 2006. Se usó el sistema de producción intensivo propuesto por Pérez y Castro (1998) que incluye la fertigación con la solución nutritiva universal de Steiner (Cadahia *et al.*, 2000), reducción del nivel de irradiación a un 60 %, temperatura promedio entre 18 y 20 °C, cultivo de las plantas en bolsas de polietileno blanco de 40 x 45 cm con tezontle rojo como sustrato y separación entre plantas de 50 cm y 160 cm entre hileras. Se seleccionaron cinco ramas que tenían un fruto comercialmente maduro, así como la hoja más cercana y el pedúnculo del mismo en tres estratos de la planta (inferior, medio y superior).

De cada estructura se tomaron pequeños cilindros de 3 cm de largo, el material se fijó en FAA (1 parte de formol, 5 partes de ácido acético, 0.5 partes de alcohol y 2.5 partes de agua destilada) a 4° C durante 72 h. Posteriormente, el material se deshidrató en una serie de concentraciones crecientes de etanol (50, 70, 85, 96 y 100 %, durante dos horas cada uno); Enseguida las muestras se infiltraron gradualmente pasándolas por tres cambios de xilol–paraplast hasta llegar a paraplast puro por 24 horas como mínimo a 56° C para la inclusión y posteriormente se hicieron los cortes.

Se obtuvieron secciones transversales de 5 a 10 µm de espesor en un micrótopo rotatorio. Los cortes se desparafinaron en la estufa a 56° C durante

una hora. Posteriormente, se colocaron en xilol durante 10 minutos y 3 minutos en etanol absoluto. La tinción de los cortes se realizó con safranina- verde rápido en metilcelosolve (López *et al.*, 2005). Posteriormente se observaron y seleccionaron cortes para la toma de fotomicrografías, con un fotomicroscopio modelo Olympus PROVIS AX70.

Se midió el área de los haces vasculares floemáticos a partir de las fotografías obtenidas de los cortes con el programa UTHSCSA Image Tool para Windows versión 3.00. Se realizaron análisis de varianza (ANDEVA) de acuerdo con un modelo de un criterio de clasificación. El primer análisis de varianza fue para el área de los haces vasculares floemáticos de ramas, peciolo y pedúnculo. El segundo ANDEVA fue para el área de los haces vasculares floemáticos de ramas, peciolo y pedúnculo en cada uno de los estratos inferior, medio y superior. En el tercer ANDEVA se analizó el área de los haces internos y externos en los tres estratos mencionados. Cuando procedió las medias se compararon con la prueba de Tukey con un nivel de significancia de 0.05. Se usó el paquete estadístico SAS versión 8.0 en todos los análisis.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los cortes de rama, pedúnculo y peciolo se observó una disposición bicolateral de los haces vasculares del floema (Figuras 1-5). Las traqueidas del xilema se tiñen de color rojo entre el floema interno y el floema externo, el parénquima rodea al floema y en el centro se aprecia la médula con granos de almidón y cristales (Figura 4). Cosa *et al.* (2002) observaron esta disposición de haces vasculares en *Solanum euacanthum* Phil, *S. sisymbriifolium* Lam y *S. palinacanthum* Dunal, tanto en tallo como en peciolo. La disposición de los haces vasculares es bicolateral en el peciolo de las hojas, en sección transversal tienen forma de tipo reniforme semejante a *Solanum mammosum* L., como lo describen Granada-Chacón y Benitez (2004). En cambio, en *Solanum agrarium* Sendtn el peciolo en sección transversal tiene forma de herradura con haces vasculares anficribales. Se observó la disposición en media luna en el peciolo y los haces vasculares bicolaterales en forma reniforme. El análisis de varianza detectó significancia estadística ($P \leq 0.05$) del cuadrado medio de las áreas de los haces vasculares floemáticos. Las ramas tuvieron haces vasculares floemáticos de mayor área que la de los pedúnculos de los frutos y la de los peciolos de las hojas, aunque la significancia estadística sólo se alcanzó con respecto a los pedúnculos de los frutos (Cuadro 1). Esto se debe a que las ramas distribuyen los fotosintatos de sus hojas hacia los diferentes pedúnculos de frutos.

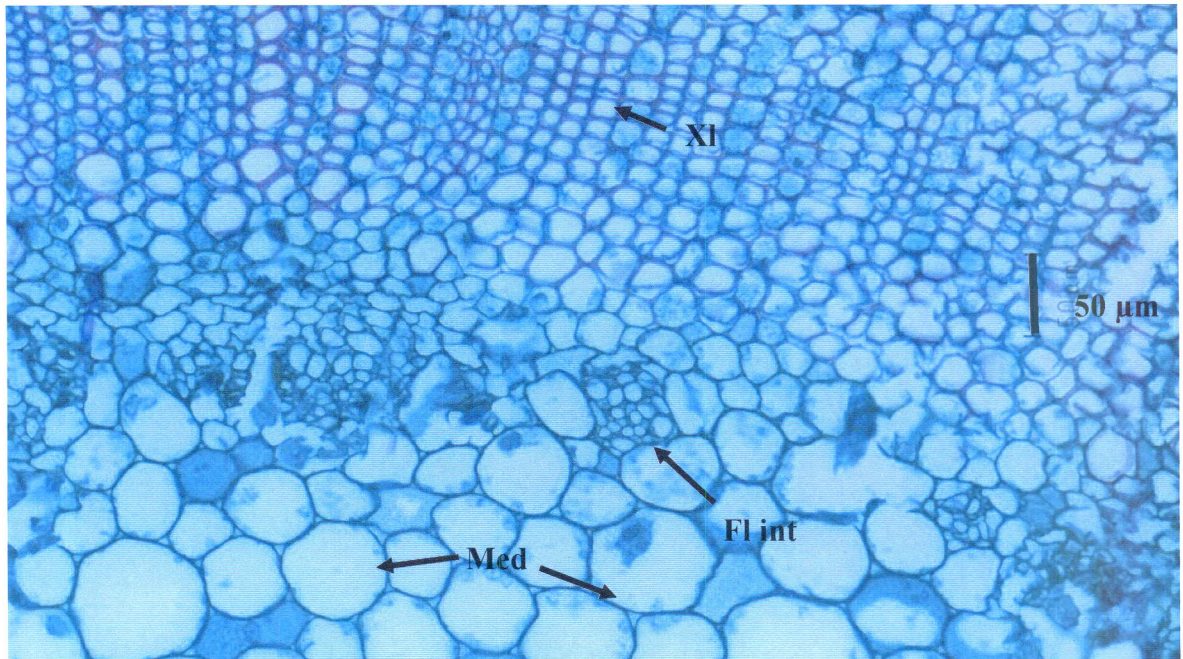


FIGURA 1. Corte transversal de rama de chile manzano del estrato medio. Se observa el floema interno 50X, en campo claro. Fl int: floema interno, Xl: xilema, Med: Médula.

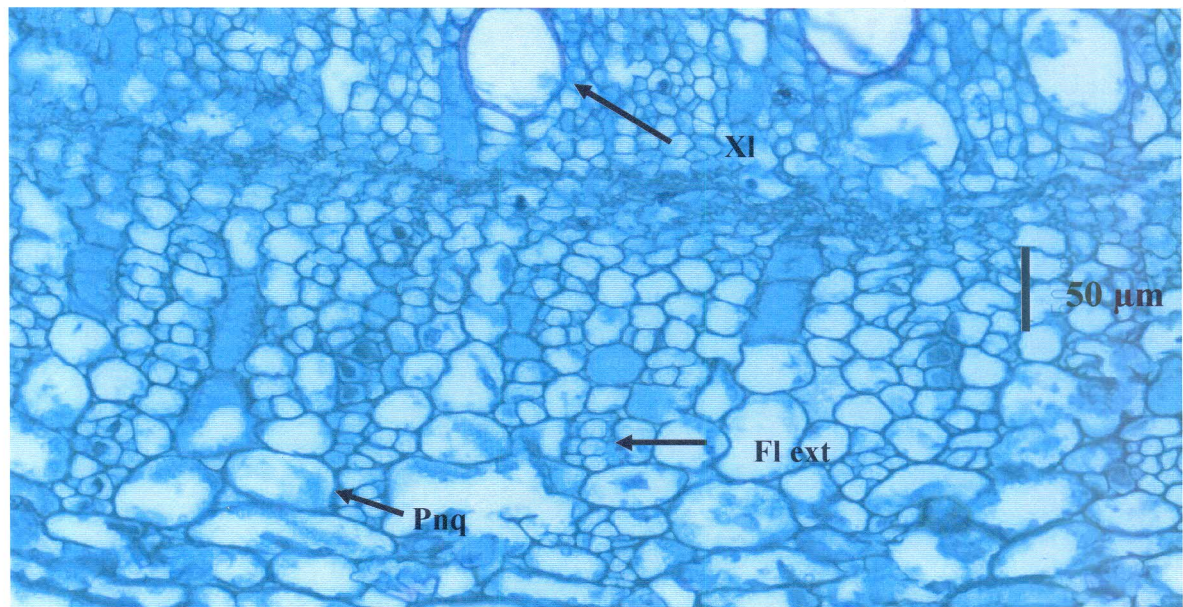


FIGURA 2. Corte transversal de rama de chile manzano del estrato medio. Se observa el floema externo 50X, en campo claro. Fl ext: floema externo, Xl: xilema, Pnq: parénquima.

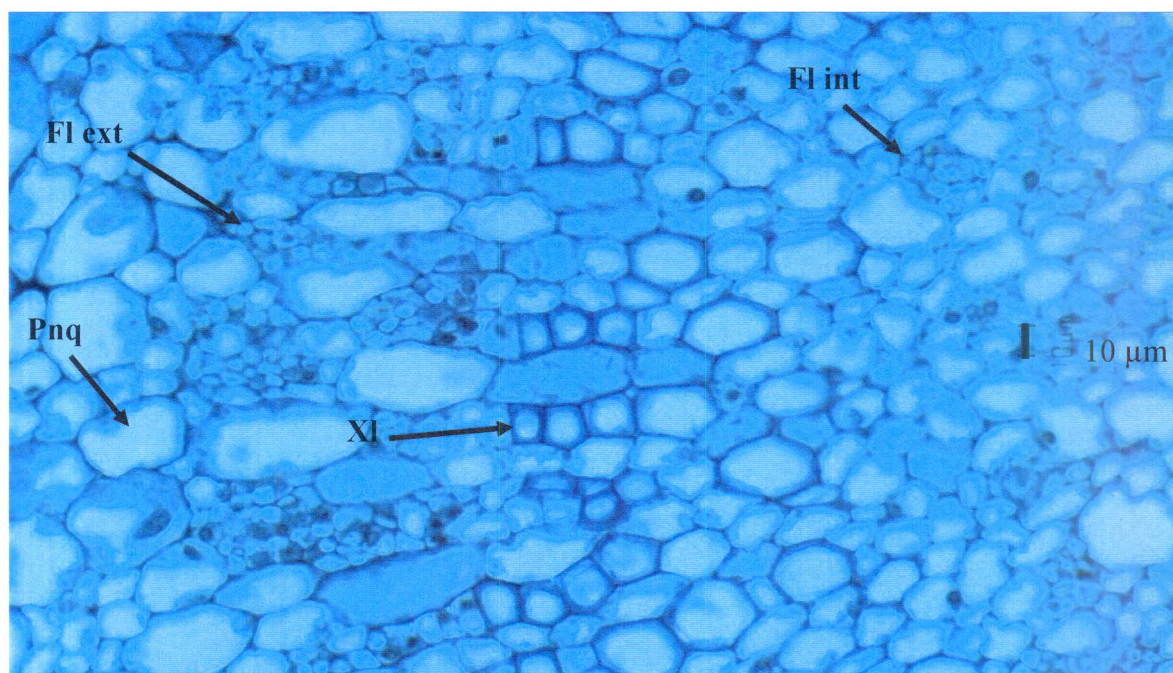


FIGURA 3. Corte transversal de peciolo del estrato superior de la hoja de chile manzano. Se pueden observar el floema interno y externo 100X, en campo claro. Fl ext: floema externo, Fl int: floema interno, XI: xilema, Pnq: parénquima.

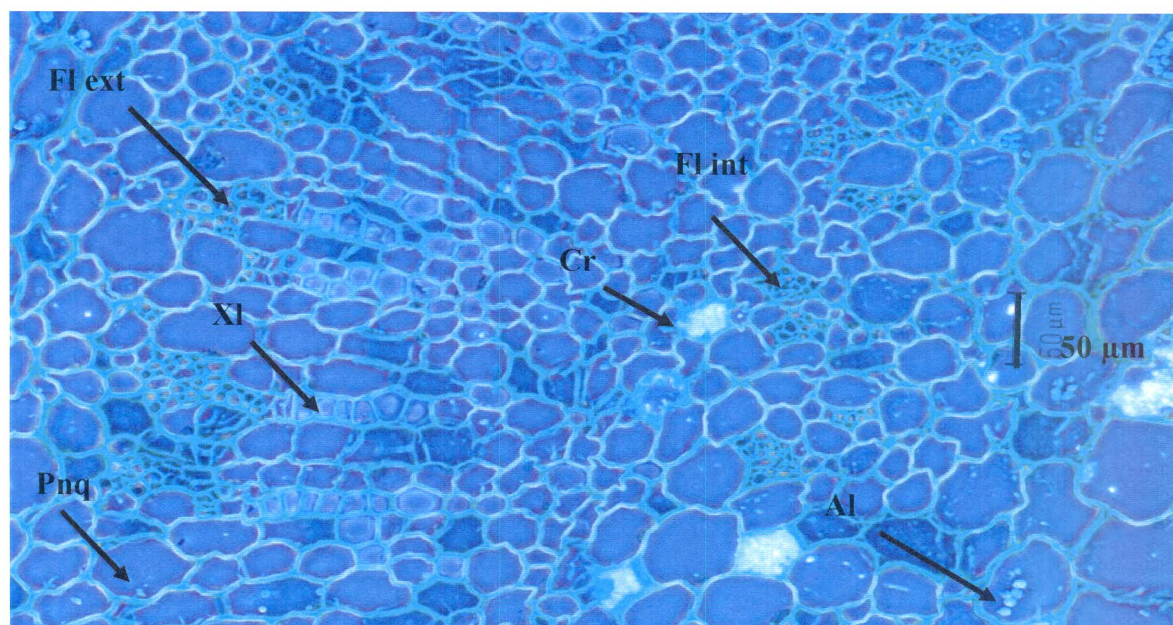


FIGURA 4. Corte transversal de peciolo estrato superior de la hoja de chile manzano. Se pueden observar el floema interno y externo 50X, en contraste de fase. Fl ext: floema externo, Fl int: floema interno, XI: xilema, Pnq: parénquima, Cr: cristales, Al: granos almidón.

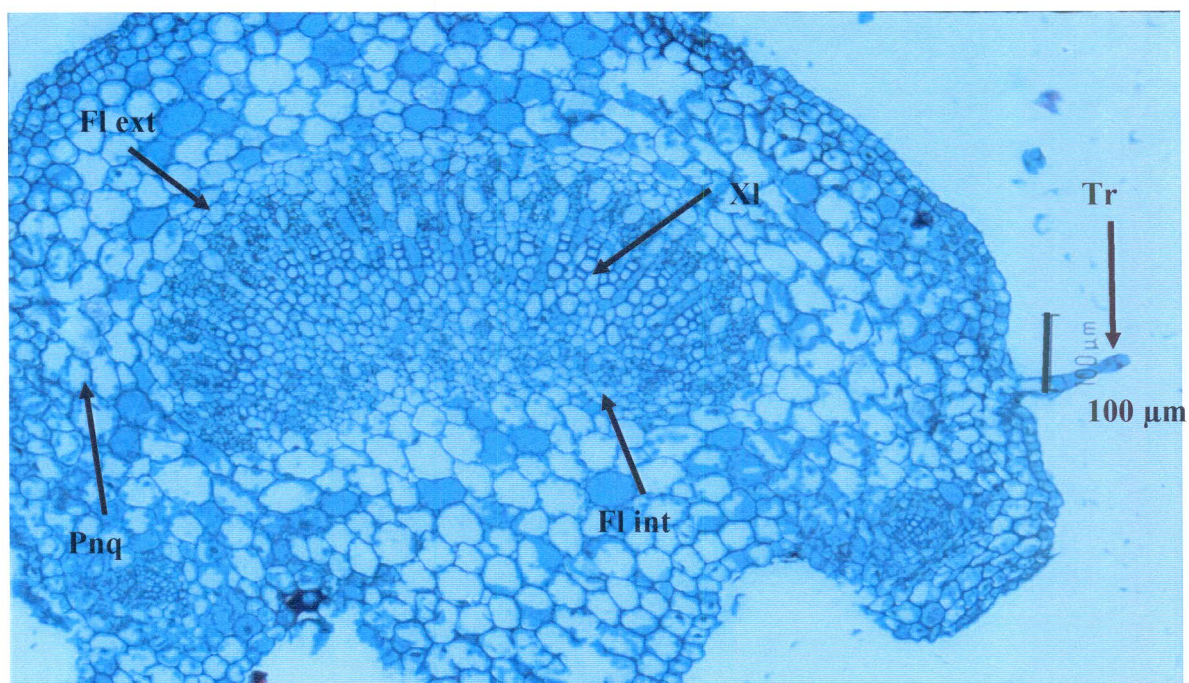


FIGURA 5. Corte transversal de peciolo estrato superior de la hoja de chile manzano. Se pueden observar el floema interno y externo, así como la forma reniforme de los haces vasculares 25X, en campo claro. Fl ext: floema externo, Fl int: floema interno, Xl: xilema, Pnq: parénquima, Tr: tricoma.

CUADRO 1. Tamaño de muestra (n), comparación de medias, error estándar (EE) y coeficiente de variación (CV) del área del floema en rama, peciolo y pedúnculo del chile manzano en 2006. Chapingo, México.

Estructura	n	Media ^z (mm ²)	EE (mm ²)	CV (%)
Ramas	39	3.996a	0.85	133
Peciolos	31	2.7ab	0.43	90
Pedúnculos	52	2.09b	0.26	91

^z Medias con la misma letra dentro de columnas son iguales (Tukey, $P \leq 0.05$).

El cuadrado medio del área de los haces del floema en las ramas, pedúnculos y peciolos de cada uno de tres estratos fue estadísticamente significativo ($P \leq 0.05$). Las ramas del estrato medio (RM) tuvieron los haces floemáticos más grandes, así como los de la rama superior (RS), pedúnculos del fruto en el estrato inferior (PDI) y superior (PDS). Los haces de la rama y del peciolo del estrato inferior (RMI), peciolos y pedúnculos del estrato medio (PDM) y los pedúnculos del estrato superior fueron los más pequeños (Cuadro 2). Sin embargo, las únicas diferencias estadísticamente significativas fueron las de RM con respecto a las de PCM, PCI, PDM, RI y PCS

CUADRO 2. Tamaño de muestra (n), error estándar (EE), coeficiente de variación (CV) y comparación de las nueve medias del área del floema en rama, peciolo y pedúnculo en cada uno de tres estratos de la planta de chile manzano en 2006. Chapingo, México.

Estructura ^z	n	Media ^y (mm ²)	EE (mm ²)	CV (%)
PCS	11	1.001b	0.245	81
RI	12	1.220b	0.19	93
PDM	12	1.66b	0.511	107
PCI	12	2.25b	0.602	93
PCM	29	2.43b	0.376	83
RS	7	2.77ab	0.672	81
PDS	11	3.17ab	0.976	101
PDI	8	3.61ab	0.506	40
RM	20	6.09a	1.504	83

^zPCS: peciolo del estrato superior, PCM: peciolo del estrato medio, PCI: peciolo del estrato inferior, PDS: pedúnculo del estrato superior, PDM: pedúnculo del estrato medio, PDI: pedúnculo del estrato inferior, RS rama del estrato superior, RM: rama del estrato medio, RI: rama del estrato inferior.

^yMedias con la misma letra dentro de columnas son iguales (Tukey, $P \leq 0.05$).

Giménez (2002) muestra que en *Schinopsis quebracho-colorado* Schlech, Barkl Et Meyer el diámetro del floema y el porcentaje de sus canales disminuyen con la edad de la planta. En el caso del chile manzano, las partes más jóvenes corresponden a las partes media y superior, que fueron las regiones más activas de la planta en cuanto a producción de frutos, lo que requería que los haces floemáticos fueran de mayor área en estas zonas.

Hubo diferencias estadísticas entre las medias del área de floema en rama, peciolo y pedúnculo por estrato considerando el diámetro de los haces vasculares de la región interna y externa ($P \leq 0.05$). El área promedio de los haces vasculares de la región externa es de 3.42 mm^2 y de la región interna de 2.8 mm^2 , respectivamente (Cuadro 3). Mendoza-Castillo *et al.* (2000) encontraron que en maíz (*Zea mays* L) el área de los haces floemáticos externos tienen un área menor que los haces internos, tanto en el tallo como en el pedúnculo. En este estudio los haces floemáticos que tuvieron mayor área fueron los de las ramas del estrato medio de la región exterior (RM ex), los de la rama superior en la región interna (RS in), los del pedúnculo exterior (PDS ex) y los haces floemáticos del pedúnculo del estrato inferior (PDI in) en la región interna. Sin embargo, las medias del área de los haces floemáticos de RS in, PDS ex y PDI in no difieren de las medias de los haces vasculares de RI, RM in,

RS ex, PCI, PCM ex, PCM in, PCS ex, PDI ex, PDM ex, PDM in, PDS ex y PDS in.

CUADRO 3. Comparación de medias, error estándar (EE) y coeficiente de variación (CV) de las medias del área del floema interno y externo en rama, peciolo y pedúnculo en tres estratos de la planta de chile manzano, 2006. Chapingo, México.

Estructura ^z	n	Media ^y (mm ²)	EE (mm ²)	CV (%)
PCI	12	2.25bc	0.602	93
PCM ex	16	2.13bc	0.463	85
PCM in	13	2.80bc	0.631	81
PCS ex	5	1.52bc	0.424	62
PCS in	6	0.567c	0.129	56
PDI ex	5	2.750bc	0.287	23
PDI in	3	5.052abc	0.676	23
PDM ex	7	0.780 ^{bc}	0.161	55
PDM in	5	2.890 ^{bc}	1.010	78
PDS ex	3	5.066 ^{ab}	3.325	114
PDS in	8	2.466 ^{bc}	0.651	75
RI	12	1.220 ^{bc}	0.190	54
RM ex	14	7.240 ^a	2.080	107
RM in	6	3.414 ^{bc}	0.594	43
RS ex	3	1.365 ^{bc}	0.431	55
RS in	4	3.820 ^{abc}	0.792	41

^zPCS: peciolo del estrato superior, PCM: peciolo del estrato medio, PCI: peciolo del estrato inferior, PDS: pedúnculo del estrato superior, PDM: pedúnculo del estrato medio, PDI: pedúnculo del estrato inferior, PCS: peciolo del estrato superior, PCM: peciolo del estrato medio, PCI: peciolo del estrato inferior. Disposición de los haces floemáticos externo (ex) o interno (in).

^yMedias con la misma letra dentro de columnas son iguales (Tukey, $P \leq 0.05$), n: número de haces floemáticos.

Los haces más pequeños estuvieron en el peciolo del estrato superior en la porción interna (PCS in). Esto demuestra que las partes más activas en la transferencia de fotosintatos está en la región media y superior, donde las hojas envían fotoasimilados hacia las ramas del mismo estrato y posteriormente los hacen llegar a los frutos vía pedúnculos y su tamaño depende del volumen de los frutos. Giménez (2004) encontró que en *Geoffroea striata* Morong el área neta de los vasos floemáticos es de 0.17 mm^2 y en *G. dicorticans* Burkert es de 0.16 mm^2 . Ambas son inferiores a las encontradas en chile manzano.

CONCLUSIONES

La disposición de los haces vasculares de las ramas, peciolo y pedúnculo de plantas de chile manzano es bicolateral. Los haces floemáticos en el peciolo de la hoja son reniformes. Las ramas presentan haces floemáticos de mayor área, que peciolo y pedúnculo. Las ramas de los estratos medio y superior tuvieron el mayor promedio de las áreas del floema. El área promedio del floema interno y externo fue similar.

AGRADECIMIENTOS

A la M. en C. Rosenda Margarita Ponce Salazar por el uso de las instalaciones del laboratorio de Desarrollo en Plantas en la Facultad de Ciencias, UNAM .

A la maestra Ana Isabel Bieler Antolin del laboratorio de Microcine por la toma de las fotomicrografías, UNAM.

LITERATURA CITADA

- BOLHAR-NORDENKAMPF, H. R. 1988. Morfología del vástago y anatomía de la hoja con relación a la fotosíntesis. p. 89-98. En Técnicas en Fotosíntesis y Bioproductividad. Editores: Coombs, J.; Hall, D. O.; Long, S. P.; Scurlock, J. M. O. UNEP y Colegio de Postgraduados. Chapingo, Estado de México. 258 p.
- CANNY, M. J. 1975. Phloem Translocation. Cambridge University Press. London. 258 p.
- CADAHIA, L. C.; EYMAR, A. E.; LUCENA, M. J. J.; MONTALVO, L. T.; SEGURA, P. M. L.; ABAD, B. M.; CASTILLA, P. N.; LÓPEZ, V. D.; NOGUERA, M. P. 2000. Fertirrigación. Cultivos Hortícolas y Ornamentales. Ediciones Mundi-Prensa, 2ª edición. Madrid, España. 475 p.
- COSA, M. T.; HADID, M.; DOTTORI, N.; BRUNO, G. 2002. Anatomía de órganos vegetativos en *Solanum palinacanthum*, *S. sisymbriifolium* y *S. euacanthum* (Solanaceae). Anales del Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Botánica 73(1): 27-38.
- ESAU, K. 1982. Anatomía de las Plantas con Semilla. Traducido del inglés por: Pons, R. J. Ediciones Omega. Barcelona, España. 763 p.
- FAHN, 1974. Anatomía Vegetal. Traducido del inglés por: García, A. F.; Fernández, C. J.; Fernández, P. J. H. Blume Ediciones. Madrid, España. 630 p.
- GRANADA-CHACÓN, W. A.; BENITEZ, DE R., C. E. 2004. Anatomía foliar de cuatro especies de *Solanum* L sección Acanthophora Dunal en Venezuela. Acta Científica Venezolana 55 (1): 13-26.

- GIMÉNEZ, A. M. 2002. Cambios estructurales producidos durante el desarrollo de la corteza en *Sichinopsis quebracho-colorado* Schlech, Barkl Et Meyer, Anacardiaceae. Quebracho. Revista de Ciencias Forestales. (9): 60-70.
- GIMÉNEZ, A. M. 2004. Anatomía comparada de leño y corteza de *Geoffroea striata* y *Geoffroea decorticans*. Maderas y Bosques 10(1): 55-68.
- LÓPEZ, C. M.; MÁRQUEZ, J.; SÁNCHEZ, G. M. 2005. Técnicas para el Estudio del Desarrollo en Angiospermas. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. D. F., México. 178 p.
- MENDOZA-CASTILLO, M. DEL C.; GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, V. A.; ENGLEMAN, E. M.; ORTIZ-CERECERES, J. 2000. Área de floema y proliferación en maíz. Agrociencia 34(2): 141-151
- NOBEL, S. P. 1991. Physicochemical and Environmental Plant Physiology. Academic Press. New York. 634 p.
- PÉREZ, G. M.; CASTRO, B. R., 1998. Guía para la Producción Intensiva de Chile Manzano. Boletín de Divulgación No. 1. Programa Nacional de Investigación en Olericultura (PRONAICO), Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 18 p.
- PÉREZ, G. M.; GONZÁLEZ, H. V. A.; PEÑA, L. A.; MENDOZA, C. M. C.; PEÑA, V. C.; SAHAGÚN, C. J. 2004. Physiological characterization of manzano hot pepper (*Capsicum pubescens* R. y P.) landraces. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 129 (1): 88-92.
- SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. 1994. Fisiología Vegetal. p. 177-207. Traducido del inglés por: González, V. V. Grupo Editorial Iberoamericana. D. F., México.

DISCUSIÓN GENERAL

El crecimiento del fruto del híbrido intervarietal de chile manzano Puebla x Zongolica cultivado en un sistema de producción intensivo se puede describir mediante modelos matemáticos sin necesidad de realizar muestreos destructivos, usando variables independientes de fácil mediación para explicar el rendimiento con base en el tamaño del fruto. El crecimiento de los frutos cosechados durante el 2004, que correspondió al primer año de crecimiento de la planta, fueron explicados mediante los modelos de regresión lineal simple, regresión lineal múltiple y el modelo no lineal monomolecular. Para el segundo año de crecimiento de las plantas los modelos que mejor explican el incremento de peso fresco del fruto son el de regresión lineal múltiple y el monomolecular. No obstante, el monomolecular (en ambos periodos de muestreo) permite estimar de manera sencilla, práctica y precisa el peso fresco del fruto con base en una sola variable no destructiva, ya sea con el volumen de agua desplazada o el volumen del fruto.

El híbrido intervarietal de chile manzano descrito por Pérez *et al.* (2004) es de alto rendimiento de fruto por su volumen, grosor de pericarpio y peso de fruto y representa una fuerte competencia por los fotosintatos. Al respecto, la poda de ramas permitió disminuir la competencia entre las diferentes demandas de

fotosintatos en la planta. Bajo los seis tipos de podas produjeron diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre algunas de las medias de las variables registradas. Frutos con mayor volumen y anchura promedio tuvieron mayor peso fresco y peso seco. El rendimiento fue mayor en las plantas podadas a ocho bifurcaciones, le siguieron el testigo y las plantas podadas a tres tallos. El tamaño del fruto también fue mayor en las plantas podadas a tres tallos y las podadas a ocho bifurcaciones. Estos niveles de poda permitieron controlar el crecimiento excesivo de las plantas con la perspectiva de proponer un incremento del número de plantas por metro cuadrado, permitiendo, con ello, un mejor manejo tanto del cultivo como de la cosecha de los frutos. El incremento del rendimiento está ligado a cambios en la fijación fotosintética de bióxido de carbono; para aumentar el potencial de rendimiento se necesita reducir la superficie fotosintética y elevar la tasa de fotosíntesis neta por unidad de área foliar. La conductividad estomática, la humedad relativa, el flujo fotónico y la tasa fotosintética fueron mayores en las hojas de las plantas podadas a uno, dos y tres tallos. Las hojas de plantas podadas a ocho y diez bifurcaciones tuvieron la temperatura más alta y junto con el testigo presentaron los niveles más altos de CO_2 . Las plantas podadas a uno, dos y tres tallos mostraron la mejor eficiencia fotosintética, mientras que las plantas podadas a ocho bifurcaciones tuvieron un nivel intermedio. La distribución de los fotosintatos entre las distintas partes de la planta se realiza vía floema, desde las zonas de síntesis o de almacenamiento hacia todos los órganos que los demanden. Los haces vasculares están dispuestos en forma bicolateral en las ramas, peciolo y pedúnculos de la planta de chile manzano. En el peciolo, el floema, en sección

transversal, es de tipo reniforme con haces vasculares bicolaterales. Se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en el área del floema de ramas, peciolo y pedúnculo en los tres estratos (inferior, intermedio y superior) muestreados de la planta. El área de los haces floemáticos de la rama media y superior fueron los más grandes, y con mayor actividad en la producción de frutos durante el segundo año de cultivo de las plantas, confirmando que los haces floemáticos de mayor tamaño corresponden a las zonas más activas en la demanda de los fotoasimilados. Sin embargo, no existieron diferencias significativas del área del floema de la zona interna y externa en las partes vegetativas estudiadas.

CONCLUSIONES GENERALES

El crecimiento de fruto de chile manzano se puede estimar a través de modelos matemáticos. Los que mejor describen dicho crecimiento, sin realizar muestreos destructivos son: el de regresión lineal simple, el de regresión lineal múltiple y el monomolecular. El modelo de regresión lineal múltiple obtuvo los valores más altos del coeficiente de determinación, los valores más bajos de la prueba de bondad de ajuste, así como del coeficiente de colinealidad. Sin embargo, su predicción requiere el uso de más de dos variables independientes no destructivas, siendo poco práctico. El modelo monomolecular utiliza sólo una variable independiente no destructiva, ya sea el volumen de agua desplazada o el volumen del fruto, por tal motivo es de fácil manejo.

La poda de las plantas de chile manzano a ocho bifurcaciones o a tres tallos permite incrementar la producción y el tamaño del fruto; controla el crecimiento excesivo de las propias ramas; incrementa la densidad de plantas por metro cuadrado, y facilita la cosecha de los frutos.

Las plantas podadas a uno, dos y tres tallos tuvieron mayor eficiencia fotosintética debido a niveles intermedios de CO_2 (375 a 383 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$), alto nivel de conductividad estomática (0.71 a 0.77 $\text{moles}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), humedad relativa entre

39.5 y 41.1 %, flujo fotónico fotosintético (228.9 a $307.9 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) y la temperatura de las hojas de 25.7 a 27.2 °C. Las plantas podadas a ocho bifurcaciones tuvieron niveles intermedios en eficiencia fotosintética.

La disposición de los haces vasculares en rama, peciolo y pedúnculo del chile manzano es bicolateral. La forma de los haces floemáticos en el peciolo de la hoja es de tipo reniforme. Las ramas presentan haces floemáticos de mayor área que la de los peciolos y la de los pedúnculos, y las de los estratos medio y superior de la planta son las ramas que presentan el área promedio mayor. Sin embargo, el área promedio del floema interno y externo son estadísticamente iguales.

LITERATURA GENERAL CITADA

- ALMAGUER, V. G. 1998. Principios de Fruticultura: Fruticultura General. Serie Textos Agronómicos. Mundi-Prensa. Universidad Autónoma Chapingo. D. F., México. 370 p.
- BOLHAR-NORDENKAMPF, H. R. 1988. Morfología del vástago y anatomía de la hoja con relación a la fotosíntesis. p. 89-98. En Técnicas en Fotosíntesis y Bioproductividad. Editores: Coombs, J.; Hall, D. O.; Long, S. P.; Scurlock, J. M. O. UNEP y Colegio de Postgraduados. Chapingo, Estado de México. 258 p.
- MENDOZA-CASTILLO, M. C.; GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, V. A.; ENGLEMAN, E. M.; ORTIZ-CERECERES, J. 2000. Área de floema y proliferación en maíz. Agrociencia 34(2): 141-151.
- MONTGOMERY, D. C. 1991. Diseño y Análisis de Experimentos. Ed. Grupo Editorial Iberoamérica. México, 589 p.
- NUEZ, F.; GIL O. R.; COSTA, J. 2003. El Cultivo de Pimientos, Chiles y Ajíes. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 607 p.
- PÉREZ, G. M.; CASTRO, B. R., 1998. Guía para la Producción Intensiva de Chile Manzano. Boletín de Divulgación No. 1. Programa Nacional de Investigación en Olericultura (PRONAICO), Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 18 p.

- PÉREZ, G. M.; GONZÁLEZ, H. V. A.; PEÑA, L. A.; MENDOZA, C. M. C.; PEÑA, V. C.; SAHAGÚN, C. J. 2004. Physiological characterization of manzano hot pepper (*Capsicum pubescens* R. y P.) landraces. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 129 (1): 88-92.
- REBOLLEDO, R. H. H. 1994. SAS en Microcomputadoras. Análisis de experimentos con fines de optimización de insumos agrícolas. Ed. Universidad Autónoma Chapingo Departamento de Suelos. Área de fertilidad. 92 p.
- OSTLE, B. 1986. Estadística aplicada. Ed. LIMUSA. México, D. F. 217 p.
- POZO, C. O. 1983. Logros y Aportaciones de la Investigación Agrícola en el Cultivo del Chile. INIA-SARH, D. F., México. 59 pp.
- SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. 1994. Fisiología Vegetal. p. 177-207. Traducido del inglés por: González, V. V. Grupo Editorial Iberoamericana. D. F., México.
- THORPE, M. R.; MINCHIN, P. E. H. 1997. Mechanisms of long – and short - distance transport from sources to sinks. p. 261-282. *In*: Photoassimilate Distribution in Plants and Crops. Source-Sink Relationships. Zamski, E., and A. A. Schaffer (Eds.). M. Dekker. New York.
- WESTWOOD, M. N. 1982. Fruticultura de zonas templadas. Ed. Mundi Prensa, Madrid, España. 461 p.