



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD  
FISIOLOGÍA VEGETAL**

**FISIOLOGÍA Y MANEJO DE LA HIGUERA (*Ficus carica* L.)  
EN PRODUCCIÓN FORZADA BAJO CUBIERTA PLÁSTICA**

**VICTOR MANUEL MENDOZA CASTILLO**

**T E S I S**

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

**DOCTOR EN CIENCIAS**

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2013

La presente tesis, titulada: **FISIOLOGÍA Y MANEJO DE LA HIGUERA (*Ficus carica* L.) EN PRODUCCIÓN FORZADA BAJO CUBIERTA PLÁSTICA**, realizada por el alumno **Victor Manuel Mendoza Castillo**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

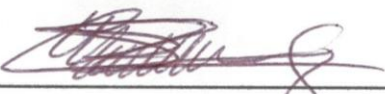
**DOCTOR EN CIENCIAS**

**RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD**

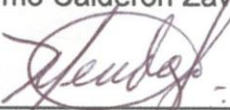
**FISIOLOGÍA VEGETAL**

**CONSEJO PARTICULAR**

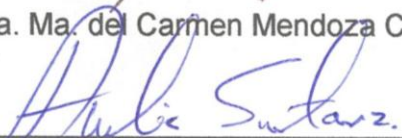
CONSEJERO:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Guillermo Calderón Zavala

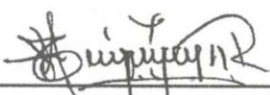
ASESOR:

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Ma. del Carmen Mendoza Castillo

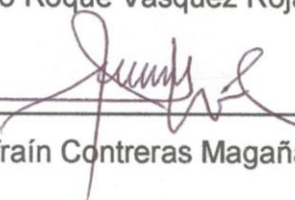
ASESOR:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Amalio Santacruz Varela

ASESOR:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Tito Roque Vásquez Rojas

ASESOR:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Efraín Contreras Magaña

**Montecillo, Texcoco, México. Julio de 2013**

# FISIOLOGÍA Y MANEJO DE LA HIGUERA (*Ficus carica* L.) EN PRODUCCIÓN FORZADA BAJO CUBIERTA PLÁSTICA

Víctor Manuel Mendoza Castillo, Dr.  
Colegio de Postgraduados, 2013

En México la producción de frutas para el consumo nacional se restringe a temporadas de cosecha reducidas, por lo que el espacio de mercado incrementa la posibilidad de importar grandes volúmenes de frutos de diferentes especies, incluyendo al higo, planta con excelente capacidad de adaptación en la República Mexicana cultivada en huertos familiares en todas sus regiones. Para proponer al higo como un sistema de producción intensiva, se documentaron las respuestas fisiológicas a nivel de planta completa en sistemas intensivos de producción bajo cubiertas plásticas. El objetivo general fue generar tecnologías para el manejo y producción intensiva del cultivo del higo y conocer su efecto en la fisiología de la planta. Los objetivos particulares fueron: evaluar el rendimiento de higo fresco y producción de biomasa en respuesta a la remoción parcial de hojas y frutos; evaluar opciones de manejo de las plantas con diferente cantidad de frutos por tallo productivo y evaluar diferente número de tallos productivos por planta con 20 frutos por tallo, en la búsqueda de un mayor índice de cosecha. Se utilizó la variedad "Netzahualcoyotl", de epicarpio negro pálido y pulpa púrpura con 1.25 plantas por m<sup>2</sup>. Se encontró que la remoción de hojas o frutos no mejoró el rendimiento de frutos ni la acumulación de biomasa total pero sí la distribución de ésta en los órganos estudiados. Ningún tratamiento mejoró el tamaño del fruto. La eliminación drástica de las hojas superiores resultó en frutos de menor peso y en una menor producción total de biomasa por planta. Los rendimientos más altos de fruto fresco y biomasa total en plantas con seis tallos provinieron de los tratamientos con 20 y 22 frutos por tallo, con 85.8 y 92.1 t·ha<sup>-1</sup> y biomasa total de 16.3 y 26.5 t·ha<sup>-1</sup>, respectivamente. El mayor valor de fruto fresco y biomasa seca total en plantas con 20 frutos por tallo, se registró con ocho tallos con 109.5 t·ha<sup>-1</sup> y biomasa total de 29.6 t·ha<sup>-1</sup>.

**Palabras clave:** Higo, cubierta plástica, producción intensiva, producción de biomasa, relación fuente-demanda.

# PHYSIOLOGY AND MANAGEMENT OF THE FIG TREE (*Ficus carica* L.) IN INTENSIVE PRODUCTION UNDER PLASTIC COVER

Víctor Manuel Mendoza Castillo, Dr.  
Colegio de Postgraduados, 2013

In Mexico fruit production for domestic consumption is restricted to reduced harvest periods, so the market space increases the possibility of importing large volumes of fruits of different species, including fig, plant with excellent adaptability in Mexico, which is cultivated in family orchards in all regions. With the aim of proposing the fig tree as an intensive production system, its physiological responses at the whole-plant level were documented in intensive production systems under plastic covers. The overall goal was to generate technologies for the management and intensive cultivation of the fig tree and to know its effect on the physiology of the plant. The specific objectives were to evaluate the fresh fig yield and biomass production in response to partial removal of leaves and fruits, to evaluate management options of plants with different amount of fruits per productive stem and to evaluate different number of productive stems per plant with 20 fruits per stem, in pursuit of higher harvest index. The "Nezahualcoyotl" variety, with pale black epicarp and purple flesh was used with 1.25 plants per m<sup>2</sup>. Results showed that removal of leaves or fruits did neither improve fruit yield nor total biomass accumulation but it did improve the distribution of biomass into the studied organs. No treatment improved fruit size. Drastic elimination of the upper leaves resulted in lower weight fruits and lower total biomass production per plant. The highest yields of fresh fruit and total plant biomass with six stems, resulted from treatments with 20 and 22 fruits per stem, with 85.8 and 92.1 t ha<sup>-1</sup> and total biomass of 16.3 and 26.5 t ha<sup>-1</sup>, respectively. The largest value of fresh fruit and total dry biomass in plants with 20 fruits per stem was recorded with eight stems with 109.5 t ha<sup>-1</sup> and total biomass of 29.6 t ha<sup>-1</sup>.

**key words:** Fig, plastic cover, intensive production, biomass production, source-demand relationship.

## AGRADECIMIENTOS

A la población mexicana, que con su trabajo diario hace posible que el **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología** financie la formación de profesionales postgraduados, como es mi caso, para contribuir mejor al desarrollo de nuestra patria.

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Colegio de Postgraduados, por su invaluable apoyo que hizo posible no solo la obtención del grado de Maestría y Doctorado, sino también mi desarrollo humano y profesional.

A los miembros del Consejo Particular: Dr. Guillermo Calderón Zavala, Dra. Ma. del Carmen Mendoza Castillo, Dr. Amalio Santacruz Varela, Dr. Tito Roque Vázquez Rojas y Dr. Efraín Contreras Magaña, por su apoyo y orientación que hicieron posible la culminación de este trabajo.

A todos mis compañeros y compañeras estudiantes que pacientemente me brindaron valiosos espacios de tiempo para explicarme el uso de las herramientas electrónicas necesarias para culminar mi tesis.

Al Dr. Aureliano Peña Lomelí por haberme facilitado muy amablemente el espacio de invernadero para desarrollar los ensayos experimentales de esta tesis.

A la Maestra Teresa Cervantes por enseñarme pacientemente las estructuras anatómicas del higo.

A mis grandes enseñadores de conocimientos técnicos y científicos, por enriquecer mi cultura, los Doctores: Calderón, Galvis, García, Prometeo, Espinoza, María Teresa, Ma. Del Carmen, Lisaola, Muratalla y Amalio.

Al sol, al agua y a la tierra que con su gran bondad permiten que el trabajo humano de los que estudiamos agronomía, se transforme en ciencia y tecnología que quedan plasmados en tesis como esta.

## DEDICATORIA

A mis padres: Adela Victoriana y Jesús por ser fuente permanente de inspiración para el trabajo de toda mi vida.

A mis hermanos: Reyna, Simona, Martha, Pablo, Herlinda, Teodoro, María, Fidel, Chabela, Carmela e Hipólito,

A mis hijos: Ricardo, Raúl y Víctor Manuel para que siempre tengan presente que con cada salida del sol nacen nuevas posibilidades de vida, de éxitos pequeños y grandes, de trabajo y de amor, sin importar el paso de los años.

A mis compañeros y compañeras estudiantes del Colegio de Posgraduados, por brindarme desinteresados espacios de convivencia con los cuales me fue placentero mi transcurrir cotidiano en todos los años de estancia en esta institución.

A todos mis profesores que me enseñaron haciendo su mayor esfuerzo por combatir mi ignorancia.

A todos los trabajadores administrativos que con su orientación y amables atenciones, hicieron fácil todos los trámites burocráticos y trabajos de consulta bibliográfica: Toño, Luci, Lic. Padilla, mi tocayo Víctor, la Lic. Emilia, la Sra. Dalila, Rocío Cuellar, Olga, Memo y todos.

## CONTENIDO

	Página
<b>RESUMEN GENERAL.....</b>	iii
<b>GENERAL ABSTRACT.....</b>	iv
<b>ÍNDICE DE CUADROS.....</b>	ix
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	x
<b>INTRODUCCIÓN GENERAL.....</b>	1
1. Marco conceptual y planteamiento del problema.....	1
2. Revisión de literatura.....	2
3. Objetivos.....	4
4. Literatura citada.....	5
<b>CAPITULO I. RESPUESTA FISIOTÉCNICA DE LA HIGUERA (<i>Ficus carica</i> L.) A LA REMOCIÓN PARCIAL DE HOJAS Y FRUTOS.....</b>	7
1.1. Resumen.....	7
1.2. Abstract.....	8
1.3. Introducción.....	9
1.4. Materiales y métodos.....	11
1.5. Resultados .....	13
1.6. Discusión.....	24
1.7. Conclusiones.....	26

1.8. Literatura citada .....	27
<b>CAPÍTULO II. RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTOS DE HIGUERA (<i>Ficus carica</i> L.) EN RESPUESTA A SU CARGA DIFERENCIAL.....</b>	<b>29</b>
2.1. Resumen.....	29
2.2. Abstract.....	30
2.3. Introducción.....	31
2.4. Materiales y métodos.....	32
2.5. Resultados.....	35
2.6. Discusión.....	43
2.7. Conclusiones.....	46
2.8. Literatura citada.....	47
<b>CAPÍTULO III. POTENCIAL DE RENDIMIENTO DE HIGO (<i>Ficus carica</i> L.) POR TALLOS PRODUCTIVOS DIFERENCIALES.....</b>	<b>49</b>
3.1. Resumen.....	49
3.2. Abstract.....	50
3.3. Introducción.....	51
3.4. Materiales y métodos.....	53
3.5. Resultados .....	56
3.6. Discusión.....	63



3.7. Conclusiones.....	67
3.8. Literatura citada.....	68
<b>DISCUSIÓN GENERAL.....</b>	<b>72</b>
1. Discusión.....	72
2. Literatura citada.....	81
<b>CONCLUSIONES GENERALES.....</b>	<b>86</b>

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>		<b>Página</b>
1.1.	Parámetros estadísticos al evaluar ramas productivas de higuera en un sistema intensivo bajo cubierta plástica.....	14
1.2	Parámetros estadísticos al evaluar ramas productivas de higuera en cosecha de tallos productivos bajo un sistema intensivo bajo cubierta plástica .....	18
2.1	Valores promedio de biomasa de la higuera bajo tratamientos de número de frutos por tallo.....	41
3.1	Valores promedio y parámetros de fruto de higo bajo tratamientos de número de tallos productivos por planta en cultivo de higuera bajo cubierta plástica.....	57
3.2	Valores promedio de la biomasa de la higuera cultivada con tratamientos de número de tallos por planta con veinte frutos por tallo productivo.....	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
1.1.	Biomasa de tallo al final de la cosecha en plantas de higuera con cuatro tallos y 18 frutos por tallo, bajo cubierta plástica en respuesta a tratamientos con eliminación de hojas y frutos.....	15
1.2.	Biomasa en hojas al final de la cosecha en plantas de higuera con cuatro tallos y 18 frutos por tallo, bajo cubierta plástica en respuesta a tratamientos con eliminación de hojas y frutos A) Biomasa de lámina foliar y B) Peso específico de hoja.....	16
1.3.	Biomasa de pecíolo al final de la cosecha en plantas de higuera con cuatro tallos y 18 frutos por tallo bajo cubierta plástica en respuesta a tratamientos con eliminación de hojas y frutos.....	17
1.4	Área foliar al final de la cosecha en plantas de higuera con cuatro tallos y 18 frutos por tallo bajo cubierta plástica en respuesta a tratamientos con eliminación de hojas y frutos.....	18
1.5	Medias de peso fresco de frutos de higuera en tres estratos de tallos productivos con 18 frutos por tallo bajo cubierta plástica; en respuesta a tratamientos con eliminación de hojas y frutos. A) Frutos de la parte apical del tallo, B) Frutos de la parte media y C) Frutos de la parte basal.....	20

1.6	Peso fresco promedio de frutos de higuera bajo cubierta plástica; en respuesta a tratamientos con eliminación de hojas y frutos.....	21
1.7	Medias de rendimiento de frutos de higuera estimado por hectárea bajo cubierta plástica; en respuesta a tratamientos con eliminación de hojas y frutos .....	22
1.8	Acumulación total de biomasa y su distribución en distintos órganos de higuera cultivada bajo cubierta plástica, en respuesta a tratamientos con eliminación de hojas y frutos.....	23
2.1	Longitud de fruto en plantas de higuera ‘Netzahualcóyotl’ con seis tallos productivos, en respuesta a tratamientos con diferente número de frutos por tallo.....	35
2.2	Diámetro de fruto en plantas de higuera ‘Netzahualcóyotl’ con seis tallos productivos, en respuesta a tratamientos con diferente número de frutos por tallo.....	36
2.3	Peso fresco de frutos en plantas de higuera ‘Netzahualcóyotl’ con seis tallos productivos, en respuesta a tratamientos con diferente número de frutos por tallo.....	37
2.4.	Contenido de sólidos solubles totales en plantas de higuera ‘Netzahualcóyotl’ con seis tallos productivos, en respuesta a tratamientos con diferente número de frutos por tallo.....	38

2.5	Rendimiento de fruto por hectárea al final de la cosecha en plantas de higuera 'Netzahualcóyotl' con seis tallos productivos, en respuesta a tratamientos con diferente número de frutos por tallo.....	39
2.6	Acumulación de biomasa por planta y su distribución en frutos, tallos y hojas al final de la cosecha en plantas de higuera 'Netzahualcóyotl' con seis tallos productivos, bajo cubierta plástica, en respuesta a diferente número de frutos por tallo.....	43
3.1.	Rendimiento de fruto fresco por hectárea en plantas con 20 frutos por tallo, en respuesta a tratamientos de diferente número de tallos por planta.....	58
3.2.	Tasa diaria de crecimiento al final de la cosecha en plantas con 200 frutos por tallo, en respuesta a tratamientos de diferente número de tallos por planta.....	59
3.3.	Tasa de crecimiento diario de frutos al final de la cosecha en plantas con 20 frutos por tallo, en respuesta a tratamientos de diferente número de tallos por planta.....	60
3.4.	Acumulación de biomasa por planta al final de la cosecha en plantas con 20 frutos por tallo, en respuesta a tratamientos de diferente número de tallos por planta.....	63

## INTRODUCCIÓN GENERAL

### 1. Marco conceptual y planteamiento del problema

En México la producción de frutas para el consumo nacional se restringe a temporadas de cosecha reducidas, por lo que el espacio de mercado incrementa la posibilidad de importar grandes volúmenes de frutos de diferentes especies, incluyendo al higo.

En los cascos de haciendas, los parques públicos y los patios traseros de iglesias, es común encontrar troncos viejos de higueras, cuya parte aérea ha muerto varias veces conservando la parte basal del tallo con sus viejas raíces de donde vuelven a brotar troncos nuevos, vigorosos y productivos. Los pobladores por lo general, llevan esquejes de estas plantas hasta sus huertos sin más interés que el de obtener frutos por unos cuantos meses del año para el consumo familiar.

En todos los estados del país se pueden encontrar genotipos de higo diversificados por el color de su pulpa, que puede ser blanca, roja, púrpura o de colores intermedios, de cáscara verde, morada o negra, de forma redonda, aplanada de los polos o periforme, donde muchos de ellos son partenocárpicos, carácter que han adquirido a través de muchos años de selección, al suponer que cuando los españoles trajeron esta especie a nuestro país, no trajeron su polinizador natural (una pequeña avispa del género *Blastophaga*) y su domesticación posterior se hizo al seleccionar los esquejes de las plantas más rendidoras asociadas a los frutos con semillas abortivas.

El presente estudio es la culminación de seis años de trabajo con la higuera, que han implicado el establecimiento de experimentos para explorar los distanciamientos entre hileras y entre plantas para tener el mejor arreglo topológico (Mendoza, 2009) experimentar con el sistema de conducción de las ramas, definir el contenedor y el

sustrato más favorable para el manejo de la solución nutritiva, experimentar con las fechas de poda más favorables para la brotación y la producción de frutos, para concluir con los temas de esta tesis que permiten el conocimiento de la fisiología de las hojas, los frutos y los tallos productivos.

El cultivar 'Netzahualcoyotl', al presentar frutos partenocárpicos y responder favorablemente a un manejo intensivo, se puede establecer bajo cubierta plástica con malla antiáfidos, ya que no requiere polinizadores, lo que permite una mayor sanidad y producción inocua de frutos de excelente calidad, al no ser necesaria la aplicación de productos químicos para controlar plagas y enfermedades si se mejoran las prácticas de manejo para impedir su ingreso. Este cultivo puede cubrir con fruta fresca la amplia ventana del mercado nacional que dejan las principales especies de frutales como manzano, durazno, uva, tuna, fresa, naranja y mango, cuyas cosechas están concentradas en periodos cortos, lo cual favorece la importación de grandes volúmenes de productos frutícolas de otras partes del planeta.

En todas las regiones ecológicas de México la higuera persiste como componente florístico de los huertos familiares, por lo que, al proponerse como un sistema de producción intensiva, podría contribuir a atenuar la desnutrición de la población pobre del país y a la generación de riqueza por la creación de empleos y de divisas como un cultivo con potencial de exportación, ya que sólo Estados Unidos importa el equivalente a más de 11 millones de dólares anuales de higos frescos y procesados desde Turquía e Italia (FAO, 2010).

## **2. Revisión de literatura**

El higo aporta compuestos energéticos en forma de almidones y azúcares, como la glucosa y fructuosa (Aljane *et al.*, 2007); además, suministra cantidades importantes de minerales necesarios para el metabolismo, siendo el P, K, Ca, Mg, Na, Fe y Zn los

que se encuentran en mayor concentración (Saeed y Sabir, 2005), por lo que puede ser un complemento importante para la nutrición humana.

La búsqueda de mayores rendimientos de higo ha conducido a la aplicación de técnicas de fertirrigación programada, altas densidades de plantación, conducción de tallos productivos, manejo de invernaderos, macro túneles de cubierta plástica y diferentes tipos de podas de hojas, yemas y tallos.

La higuera presenta gran versatilidad para su producción, desde árboles plantados a campo abierto, con manejo extensivo y rendimiento de fruto que no supera las 10 t ha<sup>-1</sup>·año<sup>-1</sup>, hasta plantaciones intensivas bajo cubierta que pueden llegar a las 80 t ha<sup>-1</sup>·año<sup>-1</sup> (Melgarejo *et al.*, 2007). Su importancia económica mundial está presente en países como Turquía, Italia, España, Japón, Brasil y Argentina, donde se ha realizado amplia investigación sobre espaciamientos de plantación, podas, cultivares, fertilización, control de plagas y enfermedades, cosecha y empaclado (Maia de Sousa, 2003), permitiendo con ello el desarrollo de tecnología para la producción y el manejo poscosecha, con la cual es posible obtener altos rendimientos y calidad del fruto.

Las podas de la higuera en brotes basales, apicales y laterales, así como en tallos leñosos al final de la cosecha deben realizarse bajo condiciones ambientales favorables para inducir crecimiento y fructificación, procesos fisiológicos limitados por una temperatura mínima de 8° C y máxima de 36° C (Souza *et al.*, 2009). En España, en producción intensiva a cielo abierto con cuatro mil plantas por hectárea, se han mejorado los rendimientos hasta 5 840 kg ha<sup>-1</sup> con base en el manejo de podas (Puebla *et al.*, 2003; Aksoy *et al.*, 2003). La reducción de las distancias de plantación (3 x 2 m) con 1650 plantas ha<sup>-1</sup> y la fertilización nitrogenada orgánica y mineral han permitido hasta 22.5 t ha<sup>-1</sup> a cielo abierto (Wang, 2001), siendo común encontrar plantaciones con distanciamientos de 3 a 4 m entre árboles (Maimon, 1998) donde los mayores rendimientos y la aceleración de la maduración de los frutos se logró con el pinchado de la yema terminal de los tallos con 20 hojas incluyendo la eliminación de una hoja (Mi *et al.*, 1998).



La investigación para los usos de la biomasa no comestible de los cultivos, incluyendo la higuera, se ha orientado para la regeneración de suelos y la nutrición de árboles frutales en sistemas de producción intensiva con plantas de bajo porte y altas densidades (Wheeler, 2003).

### **3. Objetivos**

Con base en lo anterior se planteó como objetivo general de este estudio, generar tecnologías para el manejo y producción intensiva del cultivo del higo y conocer su efecto en la fisiología de la planta bajo cubierta plástica.

Se establecieron tres experimentos con objetivos específicos, como se describe a continuación, los cuales se reportan como capítulos de la presente tesis en formato de artículos científicos para ser publicados en revistas indexadas:

- 1) Respuesta fisiotécnica de la higuera (*Ficus carica* L.) a la remoción parcial de hojas y frutos cuyo objetivo particular fue el de evaluar los efectos de la eliminación parcial del área foliar y de frutos sobre la producción y distribución de biomasa en los órganos de la planta para favorecer el rendimiento.
- 2) Rendimiento y calidad de frutos de higuera (*Ficus carica* L.) en respuesta a su carga diferencial con el objetivo de evaluar la respuesta del manejo de diferente cantidad de frutos y hojas en tallos productivos sobre el rendimiento y distribución de la biomasa de la higuera en sistemas de producción intensiva bajo cubierta plástica.
- 3) Potencial de rendimiento de higo (*Ficus carica* L.) por tallos productivos diferenciales, con el objetivo de encontrar la mayor densidad de tallos productivos y frutos por tallo para mejorar el rendimiento de higo en sistemas de producción intensiva bajo cubierta plástica y conocer el rendimiento y distribución de la biomasa

en plantaciones de higuera con altas densidades (12500 plantas por hectárea) bajo diferentes prácticas de manejo de tallos productivos

#### 4. Literatura citada

- AKSOY, U.; CAN, H. Z.; MISIRLI, A.; KARA, S.; SEFEROĞLU, G.; ŞAHIN, N. 2003. Fig (*Ficus carica* L.) selection study for fresh market in Western Turkey. *Acta Horticulturae* 605: 197-203.
- ALJANE, F.; TOUMI, I.; FERCHICHI, A. 2007. HPLC determination of sugars and atomic absorption analysis of mineral salts in fresh figs of Tunisian cultivars. *African Journal of Biotechnology* 6(5): 599-602.
- FAO. 2010. FAO Statistical Databases (FAOSTAT). Publishing Management Service, Information Division, Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO). Via delle Terme di Caracalla, Rome, Italy. <http://faostat.fao.org>.
- MAIA DE SOUSA, R. M. 2003. Fig culture techniques. *Acta Horticulturae* 605: 99-101.
- MAIMON, A. 1998. The optimal density and fig tree (*Ficus carica* L.) pruning for a breba crop in Israel. *Acta Horticulturae* 480: 133-136.
- MELGAREJO, P.; MARTÍNEZ J. J., HERNÁNDEZ F., SALAZAR D. M. AND MARTÍNEZ R.. 2007. Preliminary results on fig soil-less culture. *Scientia Horticulturae* 111(3): 255-259.
- MENDOZA C. V. M. 2009. Producción intensiva de higo (*Ficus carica* L.) bajo invernadero. Colegio de Posgraduados. Tesis de Maestro en Ciencias 66 pp.
- MI, L.; YANG, K.; SHU, Z.; ZHOU, Y.; WANG, G. 1998. Study on the effect of pinching fruiting branches for 'Masui Dauphine' fig variety. *Journal of Fruit Science* 15(1): 89-90.

- PUEBLA, M.; TORIBIO, F.; MONTES, P. 2003. Determination of fruit bearing pruning date and cutting intensity in "San Pedro" (*Ficus carica* L) type fig cultivars. *Acta Horticulturae* 605:147-157.
- SAEED, M. A.; SABIR, A. W. 2005. Trace elements in the fruit of *Ficus carica* L. and their nutritional importance. *Hamdard Medicus* 48(4): 113-117.
- SOUZA, A. P. DE; SILVA, A. C. DA; LEONEL, S.; ESCOBEDO, J. F. 2009. Basic temperatures and thermal sum for the fig trees pruned in different months. *Revista Brasileira de Fruticultura* 31(2): 314-322.
- WANG, J. 2001. The high and quality production techniques for fig trees. *China Fruits* 2: 54.
- WHEELER, R. M. 2003. Carbon balance in bioregenerative life support systems: Some effects of system closure, waste management, and crop harvest index. *Advances in Space Research* 31(1):169-175.

## CAPÍTULO I.

### RESPUESTA FISIOTÉCNICA DE LA HIGUERA (*Ficus carica* L.) A LA REMOCIÓN PARCIAL DE HOJAS Y FRUTOS<sup>1</sup>

#### 1.1. Resumen

La higuera destaca por producir frutos de alto contenido nutrimental, aportando azúcares, minerales y antioxidantes. En México, persiste desde la época colonial como poblaciones criollas en regiones ecológicas muy diversas, con escaso manejo agronómico. Esta investigación se realizó para evaluar la respuesta de rendimiento de higo fresco y biomasa a la remoción parcial de hojas y frutos bajo cubierta plástica. Se utilizó el cultivar denominado "Netzahualcoyotl", de epicarpio negro pálido y pulpa púrpura. La plantación se estableció en suelo a un metro entre hileras y 0.5 m entre plantas, con cuatro tallos productivos, cada tallo con 18 frutos, en un diseño completamente al azar, tres repeticiones y una planta por unidad experimental. Se estudiaron siete tratamientos con eliminación de hojas o frutos del tallo productivo: seis hojas del tercio inferior; seis del tercio medio; seis del tercio superior; nueve de la mitad inferior; nueve de la mitad superior; remoción alternada de nueve frutos de 18 por tallo, y testigo sin eliminación de hojas ni frutos. La remoción de hojas o frutos no mejoraron el rendimiento de fruto ni la acumulación de biomasa total pero si la distribución de ésta en los órganos estudiados; con la eliminación de frutos se favoreció la acumulación biomasa en tallos. Ningún tratamiento mejoró el tamaño de fruto; pero la eliminación drástica de las hojas superiores resultó en frutos de menor peso y en una menor producción total de biomasa por planta.

**Palabras clave adicionales:** producción intensiva, producción bajo cubierta, relación fuente-demanda, distribución de biomasa.

---

<sup>1</sup> Enviado para su publicación como Artículo Científico en la Revista Chapingo, Serie Horticultura.

## 1.2. Abstract

The fig fruit is outstanding because of its high nutritional content, providing sugars, minerals and antioxidants. In Mexico, since colonial period, fig persists as Creoles in highly diverse ecological regions, with almost no management. This research was conducted to evaluate yield and biomass response to partial removal of leaves and fruit in fig grown under plastic covering. A clone with pale black epicarp and purple flesh, called "Netzahualcoyotl", was studied. Plants were established in soil 1 m between rows and 0.5 m between plants, which were managed with four productive branches, each with 18 nodes, leaves and fruits, in a randomized complete design with three replications, and one plant per experimental unit. Seven leaf or fruit removal treatments were studied: six leaves of the lower third, middle third, upper third, nine leaves of the lower half and nine of the top half of the branch, and, finally nine fruits out of 18 were removed alternately of productive branch; there was a control with no removal of leaves neither fruits. None treatment resulted in improvement of fruit yield and biomass production but dry matter partitioning was affected; removing half of crop resulted in higher dry matter allocated to shoots. No treatment improved fruit size, on the contrary, removing (a half) upper leaves resulted in lower fresh weight fruit and in less total biomass production per plant.

**Additional Keywords:** plastic cover, intensive production, biomass production, supply-demand relationship.

### 1.3. Introducción

El higo es un fruto de alta calidad nutrimental por su contenido de azúcares, minerales y antioxidantes. En México, la higuera (*Ficus carica* L.) existe como componente florístico de los huertos familiares en todas las regiones ecológicas, por lo que si se impulsa como un sistema de producción intensiva, podría contribuir a atenuar la desnutrición de la población pobre del país y a la generación de riqueza por la creación de empleos y de divisas como un cultivo con potencial de exportación, ya que Estados Unidos importa más de 11 millones de dólares anuales de higos frescos y procesados desde Turquía e Italia (FAO, 2010).

Este cultivo puede manejarse bajo cubierta plástica, para obtener producción durante todos los meses del año y cubrir con fruta fresca la amplia ventana del mercado nacional que dejan las principales especies de frutales como manzano, durazno, uva, tuna, fresa, naranja y mango, cuyas cosechas están concentradas en periodos cortos lo cual favorece la importación de grandes volúmenes de productos frutícolas de otras partes del planeta (FAO, 2010).

En el Valle de México, el periodo de cosecha de la higuera se presenta a partir de junio, y es limitada por el periodo de fuertes lluvias de julio a septiembre provocando grandes pérdidas de frutos por pudriciones antes de madurar, al penetrar el agua de lluvia por el ostiolo. Nienow *et al.* (2006), mencionan que los estudios más importantes de la higuera en Brasil, pretenden encontrar la tecnología para extender el periodo de cosecha, aumentar la productividad y minimizar las pérdidas de fruta por efecto de las lluvias abundantes. Ellos encontraron la mejor respuesta en plantas cultivadas bajo cubierta, donde se incrementó la producción por planta, se extendió el periodo de cosecha y se obtuvieron rendimientos de 43 t ha<sup>-1</sup>·año.

La higuera presenta gran versatilidad para su producción, desde árboles plantados a campo abierto con manejo extensivo y rendimiento de fruto que no supera las 10 t ha<sup>-1</sup>·año<sup>-1</sup>, hasta plantaciones intensivas bajo cubierta que pueden llegar a las 80 t ha<sup>-1</sup>·año<sup>-1</sup> (Melgarejo *et al.*, 2007).

La poda parcial o total de las hojas y ramas de la higuera contribuye al incremento del área foliar y aumenta el espesor de las hojas; estos son dos parámetros que favorecen el intercambio gaseoso y el contenido relativo de clorofila (González-Rodríguez y Peters, 2010); los mismos autores aseveran que esta poda favorece la circulación del aire dentro del dosel vegetal removiendo constantemente el CO<sub>2</sub> que se emplea en la fotosíntesis. La ruta de fotosíntesis de esta especie es del tipo C3 (Silva *et al.*, 2010), con hojas grandes, palmeadas y abundantes.

En un sistema de producción intensiva, la baja radiación reduce el espesor de la lámina de las hojas e incrementa el área foliar, pero con menor densidad estomática y menor parénquima en empalizada, el índice de área foliar se incrementa linealmente con el número de ramas productivas y el rendimiento de fruto muestra una respuesta cuadrática donde se limita su formación por el sombreado de la copa (Caetano *et al.*, 2005).

La búsqueda de usos para la biomasa no comestible de los cultivos, se ha orientado para la regeneración de suelos y la nutrición de árboles frutales en sistemas de producción intensiva con plantas de bajo porte y altas densidades (Wheeler, 2003). Otro uso importante de la biomasa de soya y girasol, es para la producción de energía alternativa en pequeños sistemas de gasificación (Zabaniotou *et al.*, 2010).

En los nuevos sistemas de producción intensiva de higo bajo cubierta es importante realizar estudios fisiotécnicos que ayuden a conocer la respuesta de la planta a prácticas de poda y saber la afectación de las relaciones fuente demanda para generar recomendaciones de manejo para una mayor producción total de biomasa y alta proporción de ella acumulada en los frutos, resultando en altos índices de cosecha.

Por lo anterior, se planteó el objetivo siguiente:

Evaluar los efectos de la eliminación parcial del área foliar y de frutos sobre la producción y distribución de biomasa en los órganos de la planta para favorecer el rendimiento.

#### **1.4. Materiales y métodos**

Localización del sitio experimental. La investigación se realizó con plantas formadas por el rebrote de tallos productivos durante el periodo de enero a junio de 2010, en un invernadero con cubierta plástica de 260 m<sup>2</sup> ubicado en Montecillo, Estado de México, a una altitud de 2240 msnm y coordenadas de 19° 27' 30" L N y 98° 54' 14" L O.

Material vegetal. Se utilizó un cultivar criollo denominado regionalmente como "Netzahualcoyotl", procedente de huertos de traspatio, con frutos de epicarpio negro pálido y pulpa de color púrpura, para el enraizamiento se usaron tallos productivos de crecimiento del año, cortadas de un árbol de seis años de edad de cuatro metros de altura.

Establecimiento y manejo del experimento. Las plantas fueron establecidas en marzo de 2006, en suelo, y bajo cubierta plástica, a partir de estacas, en un arreglo de plantación de 1.5 m entre hileras y 0.5 m entre plantas (13 333 plantas·ha<sup>-1</sup>), evaluándose el cuarto ciclo productivo anual en el 2010. Se manejaron a cuatro tallos productivos, con 18 frutos cada uno. Se regó por goteo manteniendo la humedad constante durante el experimento. La fertilización consistió en dos aplicaciones de lombricomposta por planta, una en marzo (1 kg) y otra en junio (1 kg), suplementándola con 50 g de urea por planta. Durante el periodo de maduración de fruto se realizaron tres aplicaciones de nitrato de calcio en forma foliar a dosis de 3 g por litro de agua.

Se aplicaron siete tratamientos: 1) eliminación de seis hojas del tercio inferior del tallo, 2) eliminación de seis hojas del tercio medio del tallo, 3) eliminación de seis hojas del tercio superior del tallo, 4) eliminación de nueve hojas de la mitad inferior



del tallo, 5) eliminación de nueve hojas de la mitad superior del tallo, 6) eliminación del 50 % de frutos (nueve) alternadamente, 7) testigo sin eliminación de hojas ni frutos.

La aplicación de los tratamientos se realizó el 18 de junio de 2010, 15 días después del pinchado de ramas a 18 frutos y se concluyó el 22 de octubre al término de la maduración de los frutos. La unidad experimental fue una planta, con tres repeticiones.

**Los caracteres evaluados fueron:**

Biomasa de tallo. (BT) (g). Al final de la cosecha se cortaron solo tres de los cuatro tallos por planta en sus tres repeticiones por tratamiento, se deshidrataron a peso constante en una estufa de secado marca Blue a 80 °C durante 96 horas y se registró el peso promedio de tallo.

Biomasa de lámina foliar (PH) (g). Las hojas sin peciolo de cada tratamiento se llevaron a peso constante y se registró el peso promedio individual de lámina foliar.

Biomasa de peciolo (BPC) (g). Los peciolos se seccionaron inmediatamente después del corte de las ramas, se llevaron a peso constante y se registró el promedio de cada unidad experimental.

Área foliar (AF) (dm<sup>2</sup>). Se midió el área foliar de la lámina de las hojas de cada tratamiento en un integrador marca LI-COR 3100.

Peso específico de hoja (PEH) (g·dm<sup>-2</sup>). Se aplicó la ecuación  $PEH = PH/AF$ ; donde, PEH= Peso específico de la hoja (g·dm<sup>-2</sup>); PH= Biomasa de la hoja individual (g) y AF=Área foliar de la hoja individual (dm<sup>2</sup>).

Peso fresco promedio de fruto por estrato (PFFE) (g). Conforme fueron madurando los frutos, se fueron cosechando y pesando por cada estrato de seis frutos.

Peso fresco promedio de fruto (PFPPF) (g). Se sumó el peso fresco total de frutos por planta y se dividió entre 72, que fue el número de frutos por planta, excepto en el tratamiento 6 en el cual fueron 36 al eliminar el 50% de ellos.

Rendimiento de fruto por hectárea ( $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). Se estimó al multiplicar el peso fresco promedio de fruto por el número de frutos por planta (72) y por el número de plantas por metro cuadrado (1.33) por diez mil.

Acumulación y distribución de biomasa. Al final del ciclo productivo se cuantificó y registró la distribución de la biomasa hacia los órganos de la parte aérea: tallos, hojas y frutos y al sumarlos se obtuvo la biomasa acumulada por planta. La BT, (BH+BPC) y BF (biomasa de fruto) se determinaron mediante muestreos destructivos obteniendo biomasa de las hojas y tallos, y de los frutos conforme fueron madurando. No se muestreo raíz.

Índice de Cosecha (IC). Esta variable se estimó mediante el cociente de BF dividida entre la biomasa total; al final se multiplicó por 100 para estimar el porcentaje de materia seca acumulada en fruto.

Se realizaron el análisis de varianza y las pruebas de comparación de medias (Tukey,  $P \leq 0.05$ ), utilizando el programa estadístico SAS versión 9.1.3, (Anónimo, 2006). Se usó un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones y una planta como unidad experimental.

## **1.5. Resultados**

El análisis de varianza indicó que, la biomasa de tallo, el área foliar de las ramas productivas de la higuera y el peso específico de hoja, presentaron diferencias significativas entre los tratamientos. En biomasa de lámina de hoja y peciolo no se registraron diferencias significativas (Cuadro 1.1).

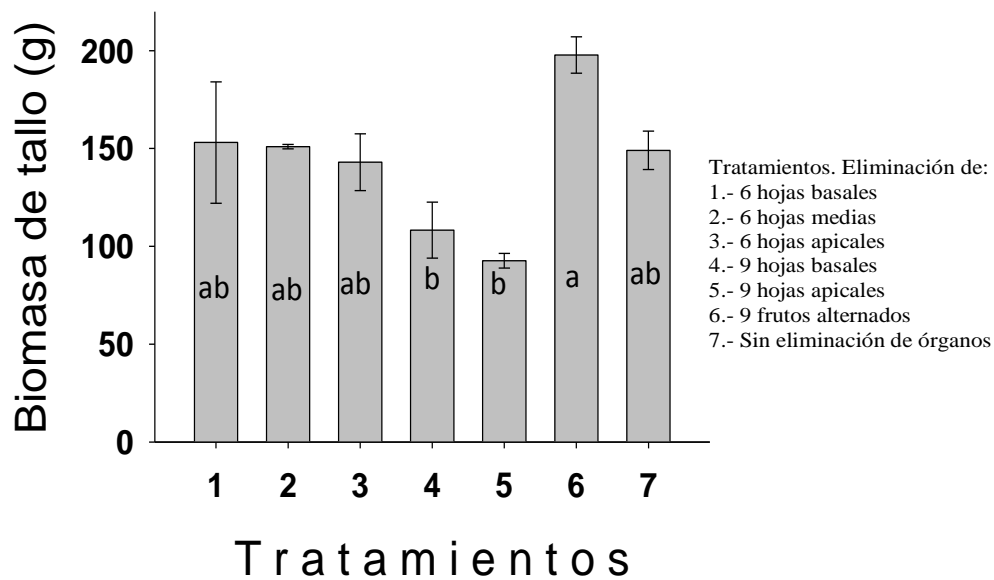
**CUADRO 1.1. Parámetros estadísticos al evaluar número de ramas productivas de higuera en un sistema intensivo bajo cubierta plástica**

VARIABLE	G. de libertad	Cuadrados medios	Coef. de variación	Media	Significancia
Área foliar	6	573.6	30.13	39.26 (dm <sup>2</sup> )	*
Peso específico de hoja	6	0.34	32.67	0.92 (g/dm <sup>2</sup> )	*
Biomasa de tallo	6	3472.9	18.31	142.08 (g)	**
Biomasa de hoja	6	0.48	13.06	3.51 (g)	No Sig.
Biomasa de peciolo	6	0.05	21.54	0.64 (g)	No Sig.

\*Significativo ( $P \leq 0.05$ ); \*\* Altamente significativo ( $P \leq 0.01$ )

**Biomasa de tallos.** En las pruebas de comparación de medias, no hubo diferencias en BT entre los tratamientos donde se eliminó un tercio de hojas basales, medias o apicales (T1, T2, y T3) ni cuando se eliminaron nueve frutos alternadamente de un total de 18 (T6), con respecto al testigo (T7). Cuando se eliminó la mitad de las hojas (T4 y T5), los tallos disminuyeron significativamente su peso (T4 y T5), respecto del tratamiento 6 con eliminación del 50 % de los frutos (Figura 1.1).

Entonces, la eliminación parcial de la demanda (frutos) en T6 contribuyó a un aumento de la biomasa de tallos en comparación con los tratamientos donde se suprimió la mitad de la fuente (hojas) (T4 y T5) pero no con respecto al testigo (T7) ni con los tratamientos donde se eliminó cualquier tercio de las hojas (T1, T2, y T3).

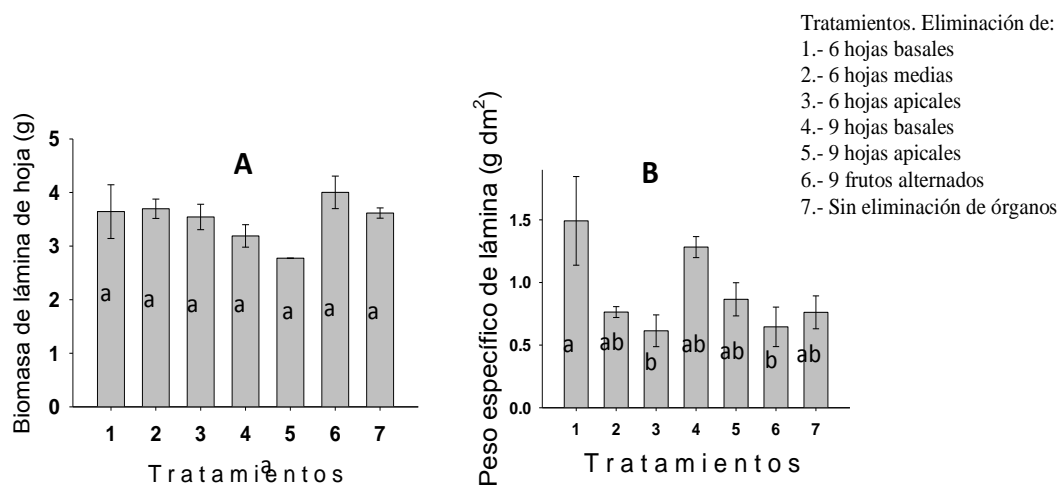


Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo a Tukey ( $P \leq 0.05$ )

**FIGURA 1.1. Biomasa de tallo de higuera al final de la cosecha en plantas con cuatro tallos y 18 frutos por tallo bajo cubierta plástica en respuesta a tratamientos con eliminación de hojas y frutos, Las líneas verticales en las columnas indican la desviación estándar del error.**

**Biomasa de lámina foliar y peso específico de hoja.** La biomasa de la lámina de las hojas (BH) no presentó diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 1.1 y Figura 1.2 A).

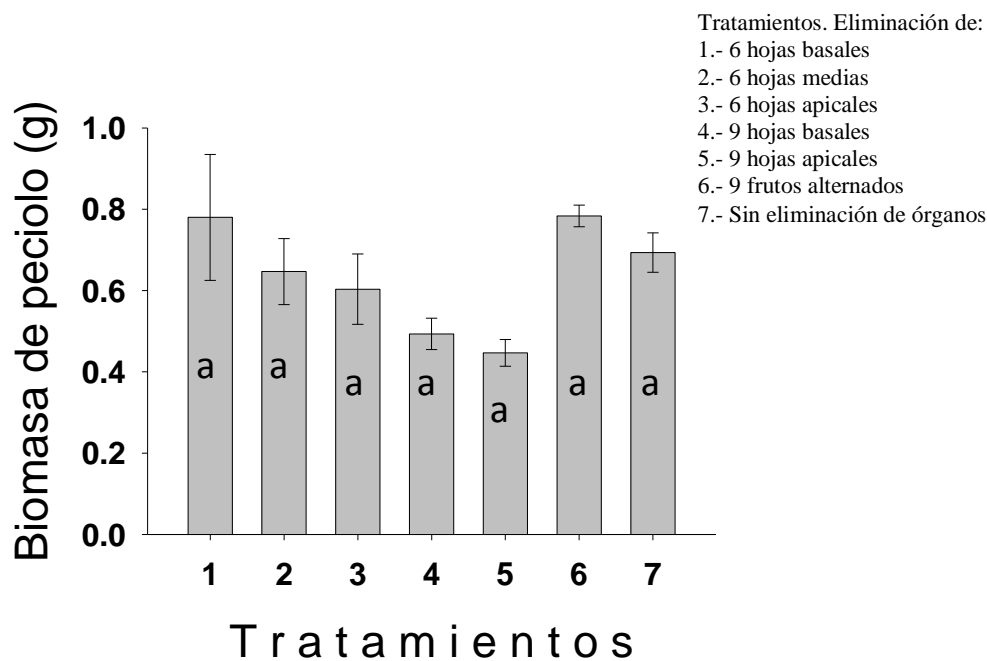
El peso específico de las hojas (PEH) mostró diferencias estadísticas entre tratamientos (Cuadro 1.1). Los tratamientos con menor PEH fueron los consistentes en la eliminación de hojas del tercio apical del tallo (tratamiento 3) y aquel en el que se eliminaron alternadamente los frutos (tratamiento 6) (Figura 1.2B); estos tratamientos con menor contenido de materia seca por unidad de área foliar sólo fueron significativamente menores al tratamiento consistente en la remoción de las hojas del tercio basal de los tallos.



Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo a Tukey ( $P \leq 0.05$ )

**FIGURA 1.2. Biomasa en hojas de higuera al final de la cosecha en plantas con cuatro tallos y 18 frutos por tallo bajo cubierta plástica en respuesta a tratamientos con eliminación de hojas o frutos A) Biomasa de lámina foliar, B) Peso específico de hoja. Las líneas verticales en las columnas indican la desviación estándar del error.**

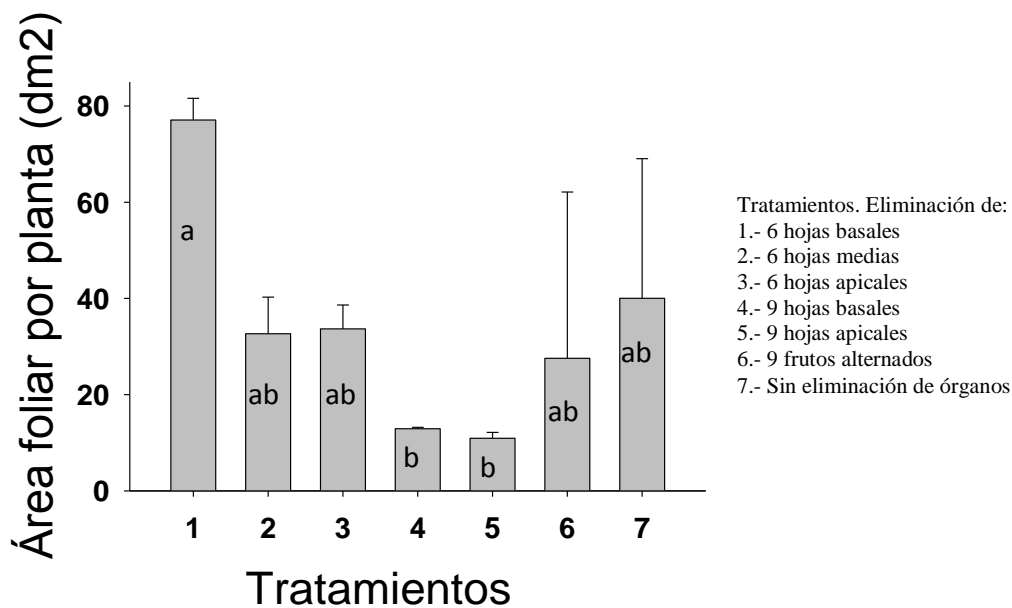
**Biomasa de peciolo.** No hubo diferencias entre tratamientos en la biomasa acumulada en los peciolos (BPC) (Cuadro 1.1 y Figura 1.3).



Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo a Tukey ( $P \leq 0.05$ )

**FIGURA 1.3. Biomasa de peciolo en higuera al final de la cosecha en plantas con cuatro tallos y 18 frutos por tallo bajo cubierta plástica en respuesta a tratamientos con eliminación de hojas y frutos. Las líneas verticales en las columnas indican la desviación estándar del error.**

**Área Foliar por planta (AF).** Los tratamientos con eliminación de un tercio de las hojas (T1, T2, y T3) y del 50 % de los frutos del tallo, alternadamente (T6), no presentaron diferencias con respecto al testigo (T7), pero cuando se eliminó la mitad de las hojas basales o apicales (T4 y T5), el área foliar de las hojas que permanecieron en la planta disminuyó hasta 64 % con respecto al testigo (T7) y fueron diferentes con el resto de los tratamientos (Figura 1.4).



Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo a Tukey ( $P \leq 0.05$ )

**FIGURA 1.4.** Área foliar de higuera al final de la cosecha en plantas con cuatro tallos y 18 frutos por tallo bajo cubierta plástica en respuesta a tratamientos con eliminación de hojas y frutos. Las líneas verticales en las columnas indican la desviación estándar del error.

**Peso promedio de fruto.** El análisis de varianza del peso promedio de fruto indica diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre los tratamientos estudiados (Cuadro 1.2).

El valor promedio del peso fresco de fruto se redujo en una tendencia de la parte basal (76.12 g) a la apical (51.71 g) de los tallos productivos (Cuadro 1.2).

**CUADRO 1.2. Parámetros estadísticos al evaluar el número de ramas productivas de higuera en cosecha de tallos productivos bajo un sistema intensivo bajo cubierta plástica**

VARIABLE	G. de libertad	Cuadrados medios	Coef. de variación	Media (g)	Significancia
Peso fresco de fruto apical	6	831.09	15.89	51.71	**
Peso fresco de fruto medio	6	341.83	14.65	65.13	**
Peso fresco de fruto basal	6	360.96	13.45	76.12	*
Peso fresco promedio de fruto	6	274.31	12.98	64.98	**

\*Significativo ( $P \leq 0.05$ ); \*\* Altamente significativo ( $P \leq 0.01$ )

**Peso fresco de fruto por estrato.**

El peso fresco de los frutos apicales del tratamiento en el que se eliminaron 9 hojas basales (T4) fue superior a todos los tratamientos, incluido el testigo (T7) (Figura 1.5A).

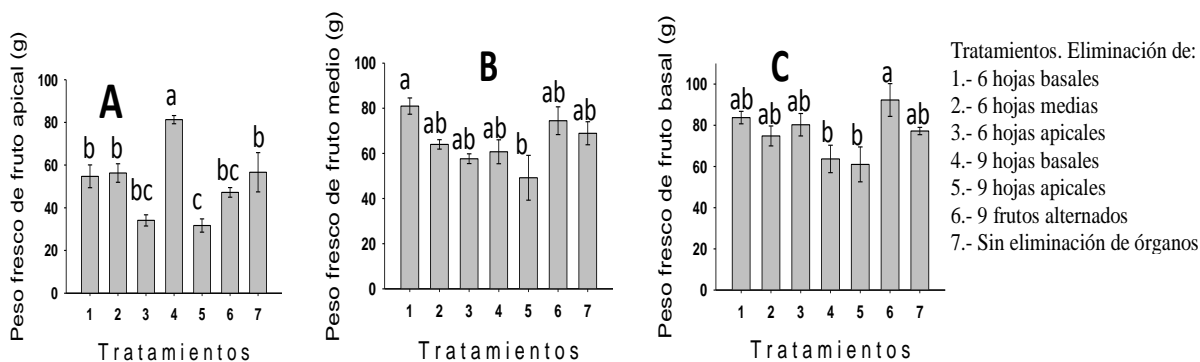
El tratamiento con eliminación de la mitad superior de las hojas del tallo productivo (T5) tuvo menor peso de fruto fresco, con respecto al testigo (T7) y los tratamientos sin un tercio de hojas apicales y medias (T1 y T2) (Figura 1.5A).

Los resultados del peso promedio de fruto del tercio medio de los tallos productivos (Figura 5B), indican que el tratamiento con eliminación de seis hojas basales (T1), fue superior al que se le eliminaron nueve hojas apicales (T5), pero ambos iguales al resto de los tratamientos (T2, T3, T4, T6 y el testigo T7).

El peso fresco de los frutos basales (Figura 1.5 C) fue menos afectado por los tratamientos, debido, a que cuando se inició el experimento ya se encontraban en un proceso de crecimiento más avanzado. Los frutos basales más grandes fueron los del tratamiento donde se eliminó el 50 % de ellos (T6); sin embargo, el efecto de este tratamiento sólo superó significativamente a los tratamientos con remoción de la mitad de las hojas (tratamientos 4 y 5). Aun con la permanencia de la mitad de los



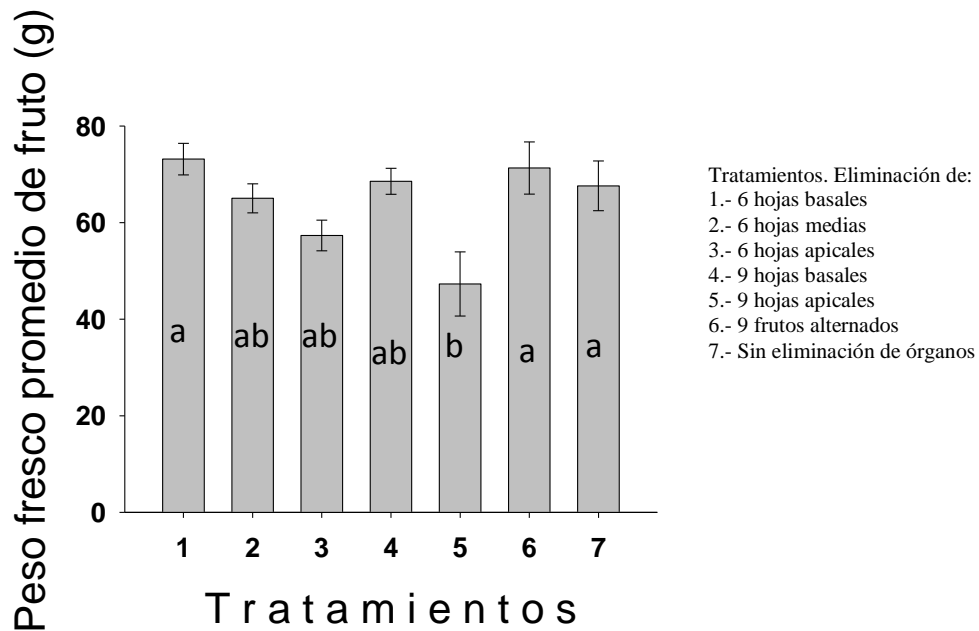
frutos, no hubo diferencias con los tratamientos con todos los frutos donde se eliminó la fuente (hojas) en cualquiera de los tercios del tallo (T1, T2, y T3) y el testigo (T7).



Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo a Tukey ( $P \leq 0.05$ )

**FIGURA 1.5. Medias de peso fresco de frutos de higuera en tres estratos de tallos productivos con 18 frutos por tallo bajo cubierta plástica; en respuesta a tratamientos con eliminación de hojas y frutos. A) Frutos de la parte apical del tallo, B) Frutos de la parte media y C) Frutos de la parte basal. Las líneas verticales en las columnas indican la desviación estándar del error.**

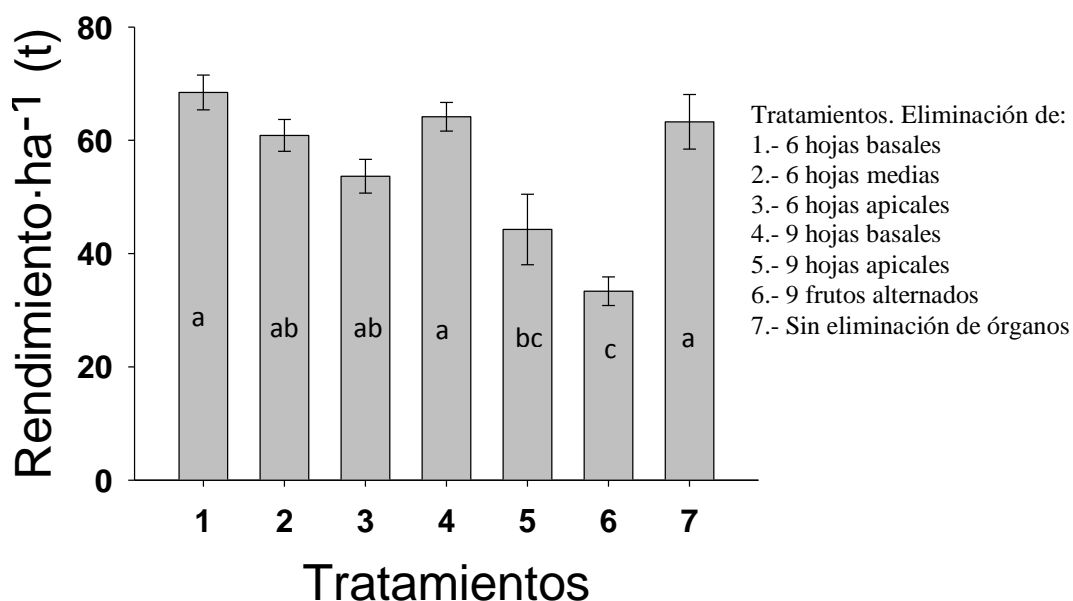
**Peso fresco promedio de fruto por planta.** El único tratamiento que resultó afectado negativamente en el peso fresco promedio de fruto por planta (PFPP) fue el consistente en la eliminación del 50 % de las hojas del estrato superior (T5). Todos los demás tratamientos, incluido la eliminación de la mitad de la carga de frutos (T6), resultaron en frutos con similar peso fresco promedio sin diferencias con el testigo (T7) (Figura 1.6).



Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo a Tukey ( $P \leq 0.05$ )

**FIGURA 1.6. Peso fresco promedio de frutos de higuera bajo cubierta plástica; en respuesta a tratamientos con eliminación de hojas y frutos. Las líneas verticales en las columnas indican la desviación estándar del error.**

**Rendimiento de fruto fresco.** Al comparar el rendimiento estimado de fruto fresco ( $t \text{ ha}^{-1}$ ), se observó (Figura 1.7) que ningún tratamiento de remoción de hojas o frutos mejoró el rendimiento de fruto fresco del tratamiento testigo. Por el contrario, los tratamientos de remoción de la mitad de las hojas superiores y de la mitad de los frutos (T5 y T6, respectivamente) mostraron un rendimiento significativamente menor que las plantas no tratadas (T7) (Figura 1.7) y que las plantas de los tratamientos con remoción del tercio basal (T1) y la mitad de las hojas basales (T4). La eliminación de frutos (T6) claramente afectó al rendimiento de manera similar a cuando se eliminan la mitad de las hojas del estrato apical (T5).



Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo a Tukey ( $P \leq 0.05$ )

**FIGURA 1.7. Medias de rendimiento de frutos de higuera estimado por hectárea bajo cubierta plástica; en respuesta a tratamientos con eliminación de hojas y frutos, Las líneas verticales en las columnas indican la desviación estándar del error.**

**Acumulación y distribución de biomasa e Índice de Cosecha (IC).** Ningún tratamiento superó significativamente la acumulación de biomasa total por planta al testigo (Figura 1.8). Por el contrario, el tratamiento 5, consistente en eliminación de la mitad de las hojas del estrato superior (T5), muestra una menor producción de biomasa total por planta.

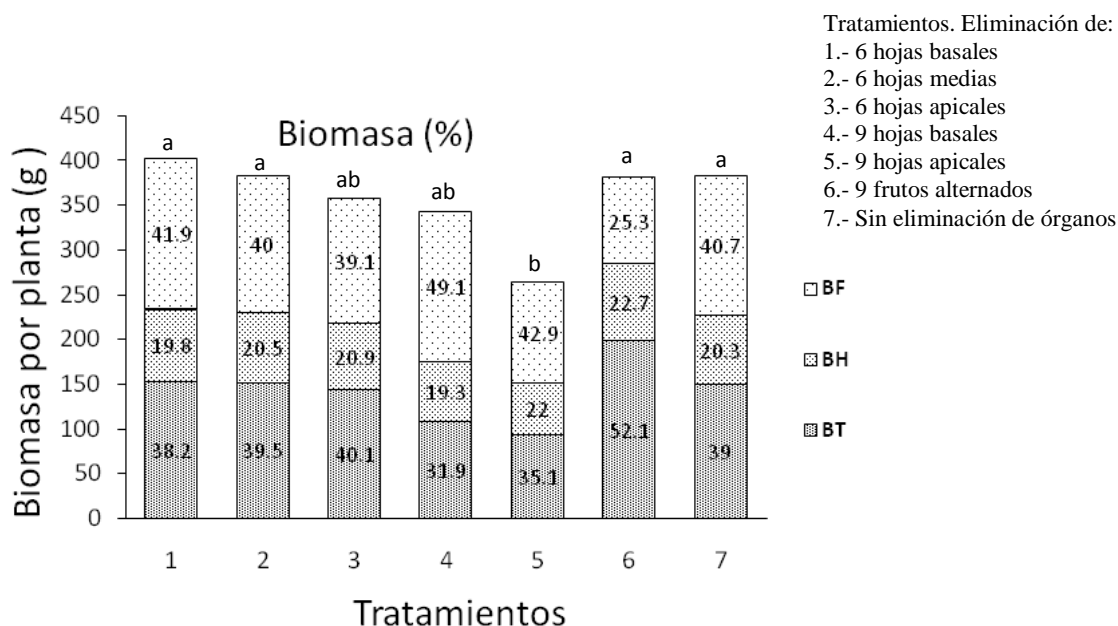
Al observar la distribución de la biomasa acumulada en los tres órganos separados, se nota que los tallos y los frutos fueron los dos órganos de la parte aérea de la higuera que acumularon más biomasa al final del ciclo productivo anual (Figura 1.8).

Cuando la demanda de fotoasimilados disminuyó al eliminar 50 % de los frutos en el tratamiento 6, se afectó significativamente la acumulación de biomasa en éstos y así se obtuvo el menor porcentaje de IC (25.3 %), mientras que el 52.1 % se concentró

en los tallos, aprovechando los productos de la fotosíntesis aportados por el 100 % de las hojas (Figura 1.8).

Cuando se eliminó 50 % de las hojas basales (T4) y se mantuvo el 100 % de los frutos, el tallo acumuló menos biomasa (almacenó sólo 31.9 %), para mantener los frutos como sus órganos más importantes, donde se acumuló 49.1 % de la biomasa total, siendo el mayor IC registrado (Figura 1.8).

Con la eliminación del 50 % de la fuente apical (T5), todos los órganos se afectaron y se redujo significativamente la acumulación total de biomasa en la planta.



BF = Biomasa de fruto, BH = Biomasa de hoja y BT = Biomasa de tallo  
 Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo a Tukey ( $p \leq 0.05$ )

**FIGURA 1.8. Acumulación total de biomasa y su distribución en distintos órganos de higuera cultivada bajo cubierta plástica, en respuesta a tratamientos con eliminación de hojas y frutos**

## 1.6. Discusión

En esta investigación se estableció la importancia que tienen las hojas como fuente de asimilación de carbono para la construcción de biomasa y su relación con el rendimiento de fruto de higuera.

La eliminación parcial de hojas probablemente mejoró el flujo de aire al interior del dosel, favoreciendo las condiciones de renovación de CO<sub>2</sub> para tener una fuente de fotoasimilados más eficiente, como lo mencionan Amano *et al.* (1972), quienes afirman que la fotosíntesis en la higuera es altamente influenciada por el movimiento del aire; sin embargo, en el presente estudio ni la remoción de las hojas de cualquiera de los tercios de los tallos productivos (T1, T2, T3) ni la remoción más severa de la mitad basal (T4) tuvo diferencias significativas con el testigo (T7). La eliminación drástica de la mitad de las hojas superiores (T5) afectó negativa y significativamente el rendimiento de fruto fresco, al mostrar una producción inferior al testigo (T7) (Figura 1.7).

Al observar el efecto de los tratamientos sobre el PEH, es notable que no hubo diferencias con el testigo pero hay diferencias significativas entre remover el tercio apical (T1) y el tercio basal (T3) (Figura 1.2) con mayor PEH en el primero; asimismo, la eliminación alternada de frutos (T6) tuvo el efecto de disminuir el PEH respecto al tratamiento de la remoción del tercio basal (T1).

La eliminación parcial de hojas pudo mejorar la penetración de luz, favoreciendo, el incremento de cloroplastos en las hojas y un mayor desarrollo del parénquima en empalizada, como lo indican Nii y Kuroiwa (1990), quienes encontraron que en hojas sombreadas el almidón de los cloroplastos desaparece y se forman plastidios grandes que con la iluminación se separan y se distribuyen uniformemente a lo largo de las hojas contribuyendo a la formación del sistema de tilacoides.

La práctica de remoción de hojas asociada a la conducción de los tallos en dos planos, formando una "V", como fue el caso del presente estudio en higuera,

favoreció por igual a todos los tratamientos, generando rendimientos de fruto fresco igualmente altos en todos ellos, incluido el testigo sin remoción alguna, excepto en el tratamiento de remoción severa de las hojas apicales (T5).

Aun cuando el tratamiento con eliminación de nueve hojas basales (T4) implicó una severa disminución del área foliar total por planta (Figura 1.4), no redujo su peso fresco promedio de fruto (Figura 1.6), igualando a los tratamientos con 12 y 18 hojas por tallo productivo, incluido el testigo; tampoco se afectó el rendimiento de fruto por hectárea (Figura 1.7), pero la distribución de la acumulación de biomasa hacia hojas y tallos se mostró menor, resultando en el mayor índice de cosecha (49.1 %) (biomasa de frutos en relación a la biomasa total) (Figura 1.8). Ese tratamiento presentó hojas normales y tallos poco vigorosos.

Se ha establecido (González-Rodríguez y Peters, 2010) que el área foliar, el espesor y la inclinación de las hojas, son parámetros que favorecen el intercambio gaseoso, el contenido relativo de clorofila y la asimilación neta de carbono, para lo cual, son también importantes el número de estomas y la turgencia o contenido relativo de agua (Can *et al.*, 2000). Esto ayuda a explicar el buen desempeño del tratamiento 4 que aun con eliminación severa de la mitad de las hojas basales (T4), la mitad restante con buena iluminación y aireación de la parte apical fue capaz de mantener el peso de fruto, el rendimiento total del mismo, y la acumulación y buena distribución de biomasa.

Cuando se eliminaron nueve hojas apicales (T5), BT y BH fueron 55 y 31 %, respectivamente, menores, comparados con el tratamiento que presentó los tallos más pesados (T6); asimismo, esta eliminación más severa de hojas resultó en una notable menor producción de biomasa total por planta. El área foliar total por planta se vio disminuida en 64.85 %, con respecto al testigo (T7) (Figura 1.4). Por tales razones, los rendimientos de (T5) fueron los más bajos (Figura 1.7), coincidiendo con Kutlu *et al.* (2000) quienes afirman que una buena respuesta de adaptación y producción de la higuera depende de la fotosíntesis, la transpiración y la

conductancia estomática, área foliar, número de estomas, turgencia relativa e índice de succulencia en hoja.

El peso de fruto fresco en el estrato del tercio superior de las plantas con eliminación de hojas apicales (T3 y T5), disminuyó drásticamente en 58 % (47.2 g) y 61 % (49.63 g) respectivamente con respecto al de mayor rendimiento (T4) (Figura 1.5), lo que significa que los frutos, aunque realizan fotosíntesis cuando están verdes ( y en este caso sin su hoja), no es suficiente para su crecimiento normal, lo que confirma Smillie (1992), al encontrar evidencias de actividad fotosintética en estos órganos, y que una parte del CO<sub>2</sub> fijado en los frutos se deriva de su propia actividad fotosintética, pero es menor que la realizada por las hojas, quedando los frutos muy pequeños.

La higuera produce más del 50 % de biomasa no comestible (Figura 1.8) en tallos y hojas que pueden ser usadas para la regeneración de suelos y la nutrición de árboles frutales o para la producción de energía alternativa a partir de biomasa agrícola en pequeños sistemas de gasificación, lo que coincide con lo planteado por Wheeler (2003) y Zabaniotou *et al.* (2010), quienes confirman la utilidad de la biomasa de residuos de cosecha bajo sistemas de producción intensiva, con altas densidades y la pasta de oleaginosas como soya y girasol.

## **1.7. Conclusiones**

La remoción parcial de un tercio de las hojas en cualquier posición de los tallos productivos no afecta la producción de biomasa ni de fruto fresco en higuera bajo producción intensiva bajo cubierta plástica.

Las hojas apicales juegan un papel determinante para mantener altos rendimientos de biomasa y de fruto en higuera; no se recomienda la eliminación de la fracción superior pues se reduce rendimiento y tamaño de fruto.

La remoción de frutos en higuera no mejora el tamaño promedio de los que permanecen pero si resulta en disminución drástica significativa del rendimiento por hectárea.

La eliminación de la mitad de la demanda (frutos) en higuera, sin afectar la fuente (área foliar), no afecta la producción total de biomasa pero si se afecta la distribución de ésta al aumentar significativamente su acumulación en tallos, ante la falta de frutos.

### **1.8. Literatura citada**

AMANO, S.; HINO, A.; DAITO, H.; KURAOKA, T. 1972. Studies on photosynthetic activity in several kinds of fruit tree. I. Effect of some environmental factors on the rate of photosynthesis. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 41(2): 144-150.

ANÓNIMO. 2006. Base SAS 9.1.3. Procedures Guide, Second Edition. Volumes 1, 2, 3, and 4. SAS Institute Inc. Cary, NC.

CAETANO, L. C. S.; CARVALHO, A. J. C. DE; CAMPOSTRINE, E.; SOUSA, E. F. DE; MURAKAMI, K. R. N.; CEREJA, B. S. 2005. Effect of the number of productive branches on the leaf area development and fig tree yield. *Revista Brasileira de Fruticultura* 27(3): 425-429.

CAN, H. Z.; HEPAKSOY, S.; AKSOY, U.; KUTLU, E. 2000. Leaf characteristics and net gas exchange of fig cultigens adapted to different climatic zones. *Acta Horticulturae* 516: 131-138.

FAO. 2010. FAO Statistical Databases (FAOSTAT). Publishing Management Service, Information Division, Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO). Via delle Terme di Caracalla, Rome, Italy. <http://faostat.fao.org>.



- GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, A. M.; PETERS, J. 2010. Strategies of leaf expansion in *Ficus carica* L. under semiarid conditions. *Plant Biology* 12(3): 469-474.
- KUTLU, E.; CAN, H. Z.; AKSOY, U.; HEPAKSOY, S. 2000. Evaluation of gas exchange capacity and physiological responses of selected Sarilop (= Calimyrna) fig clones. *Acta Horticulturae* 517: 59-64.
- MELGAREJO, P.; MARTÍNEZ, J. J.; HERNÁNDEZ, F.; SALAZAR, D. M. AND MARTÍNEZ, R. 2007. Preliminary results on fig soil-less culture. *Scientia Horticulturae* 111(3): 255-259.
- NIENOW A.A.; CHAVES A.; LAJUS, C. R.; C.; CALVETE, E. O. 2006. Fig-growing under protecting environment, submitted to different pruning times and number of branches. *Revista Brasileira de Fruticultura* 28(3): 421-424.
- NII, N.; KUROIWA, T. 1990. Changes of chloroplast ultrastructure and plastid nucleoids during greening under light in etiolated fig leaves (*Ficus carica*). *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 59(2): 333-340.
- SILVA, A. C. DA; LEONEL, S.; SOUZA, A. P. DE; DOMINGOS, J. R.; DUCATTI, C. 2010. Gas exchanges and cycle photosynthetic in fig tree 'Roxo de Valinhos'. *Ciência Rural* 40(6): 1270-1276.
- SMILLIE, R. M. 1992. Calvin cycle activity in fruit and the effect of heat stress. *Scientia Horticulturae* 51: 83-95.
- WHEELER, R. M. 2003. Carbon balance in bioregenerative life support systems: Some effects of system closure, waste management, and crop harvest index. *Advances in Space Research* 31(1):169-175.
- ZABANIOTOU, A., KANTARELIS, E., SKOULOU, V., CHATZIAVGoustis, TH. 2010. Bioenergy production for CO<sub>2</sub>-mitigation and rural development via valorisation of low value crop residues and their upgrade into energy carriers: A challenge for sunflower and soya residues. *Bioresource Technology* 101(2): 619-623.

## CAPÍTULO II

### RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTOS DE HIGUERA (*Ficus carica* L.) EN RESPUESTA A CARGA DIFERENCIAL DE FRUTOS<sup>2</sup>

#### 2.1. Resumen

Los sistemas de producción intensiva en higuera buscan el establecimiento de genotipos, sobresalientes, con altas densidades, excelentes características nutrimentales y alta productividad de biomasa expresada en el fruto; también, desarrollar prácticas de manejo para incrementar sus rendimientos. En esta investigación se evaluaron opciones de manejo de las plantas con diferente cantidad de frutos por tallo productivo. Se utilizó una población criolla del Valle de México denominada “Netzahualcoyotl”, con epicarpio negro pálido y pulpa de color púrpura. Se evaluaron plantas establecidas en macetas, bajo cubierta plástica y con fertirrigación en un sistema de producción intensiva con 1.25 plantas por m<sup>2</sup> con seis tallos productivos por planta. Se usaron como tratamientos diferente número de frutos por tallo: 12, 14, 16, 18, 20 y 22, en un diseño completamente al azar, cinco repeticiones y una planta por unidad experimental. Los mayores rendimientos de fruto fresco se obtuvieron en plantas con 20 y 22 frutos por tallo, con una producción de 85.8 y 92.1 t·ha<sup>-1</sup>, sin afectarse el tamaño de fruto. La acumulación estimada de biomasa total de la parte aérea fluctuó entre 16.3 y 26.5 t·ha<sup>-1</sup>. El mayor índice de cosecha registrado fue de 0.54 y correspondió a las plantas con 20 frutos por tallo lo que indica una mayor eficiencia de distribución de biomasa a fruto. Los sistemas de producción intensiva bajo cubierta con 1.25 plantas por m<sup>2</sup>, con seis tallos productivos por planta y 18 a 22 frutos por tallo productivo fueron los de mayor rendimiento de fruto fresco y biomasa total.

---

<sup>2</sup> Enviado para su publicación como Artículo Científico en la Revista Chapingo, Serie Horticultura.

**Palabras clave adicionales:** Producción y distribución de biomasa, productividad de frutos, producción intensiva, relación fuente-demanda.

## 2.2. Abstract

Fig intensive production systems, pursue the establishment of improved genotypes, with excellent nutritional characteristics and high productivity of biomass allocated to fruit in high densities; at the same time, management practices are developed to increase yields. In this study, different management options of plants with different number of fruits per productive stem were evaluated. A clone of creole fig from the Valley of Mexico, called "Netzahualcoyotl", was used; it has pale black epicarp and purple pulp. Potted plants established under plastic cover and fertigation were evaluated in an intensive production system with 1.25 plants per m<sup>2</sup> with six productive stems per plant. Different number of fruits per productive stem were studied as treatments: T1=12, T2=14, T3=16, T4=18, T5=20 and T6=22 fruits, in a completely randomized design, with five replications and using one plant as experimental unit. The highest yields of fresh fruit were obtained in plants with 20 and 22 fruits per stem, with respective fruit yield of 85.8 and 92.1 t ha<sup>-1</sup>, with no effect on fruit size. Total estimated accumulated biomass of the canopy fluctuated between 16.3 and 26.5 t ha<sup>-1</sup>. The highest recorded harvest index was 0.54 and corresponded to plants with 20 fruits per stem, which indicates the highest efficiency in dry matter partitioning to fruit. The intensive production systems under plastic covering with 1.25 plants per m<sup>2</sup>, with six productive stems per plant and 18 to 22 fruits per stem had the highest fresh fruit yield and total biomass production.

**Additional Keywords:** Dry matter production and partitioning, fruit productivity, intensive production, supply-demand ratio.

### 2.3. Introducción

Históricamente, la producción de alimentos ha estado asociada a la selección de genotipos con frutos agradables al paladar, como los higos, palatabilidad que se relaciona con su contenido de azúcares, proteínas, minerales y almidones. Más recientemente la hibridación y la transferencia génica han contribuido a la obtención de genotipos vegetales de sobresalientes características genéticas y muy alta productividad de biomasa. A la par, se han desarrollado prácticas de manejo para incrementar sus rendimientos (Aksoy *et al.*, 2003).

La higuera presenta un rápido incremento del área foliar en la primera etapa de crecimiento, con elevadas tasas fotosintéticas que permiten el almacenamiento de 20 % de fotoasimilados para su uso posterior (Abdel-Razik y El-Darier, 1991).

La gran cantidad de residuos de biomasa podada de los frutales manejados en sistemas de producción intensiva como la higuera, pueden utilizarse para producir energía potencial renovable como un puente de sustitución de la energía no renovable (Bilandžija *et al.*, 2012).

En la actualidad en diferentes países se ha venido incrementando la investigación para la utilización de la biomasa de los cultivos en la generación de energía alternativa así, en Malasia se han incrementado los estudios para usar el aceite de palma para la producción de biogás, buscando disminuir los problemas ambientales generados por las fábricas de aceite. (Hosseini *et al.*, 2013); en Ecuador y Costa Rica Graefe *et al.* (2011) demostraron que los azúcares del plátano cuya planta se usa para sombra del café, generan 3.4 a 4.4 t ha<sup>-1</sup> de biomasa seca, lo que representa de 118 a 266 L de etanol producido sobre una base anual, con la pasta de soya y girasol Zabaniotou *et al.* (2010), produjo energía alternativa en forma de gas metano en pequeños sistemas de gasificación

La búsqueda de mayores rendimientos de higo ha conducido a la aplicación de técnicas de fertirrigación programada, altas densidades de plantación, conducción de tallos productivos, manejo de invernaderos, macro túneles de cubierta plástica y diferentes tipos de podas de hojas, yemas y tallos, lo que ha dado pie a plantear el objetivo siguiente: evaluar la respuesta del manejo de diferente cantidad de frutos y hojas en tallos productivos sobre el rendimiento y calidad de fruto, y distribución de la biomasa de la higuera en sistemas de producción intensiva bajo cubierta plástica.

## **2.4. Materiales y métodos**

### **Localización del sitio experimental**

La investigación se realizó bajo condiciones de invernadero en el Campo Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicado a los 19° 27' 30" latitud norte y 98° 54' 14" longitud oeste y una altitud sobre el nivel del mar de 2240 m.

Material vegetal. Se utilizó un cultivar criollo denominado regionalmente como "Netzahualcoyotl", procedente de huertos de traspatio, con frutos de epicarpio negro pálido y pulpa de color púrpura; para el enraizamiento se usaron tallos productivos de crecimiento del año, cortados de un árbol de siete años de edad de cuatro metros de altura.

Establecimiento del experimento. Las plantas fueron establecidas a partir de estacas en marzo de 2009, siendo el segundo ciclo productivo anual en 2011. Se utilizó un arreglo topológico de 1.6 m entre hileras y 0.5 m entre plantas, lo que correspondió a una densidad de población de 1.25 plantas·m<sup>-2</sup>. El enraizamiento se llevó a cabo durante 60 días en un contenedor, usando turba como sustrato, con estacas de 25 cm de longitud tratadas con ácido indolbutírico potásico a una concentración de 200 ppm.

Al retirar las plantas de la cámara de enraizamiento, éstas se establecieron en macetas de plástico de color negro de 40 L, utilizando como sustrato una mezcla de 10% de lombricomposta, 45% de tezontle rojo y 45% de tezontle blanco o tepojal.

Se estableció un sistema de riego con emisores auto regulados a 4 litros·hora<sup>-1</sup> con cuatro estacas de 12 cm con un gasto de un litro por hora, manejado con un programador de tiempo (Galcon 8006-AC 6) con un riego de 3 minutos por hora de las 9:00 am a las 6:00 pm.

Se aplicó solución nutritiva utilizando una formulación, en mg·L<sup>-1</sup>, de 940 de nitrato de calcio, 200 de nitrato de potasio, 340 de sulfato de potasio, 55 de fosfato mono amónico, 490 de sulfato de magnesio, 15 de sulfato ferroso, 4 de sulfato de manganeso, 4.5 de bórax, 0.4 de sulfato de cobre, 0.4 de sulfato de zinc, con 0.067 ml de ácido fosfórico y 0.033 ml de ácido sulfúrico. La solución registró un pH de 5.6 y una conductividad eléctrica de 2.61 dS·m<sup>-1</sup>.

El experimento se inició el 15 de noviembre de 2010 y se concluyó en noviembre de 2011, al término de la maduración de los frutos.

Tratamientos, diseño y unidad experimental. Las plantas se manejaron con seis tallos productivos cada una. Los tratamientos consistieron en cargas diferenciales de frutos por tallo determinadas al momento del pinchado una vez que los tallos alcanzaron el número de frutos por tallo del tratamiento respectivo; 12 frutos (T1), 14 frutos (T2), 16 frutos (T3), 18 frutos (T4), 20 frutos (T5), 22 frutos (T6). Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cinco repeticiones para cada tratamiento, con una maceta conteniendo una planta como unidad experimental.

**Los caracteres evaluados fueron:**

Longitud y diámetro de fruto (cm). Se registró el diámetro polar y ecuatorial del fruto con un vernier digital marca Mitutoyo.

Peso fresco de fruto (g). Conforme fueron madurando los frutos, se fueron cosechando, registrando el peso fresco de cada unidad experimental. El periodo de cosecha fue de julio a septiembre de 2011.

Contenido de sólidos solubles totales o grados Brix (%). Se obtuvo con un refractómetro digital marca HANNA, modelo HI 96801, después de agregar una gota de jugo de una porción de fruto exprimida con una tela de raso.

Rendimiento de fruto por hectárea ( $t\ ha^{-1}$ ). El peso fresco de fruto se multiplicó por el número de frutos por planta, por la cantidad de plantas contenidas en un metro cuadrado (1.25) y por diez mil para la extrapolación a hectáreas.

Producción de biomasa por planta (kg). La acumulación de biomasa se obtuvo al sumar la biomasa de tallos, hojas y frutos. No se incluyó la raíz.

Biomasa de frutos por planta (g). Esta variable se obtuvo al someter los frutos de cada unidad experimental a  $70\ ^\circ C$  por 72 horas en una estufa de secado marca Blue; se obtuvo el promedio por fruto y se multiplicó por el número de frutos por planta.

Biomasa de hojas y tallos por planta (g). Al final de la cosecha se separaron las hojas y tallos de cada planta y se introdujeron en una estufa de secado marca Blue a  $80^\circ C$ , por 72 horas para las hojas y 96 horas para los tallos.

Índice de área foliar. Se obtuvo al dividir el área foliar por planta entre 0.8 que fue la superficie ocupada por cada planta.

Índice de cosecha. Se obtuvo al dividir el rendimiento de fruto (rendimiento económico ó agronómico) entre la biomasa total.

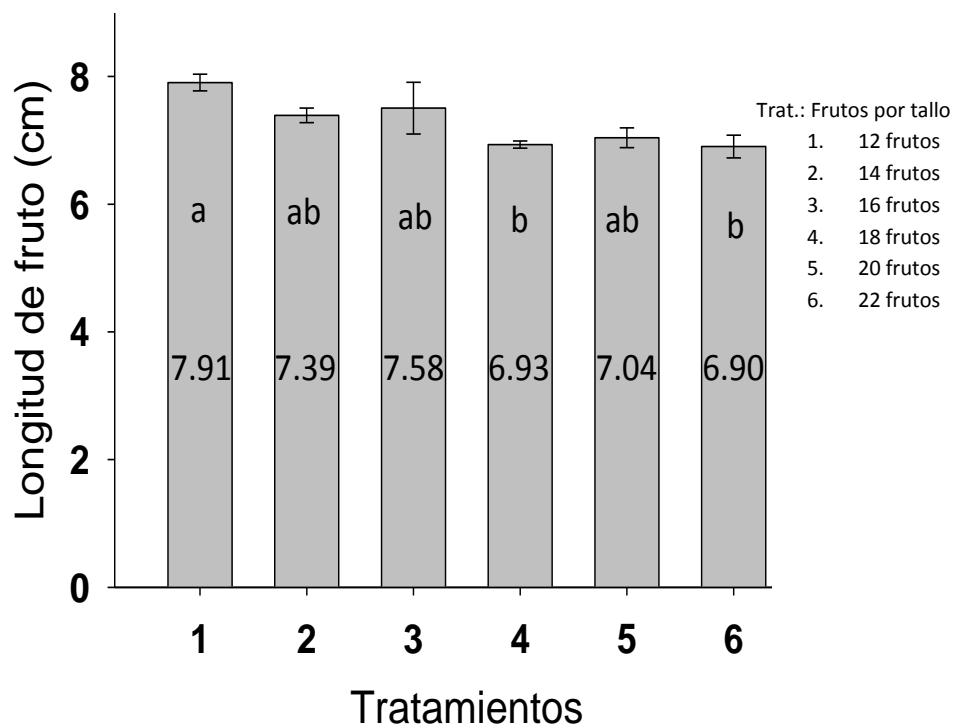
### **Análisis estadístico**

Se hizo un análisis de varianza y se aplicaron las pruebas de comparación múltiple de medias (Tukey,  $P \leq 0.05$ ), utilizando el programa estadístico SAS versión 9.1.3, (SAS Institute, 2006). Se usó un diseño experimental completamente al azar con cinco repeticiones y una planta como unidad experimental.

## 2.5. Resultados

### Longitud de fruto

En la Figura 2.1 se destacan los tratamientos que se manejaron con 12 (T1), 14 (T2), 16 (T3) y 20 (T5) frutos por tallo productivo, sin diferencias estadísticas entre ellos. Los tratamientos con 18 (T4) y 22 (T6) frutos por tallo fueron superados en longitud de fruto solamente por el de 12 frutos (T1), sin diferencias con el resto de los tratamientos.



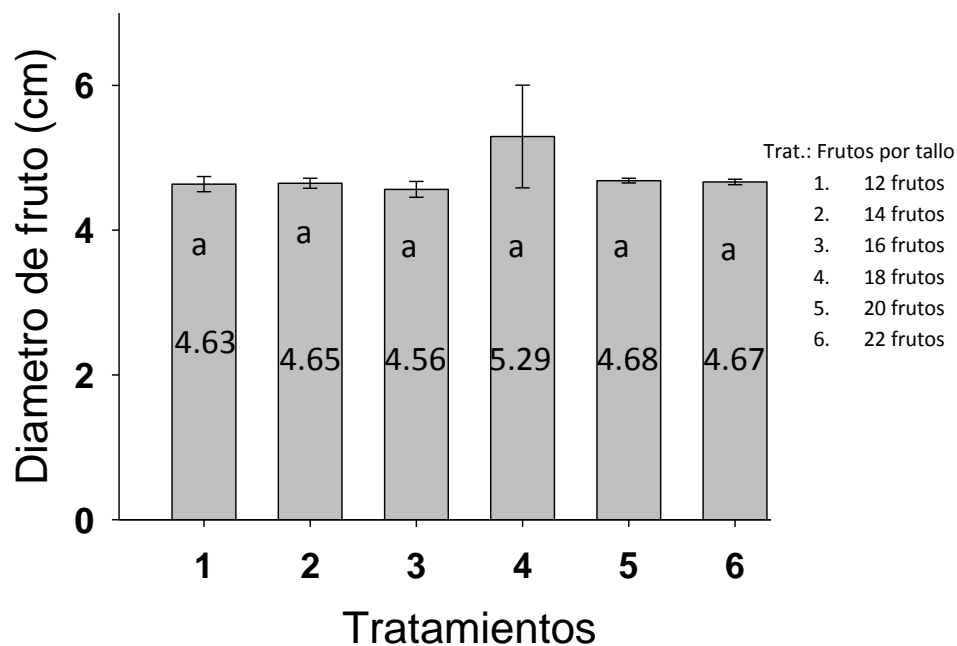
Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo a Tukey ( $P \leq 0.05$ )

**FIGURA 2.1. Longitud de fruto en plantas de higuera 'Netzahualcóyotl' con seis tallos productivos, en respuesta a tratamientos con diferente número de frutos por tallo. Las líneas verticales en las columnas indican la desviación estándar del error.**



### Diámetro de fruto:

En el diámetro ecuatorial (Figura 2.2), todos los tratamientos resultaron iguales con una variación que fluctuó entre 5.29 y 4.56 cm.



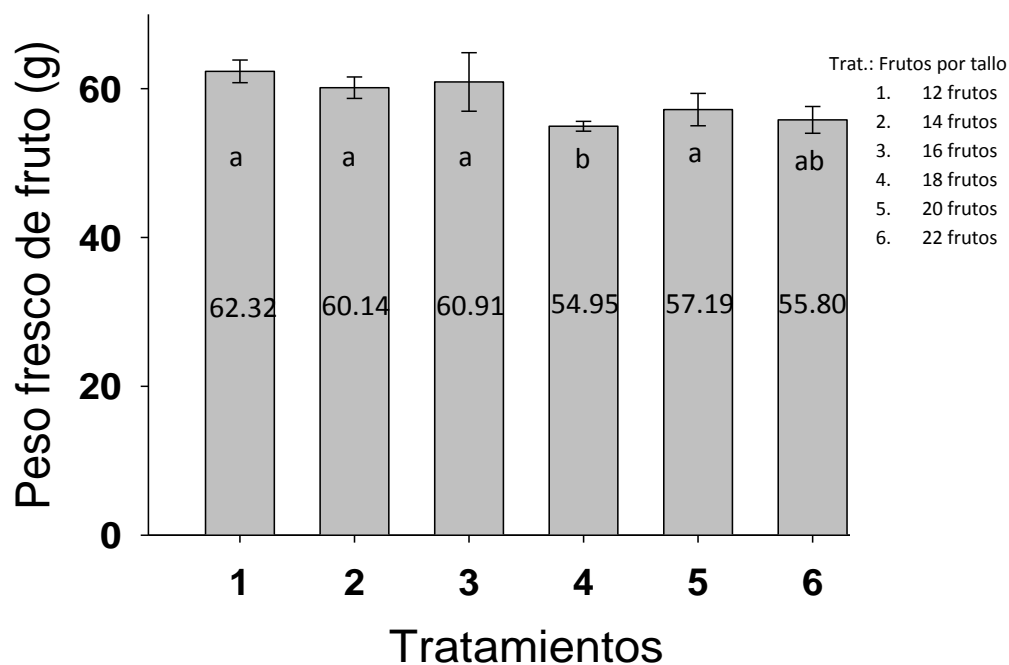
Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo a Tukey ( $P \leq 0.05$ )

**FIGURA 2.2. Diámetro de fruto en plantas de higuera ‘Netzahualcóyotl’ con seis tallos productivos, en respuesta a tratamientos con diferente número de frutos por tallo. Las líneas verticales en las columnas indican la desviación estándar del error.**

### Peso fresco de fruto:

El peso promedio de los frutos frescos de higo tiende a ser una característica constante (Figura 2.3), independientemente de los distintos tratamientos de cantidad de frutos por tallo productivo. En este experimento los valores fluctuaron entre 54.95 y 62.32 g, destacando el tratamiento con 18 frutos por tallo (T4) el cual resultó

estadísticamente igual al tratamiento con 22 frutos (T6) con diferencias significativas con el resto de los tratamientos.

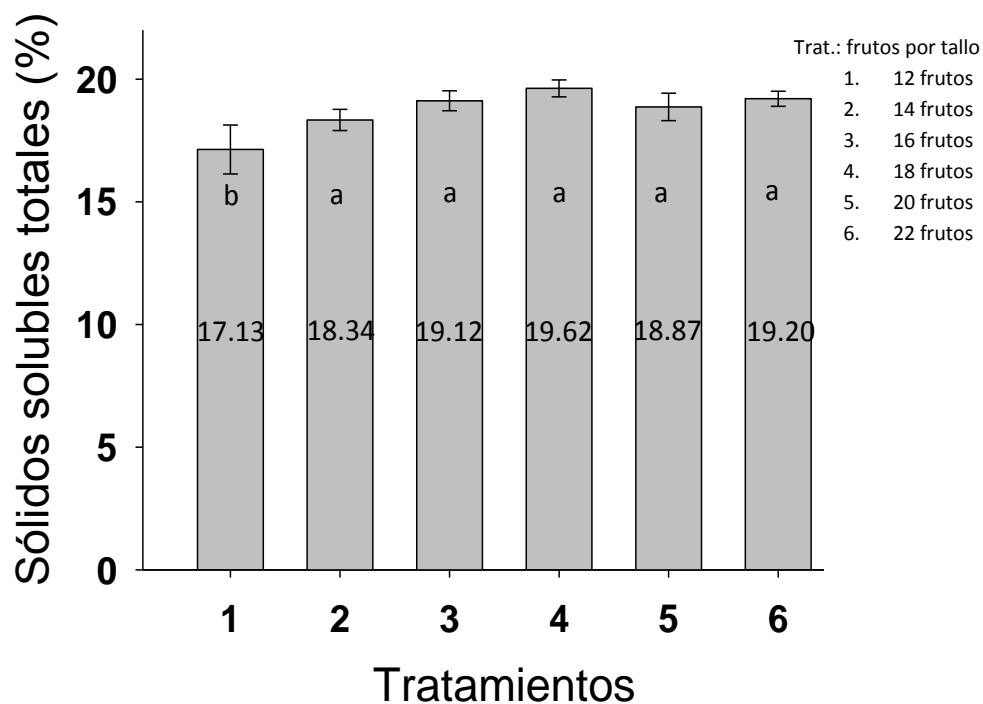


Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo a Tukey ( $P \leq 0.05$ )

**FIGURA 2.3. Peso fresco de frutos en plantas de higuera ‘Netzahualcóyotl’ con seis tallos productivos, en respuesta a tratamientos con diferente número de frutos por tallo. Las líneas verticales en las columnas indican la desviación estándar del error.**

#### **Contenido de sólidos solubles totales:**

El mayor contenido de sólidos solubles totales (19.62 %) lo obtuvo el tratamiento que presentó los frutos de menor tamaño con 18 frutos por tallo (T4) (Figura 2.4), sin presentar diferencias con los tratamientos T2, T3, T5 y T6, cuyos valores fluctuaron entre 18.34 y 19.20 %, todos significativamente diferentes al tratamiento con 12 frutos por tallo (T1) con apenas alrededor de 16° Bx; este último tratamiento produjo los frutos de mayor peso fresco promedio.



Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo a Tukey ( $P \leq 0.05$ )

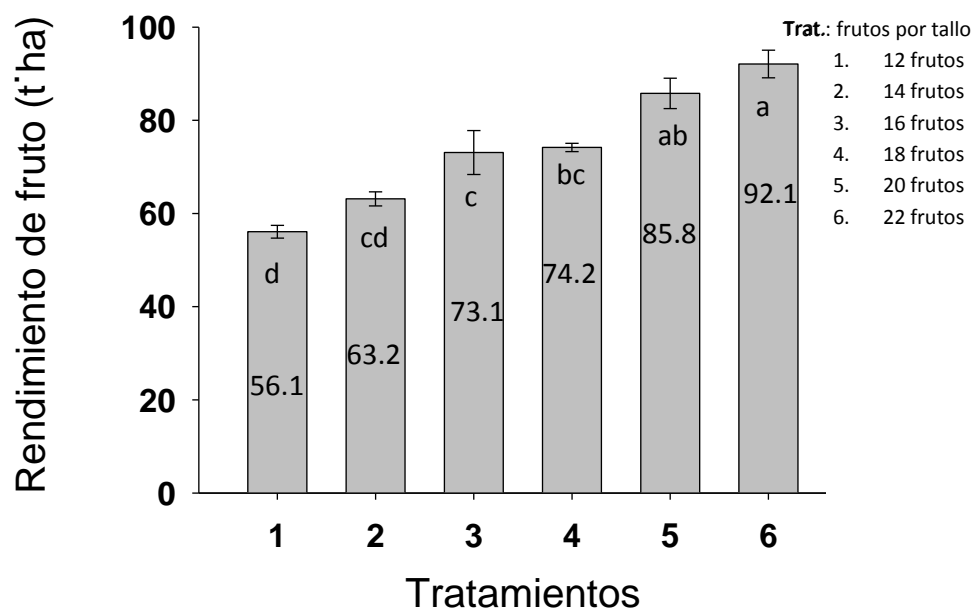
**FIGURA 2.4. Contenido de sólidos solubles totales en plantas de higuera ‘Netzahualcóyotl’ con seis tallos productivos, en respuesta a tratamientos con diferente número de frutos por tallo. Las líneas verticales en las columnas indican la desviación estándar del error.**

#### **Rendimiento de fruto por hectárea:**

El rendimiento de fruto aumentó conforme se incrementó el número de frutos por tallo. Se encontró que las plantas manejadas con 22 frutos (T6), presentaron el mayor rendimiento (Figura 2.5), sin diferencias con las manejadas con 20 frutos por tallo (T5), superiores al resto de los tratamientos con menor número de frutos por tallo.

El tratamiento en el que se dejaron 18 frutos por tallo (T4), produjo 19.5 % menos con respecto al tratamiento de mayor valor (T6), sin diferencias con el tratamiento de 20 frutos por tallo (T5). Asimismo, al dejar 16 frutos por tallo (T3), se redujo su

rendimiento 20.6% con respecto al tratamiento de mayor valor (T6). Las plantas con 14 frutos por tallo (T2) sólo redujeron su rendimiento en 31.4 % con respecto al de mayor valor (T6), entre estos tres tratamientos (T2, T3 y T4) no se presentaron diferencias estadísticas. El tratamiento con 12 frutos por tallo (T1) produjo 56.1 t.ha, (39.1 % menos) fruta fresca con respecto al mejor tratamiento (T6) que alcanzó las 92.1 ton de fruta por hectárea, resultando estadísticamente igual a T2 y menor al resto de los tratamientos.



Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo a Tukey ( $P \leq 0.05$ )

**FIGURA 2.5.** Rendimiento de fruto por hectárea al final de la cosecha en plantas de higuera ‘Netzahualcóyotl’ con seis tallos productivos, en respuesta a tratamientos con diferente número de frutos por tallo. Las líneas verticales en las columnas indican la desviación estándar del error.

### **Biomasa total por hectárea:**

La biomasa producida por el tratamiento de 22 frutos por tallo (T6) fue la de mayor valor con 26.53 t/ha (Cuadro 2.1). Este resultado es explicable si se considera que en este tratamiento se registraron los valores más altos en fruto, tallo y hoja, con el mayor índice de área foliar y un índice de cosecha de 0.45. El tratamiento con 20 frutos por tallo (T5) generó una biomasa estadísticamente igual a T6; sin embargo, la aportación de la biomasa del fruto representó un alto índice de cosecha (0.54), que equivale el 54 % de la biomasa total, lo que actuó en detrimento de los tallos, que fueron los de menor biomasa aportada con sólo el 56.3 % con respecto a T6 y en menor proporción a las hojas, que produjeron 25.1 % menos biomasa que T6.

El tratamiento con 18 frutos por tallo (T4) resultó igual a T6 en producción de biomasa total, pero sin diferencias con T5, el valor de su biomasa total se debió al aporte de tallos y hojas, aunque la biomasa de fruto se ubicó en tercer lugar, después de T6 y T5.

Los tratamientos con 16 y 14 frutos por tallo (T3 y T2) produjeron solo el 72.3 % y 70.2 % respectivamente en relación a T6, ubicándose en cuarto y quinto lugar, estadísticamente iguales en aportación de biomasa por frutos, tallos y hojas a la biomasa total e índice de área foliar, el índice de cosecha se ubicó entre 0.42 y 0.45 como los de más bajo valor.

El tratamiento con 12 frutos por tallo (T1) presentó los valores más bajos en biomasa de hojas, biomasa total, índice de área foliar e índice de cosecha, aunque se reflejó una mayor biomasa acumulada en los tallos, por encima de los tratamientos con 14, 16 y 20 frutos por tallo (T2, T3 y T5 respectivamente).

**Cuadro 2.1. Valores promedio de biomasa de la higuera bajo tratamientos de número de frutos por tallo (a la izquierda de cada media)**

Fruto (t ha <sup>-1</sup> )		Tallo (t ha <sup>-1</sup> )		Hoja (t ha <sup>-1</sup> )		Total (t ha <sup>-1</sup> )		índice de área foliar		índice de cosecha	
6	11.76 a	6	8.56 a	6	6.20 a	6	26.53 a	6	5.86 a	5	0.54 a
5	11.46 ab	4	7.85 ab	4	6.05 a	4	23.98 ab	4	5.33 ab	3	0.51 b
4	10.08 bc	1	5.95 abc	5	4.7 b	5	21.12 bc	5	4.38 bc	2	0.45 c
3	9.74 dc	2	5.93 bc	2	4.41 b	3	19.19 cd	3	3.65 cd	6	0.45 c
2	8.30 de	3	5.10 c	3	4.35 b	2	18.63 cd	2	3.43 cd	4	0.42 d
1	6.82 e	5	4.99 c	1	3.61 b	1	16.38 d	1	2.72 d	1	0.42 d
DMS 1.65		2.63		1.36		3.27		1.19		0.09	

Valores con la misma letra en cada columna son iguales estadísticamente (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). DMS = Diferencia mínima significativa.

## Distribución de biomasa

### Biomasa de frutos

En la proporción de la biomasa acumulada en los frutos del total de la parte aérea de la planta, destaca el tratamiento que se manejó con 20 frutos por tallo (T5). con el 54 % de la biomasa total hacia frutos, mientras que el tratamiento manejado con 16 frutos por tallo (T3), aportó sólo 3 % menos y el manejado con 22 frutos por tallo (T6), 9% menos que el de mayor valor y 6% menor a la proporción de biomasa del T3 (Figura 2.6).

El tratamiento con 12 frutos por tallo (T1) fue igual en la aportación de biomasa de los frutos al total de la planta, que el tratamiento con 18 frutos por tallo (T4) aunque este último tuvo una acumulación total de materia seca significativamente mayor a T1, y menor a los siguientes tratamientos: 22 frutos por tallo (T6) en 3 %, 20 frutos por tallo (T5) en 12 %, 16 frutos por tallo (T3) en 9% y 3% inferior al manejado con 14 frutos por tallo (T2) (Figura 2.6).

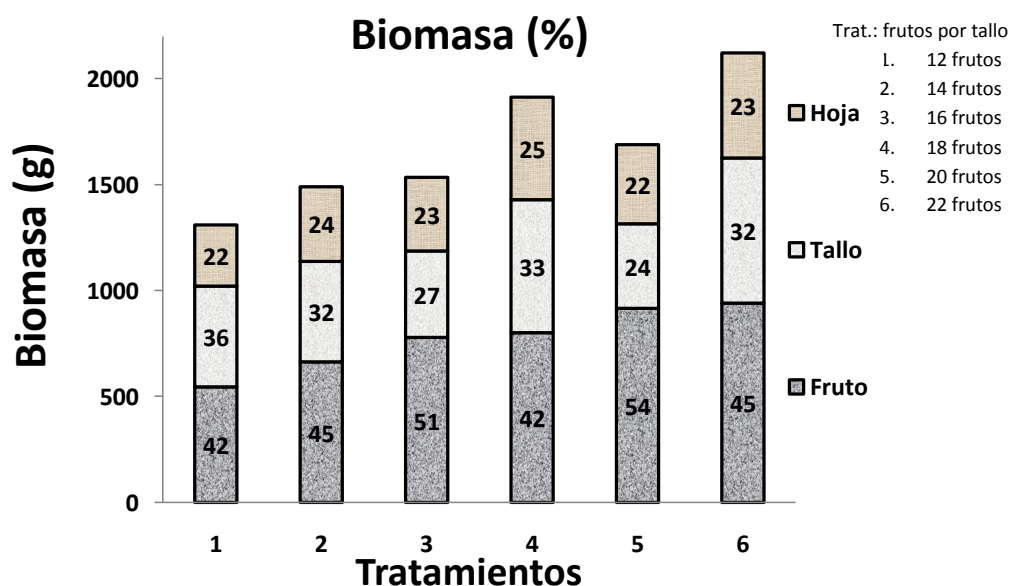
## **Biomasa de tallo**

La aportación de la biomasa de los tallos al total de la planta, tuvo un comportamiento irregular entre tratamientos. Destaca el tratamiento que se manejó con 12 frutos por tallo (T1), el cual mostró el mayor porcentaje de biomasa acumulada en tallos (36%) que el resto de los tratamientos, pero debido al menor número de frutos totales por planta, la producción y acumulación de biomasa total es notable y significativamente menor a todos los demás tratamientos. Debido a ello, en la Figura 6 es fácil observar que la fracción de biomasa que se acumuló en frutos en este tratamiento de pocos frutos (12 frutos, T1) es apenas una fracción de la biomasa acumulada en todos los demás tratamientos, la cual se aumentó conforme se dejaron más frutos por tallo (Figura 2.6). En el Cuadro 2.1 se muestra que la biomasa acumulada en frutos estimada por hectárea va de 6.82 a 11.76 toneladas de materia seca en respuesta a un aumento en el número de frutos por tallo de todos los tratamientos.

El tratamiento que menor proporción de biomasa de tallo aportó a la planta, fue el manejado con 20 frutos (T5) con 12% menos que el de mayor valor (T1), seguido por el manejado con 16 frutos por tallo con 9% menos biomasa que el T1.

## **Biomasa de hojas**

La aportación de la biomasa por las hojas al total de la planta fue muy constante entre los seis tratamientos, con valores porcentuales de 22 a 25 entre los tratamientos, y una pequeña variación de sólo 3% (Figura 2.6).



**Figura 2.6. Acumulación de biomasa por planta y su distribución en frutos, tallos y hojas al final de la cosecha en plantas de higuera ‘Netzahualcóyotl’ con seis tallos productivos, bajo cubierta plástica, en respuesta a diferente número de frutos por tallo**

## 2.6. Discusión

La higuera es una especie que en sistemas de producción intensiva genera alta productividad de biomasa (Figura 2.6), donde el manejo continuo de podas en tallos, brotes y hojas estimulan constantemente la demanda de fotoasimilados. Con la conducción de los tallos productivos se formaron dos planos en forma de V, desde la base de las ramas productivas, lo que favoreció la brotación y el crecimiento de los frutos debido a la penetración de la luz en todo el perfil del dosel y la nutrición suficiente para que la oferta fotosintética se transformara en altos valores de biomasa durante todo el periodo productivo.

En este estudio la producción de biomasa fluctuó entre 16.25 y 26.5 t·ha<sup>-1</sup> (Cuadro 2.1), superando lo obtenido por Abdel-Razik y El-Darier (1991) quienes afirman que este cultivo en una plantación de 30 años de edad y 400 árboles por ha, generó 3200



kg MS ha<sup>-1</sup> a partir de 40 t ha<sup>-1</sup> de hojas, tallos y frutos. La búsqueda de fuentes de energía renovable en el mundo, hacen ver la posibilidad de utilizar el producto de las podas y frutos de desecho de la higuera, como una fuente para generar un alto valor calórico; así, Bilandžija *et al.* (2012) reportan que el valor calorífico de la biomasa de la higuera es de 15.6 a 17.7 MJ·kg<sup>-1</sup> (MJ=10<sup>6</sup> joule), con un potencial energético calculado en 4.2 Peta Joule (PJ=10<sup>15</sup> Joule). También es posible la utilización de la biomasa para la producción de biogás, como lo afirman Hosseini *et al.* (2013) y Zabaniotou *et al.* (2010) o la producción de etanol para biocombustible (Graefe *et al.* 2011), quienes con 3.4 a 4.4 t ha<sup>-1</sup> por año de biomasa de plátano pudieron producir de 118 a 266 L de etanol.

El higo, como fruto, es la estructura morfológica de importancia económica del cultivo de la higuera, donde los mejores sistemas de producción intensiva son los que mejor transforman los fotoasimilados en biomasa de fruto, lo que representa la materia fundamental para el rendimiento de las cosechas. En este experimento, los resultados indican que a mayor cantidad de frutos por tallo productivo (de 12 a 22), hay mayor biomasa total acumulada, donde los frutos contribuyeron en un alto porcentaje, representado por un índice de cosecha de 0.45 a 0.54 con tallos de menor peso con respecto al resto de los tratamientos, con un alto índice de área foliar (4.38 a 5.86). Estas características las presentaron las plantas manejadas con 18 a 22 frutos por tallo productivo.

Uno de los tres tratamientos sobresalientes de esta investigación, el manejado con 22 frutos por tallo (Figura 6), produjo la cantidad de biomasa más alta (26.5 t·ha<sup>-1</sup>), la cual se distribuyó de la siguiente manera: 45% en frutos (0.941 kg por planta u 11.7 t·ha<sup>-1</sup>), 32% en tallos (0.685 kg por planta u 8.56 t·ha<sup>-1</sup>) y 23% en hojas (0.496 kg o 6.2 t·ha<sup>-1</sup>). Al comparar estos resultados, resultaron superiores a los obtenidos por Abdel-Razik y El-Darier (1991), quienes reportan que los 3200 kg·ha<sup>-1</sup>·año<sup>-1</sup> de biomasa se desglosaron en hojas desprendidas (20 %), frutos cosechados (34 %) y crecimiento leñoso (46 %) con un balance de nitrógeno positivo por podar hojas verdes y fertilizar y regar el cultivo, mientras que Bilandžija *et al.* (2012) destacaron la importancia de la utilización de la biomasa resultado de la poda del higo,

encontrando en el análisis de combustibilidad: carbono 45.55-49.28 %, hidrógeno 5.91-6.83 % y azufre 0.18-0.21 % y materia no combustible, oxígeno 43.34-46.6 %, nitrógeno 0.54-1.05 %, humedad 3.65-8.83 % y cenizas 1.52-5.39 %, con un valor calorífico de la biomasa de 15.602 a 17.727 MJ kg<sup>-1</sup> y un potencial energético estimado en 4.21 PJ.

En este estudio, el rendimiento de fruto fresco fluctuó entre 56.1 a 92.1 t·ha<sup>-1</sup> (Figura 2.5). Dentro de estos valores se ubican los rendimientos señalados por Melgarejo *et al.* (2007) de 81 t·ha<sup>-1</sup> pero se superaron los obtenidos por Zhang y Wang (2003) de 47 t·ha<sup>-1</sup>, ambos bajo condiciones de invernadero; sin embargo, a cielo abierto, los rendimientos más altos registrados, son los de Luan *et al.* (2003), quienes afirman que el cultivar de higuera denominado “Ziguo” rinde en fruto fresco, hasta 23 t·ha<sup>-1</sup>, los de Puebla *et al.* (2003), con rendimiento de frutos de 1.46 kg por árbol con peso promedio de 36 g, que en producción intensiva con 4 mil plantas por hectárea, arroja un rendimiento de 5 840 kg·ha<sup>-1</sup> y los de muy bajo rendimiento mencionados por Aksoy *et al.* (2003), son cultivares considerados como de maduración temprana (finales de junio y principios de julio), que registran una producción promedio de 25 frutos por árbol.

El rendimiento de frutos por hectárea, arrojó resultados que conjugaron el material genético utilizado de fruto grande, el control del ambiente bajo cubierta plástica, el manejo programado del riego y la nutrición, lo que, desde el establecimiento del experimento favoreció un rápido incremento en el área de las hojas asociado, se asume, con una elevada tasa fotosintética, coincidiendo con lo planteado por Abdel-Razik y El-Darier (1991), quienes afirman que las buenas condiciones del establecimiento del cultivo, permiten el almacenamiento de más del 20 % de fotoasimilados antes de la fructificación para su uso posterior en el crecimiento y maduración de frutos.

Al analizar la calidad de los frutos, presentaron una longitud entre 6.76 a 7.91 cm y diámetro ecuatorial, entre 4.39 a 5.39 cm (Figuras 2.1 y 2.2), por lo que superan en tamaño a los reportados por Karadeniz, (2008) quien realizó una evaluación clonal de

los genotipos de la región del Mar Negro en Turquía con longitud de fruto de 3.32 a 6.05 cm y diámetro ecuatorial de 2.1 a 4.5 cm.

Los sólidos solubles totales (Figura 2.3), representan uno de los factores de calidad más importantes; en este estudio se registraron valores entre 17.3 y 19.62 %, donde los frutos de menor tamaño presentaron los valores más altos, y los más grandes los más bajos. Estos resultados se encuentran dentro de los valores registrados por Karadeniz, (2008) quien reporta que en la región del Mar Negro de Turquía los cultivares presentaron valores entre 10.34 y 20.50 %; Darjazi (2011) encontró en Irán una variación de 13.13 a 28.5 %; Luan *et al.* (2003) registraron concentraciones de 18 a 23 % en la variedad Zigu en el condado de Jiaxiang en China, mientras que Sánchez *et al.* (2003), al estudiar cuatro cultivares españoles, reportaron concentraciones superiores a las encontradas en esta investigación, de sólidos solubles, en cosechas de verano e invierno de 19.7 a 24.7 y de 22.08 a 24.67 %, respectivamente.

## 2.7. Conclusiones

El manejo de plantaciones para producción intensiva bajo cubierta con 1.25 plantas por m<sup>2</sup>, seis tallos productivos por planta y con 18 a 22 frutos por tallo productivo fueron las de mayor rendimiento de fruto fresco y biomasa total.

El número de frutos por tallo productivo juega un papel determinante para mantener altos rendimientos de biomasa total y de fruto en higuera, al manifestar un alto índice de cosecha y área foliar, como factores determinantes para la producción de la biomasa total.

La supresión temprana de frutos por tallo productivo (demanda) en higuera, disminuye la producción total de biomasa al afectar con ello el área foliar (oferta) y la distribución de la biomasa con mayor acumulación en tallos, ante la falta de frutos.

## 2.8. Literatura citada

- ABDEL-RAZIK, M. S.; EL-DARIER, S. M. 1991. Functional adaptations of fig trees (*Ficus carica*, L.) in agroecosystems of the Western Mediterranean desert of Egypt. Qatar University Science Journal 11:183-199.
- AKSOY, U.; CAN, H. Z.; MISIRLI, A.; KARA, S.; SEFEROĞLU, G.; ŞAHIN, N. 2003. Fig (*Ficus carica* L.) selection study for fresh market in Western Turkey. Acta Horticulturae 605:197-203.
- BILANDŽIJA, N.; VOĆA, N.; KRIČKA, T.; MATIN, A.; JURIŠIĆ, V. 2012. Energy potential of fruit tree pruned biomass in Croatia. Spanish Journal of Agricultural Research 10:292-298.
- DARJAZI, B. B. 2011. Morphological and pomological characteristics of fig (*Ficus carica* L.) cultivars from Varamin, Iran. African Journal of Biotechnology 10: 19096-19105.
- GRAEFE, S., DUFOUR, D., GIRALDO, A., MUÑOZ, L. A., MORA, P., SOLÍS, H., GARCÉS, H., GONZALEZ, A. 2011. Energy and carbon footprints of ethanol production using banana and cooking banana discard: A case study from Costa Rica and Ecuador. Biomass and Bioenergy, 35:2640-2649.
- HOSSEINI, S. E., WAHID, M. A. 2013. Feasibility study of biogas production and utilization as a source of renewable energy in Malaysia. Renewable and Sustainable Energy Reviews 19:454-462.
- KARADENIZ, T. 2008. Clonal selection in Patlıcan cv. at Black Sea region of Turkey. Acta Horticulturae 798:135-138.
- LUAN, C.H.; YU, M.; CHU, F.-K.; LIU, H.-Y.; DU, C-G. 2003. The performance of Ziguo fig cultivar in Jiexiang county. China Fruits 2:55.

- MELGAREJO, P.; MARTÍNEZ, J. J.; HERNÁNDEZ, F.; SALAZAR, D. M.; MARTÍNEZ, R. 2007. Preliminary results on fig soil-less culture. *Scientia Horticulturae* 111:255-259.
- PUEBLA, M. ; TORIBIO, F.; MONTES, P. 2003. Determination of fruit bearing pruning date and cutting intensity in "San Pedro" (*Ficus carica* L) type fig cultivars. *Acta Horticulturae* 605:147-157.
- SÁNCHEZ, M. J.; MELGAREJO, P.; HERNÁNDEZ, F.; MARTÍNEZ, J. J. 2003. Chemical and morphological characterization of four fig tree cultivars (*Ficus carica* L.) grown under similar culture conditions. *Acta Horticulturae* 605:33-36.
- SAS Institute. 2006. Base SAS 9.1.3. Procedures Guide. Second Edition, Volumes 1, 2, 3, and 4. SAS Institute Inc Cary, NC.
- ZABANIOTOU, A., KANTARELIS, E., SKOULOU, V., CHATZIAVGOUSTIS, TH. 2010. Bioenergy production for CO<sub>2</sub>-mitigation and rural development via valorisation of low value crop residues and their upgrade into energy carriers: A challenge for sunflower and soya residues. *Bioresource Technology* 101(2): 619-623.
- ZHANG, L-F.; WANG, G-D. 2003. Experiment of growing fig variety in the sunny greenhouse. *China Fruits* 4:56.

## CAPÍTULO III

### POTENCIAL DE RENDIMIENTO DE PLANTAS DE HIGO (*Ficus carica* L.) EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE TALLOS PRODUCTIVOS<sup>3</sup>

#### 3.1. Resumen

En la búsqueda de altos rendimientos de higo en un sistema de producción intensiva bajo cubierta plástica, se manejó diferente número de tallos productivos por planta con 20 frutos por tallo, forzando a la higuera en altas densidades de plantación a generar altas cantidades de biomasa para incrementar el índice de cosecha. El experimento se inició el 15 de noviembre de 2010 y se concluyó en septiembre de 2011. Las plantas se manejaron con los siguientes tratamientos con diferente número de tallos productivos: T1. Ocho tallos; T2. Siete tallos; T3. Seis tallos; T4. Cinco tallos; T5. Cuatro tallos; T6. Tres tallos. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cinco repeticiones, con una maceta conteniendo una planta como unidad experimental. El mayor valor de rendimiento estimado de fruto fresco se registró con ocho tallos ( $109.5 \text{ t ha}^{-1}$ ), este tratamiento superó 13.3 % a las plantas con siete tallos ( $94.8 \text{ t ha}^{-1}$ ) y en 26.8 % al tratamiento que se manejó con seis tallos ( $78.6 \text{ t ha}^{-1}$ ). Las plantas con cinco tallos ( $66.1 \text{ t ha}^{-1}$ ) y cuatro tallos por planta ( $58.5 \text{ t ha}^{-1}$ ), resultaron estadísticamente iguales, con 36.3 y 43.9 % por abajo del rendimiento más alto, respectivamente. El tratamiento con cuatro tallos ( $58.5 \text{ t ha}^{-1}$ ), fue estadísticamente igual al tratamiento con seis tallos por planta ( $66.1 \text{ t ha}^{-1}$ ), el cual a su vez fue superior al de cuatro tallos por planta ( $58.5 \text{ t ha}^{-1}$ ). La inducción de la demanda de fotoasimilados hacia los frutos al incrementar los tallos productivos de tres a ocho con 20 frutos por tallo en el cultivo de la higuera, presenta un efecto de incremento progresivo del índice de cosecha y de la tasa diaria de crecimiento mejorando el rendimiento de biomasa de fruto (mayor a 53%) en relación con la

---

<sup>3</sup> Enviado para su publicación como Artículo Científico en la Revista Chapingo, Serie Horticultura.

biomasa aérea de la planta. El manejo del ambiente de producción de frutos de higo bajo cubierta plástica, programación del fertirriego, podas de brotes laterales y apicales y conducción de los tallos durante el periodo de crecimiento, favorecen la cosecha de altos rendimientos de fruto y de biomasa total.

**Palabras clave adicionales:** cubierta plástica, fructificación, producción intensiva.

### 3.2. Abstract

In the search for high yields of fig in intensive production systems under plastic covering, different number of productive stems (20 fruits per stem) per plant was handled, forcing the fig tree with high planting densities to generate high amounts of biomass to increase harvest index. The experiment began on November 15<sup>th</sup> 2010 and was completed in September 2011. The plants were managed with the following treatments consisting of different number of productive stems per plant: T1. Eight stems; T2. Seven stems; T3. Six stems; T4. Five stems; T5. Four stems; T6. Three stems. A completely randomized design with five potted plants as replications was used. The greatest fresh fruit yield was recorded with eight stems ( $109.5 \text{ t ha}^{-1}$ ), this treatment exceeded in 13.3% to seven stems ( $94.8 \text{ t ha}^{-1}$ ) and it was 26.8% higher than treatment with six stalks ( $78.6 \text{ t ha}^{-1}$ ). Plants with five stems ( $66.1 \text{ t ha}^{-1}$ ) and four stems per plant ( $58.5 \text{ t ha}^{-1}$ ), were statistically equal, with 36.3 and 43.9% below the highest yield obtained with eight stems. Treatment with four stems ( $58.5 \text{ t ha}^{-1}$ ) was statistically equal to six stems per plant ( $66.1 \text{ t ha}^{-1}$ ), which in turn was greater than four stems per plant ( $58.5 \text{ t ha}^{-1}$ ). Induction of photoassimilates demand to fruits by increasing productive stems per plant from three to eight (with 20 fruits per stem) in fig cultivation, has an effect of progressive increasing harvest index and daily growth rate improving biomass yield of fruit in relation to plant biomass. Management of fig fruit production under plastic cover, programming fertigation, pruning of lateral shoots and apical stems and training systems during the growth period, favoring high crop yields and biomass production.

**Additional key words:** plastic covering, fruiting, intensive production.

### 3.3. Introducción

El higo puede ser un complemento para la nutrición humana, al aportar compuestos energéticos en forma de almidones y azúcares como glucosa y fructuosa (Aljane *et al.*, 2007). También, suministra cantidades importantes de minerales necesarios para el metabolismo, siendo el P, K, Ca, Mg, Na, Fe y Zn los que se encuentran en mayor concentración (Saeed y Sabir, 2005).

A nivel mundial, el cultivo de la higuera ha alcanzado altos niveles de importancia económica, como en Turquía, Italia, España, Japón, Brasil y Argentina, donde se han realizado estudios sobre espaciamiento, podas, cultivares, fertilización, control de plagas y enfermedades, cosecha y empackado (Maia de Sousa, 2003), permitiendo con ello el desarrollo de tecnologías para la producción y el manejo postcosecha, con lo cual es posible obtener altos rendimientos, vigor y calidad del fruto (Abrahão *et al.*, 2002).

Las podas de brotes basales, apicales y laterales así como en tallos leñosos al final de la cosecha deben realizarse en higuera bajo las condiciones ambientales favorables para inducir crecimiento y fructificación, procesos fisiológicos que son limitados por temperatura mínima de 8° C y máxima de 36° C (Souza, *et al.*, 2009) Por ello, esta práctica de manejo puede adelantarse a las tradicionales (Coelho *et al.*, 2003; Leonel y Tecchio, 2010). En España, en producción intensiva a cielo abierto, con cuatro mil plantas por hectárea, se han mejorado los rendimientos hasta 5 840 kg·ha<sup>-1</sup> con base en el manejo de podas (Aksoy *et al.*, 2003; Puebla *et al.*, 2003). La reducción de las distancias de plantación (3 x 2 m) con 1667 plantas por hectárea y la correcta fertilización nitrogenada orgánica y mineral han permitido hasta 22.5 t·ha<sup>-1</sup> a cielo abierto (Wang, 2001), siendo común plantaciones con distanciamientos de 3 a 4 m entre árboles (Maimon, 1998) donde los mayores rendimientos y la aceleración



de la maduración de los frutos se logra con el pinchado de la yema terminal de los tallos con 20 hojas incluyendo la eliminación de una hoja (Mi *et al.*, 1998).

Las propiedades fisiológicas de la higuera han sido aprovechadas en la búsqueda de mejorar cosechas; así, Abdel-Razik y El-Darier (1991), aseveran que un rápido incremento del área foliar en la primera etapa de crecimiento genera una elevada tasa fotosintética, lo que permite el almacenamiento de fotoasimilados para su uso posterior, con ello, se han desarrollado técnicas de análisis fisiológico como el estudio del área foliar específica (AFE) y la tasa de crecimiento relativo (TCR) que conjuntamente con el área foliar (AF) son tres parámetros importantes en la determinación de las ventajas adaptativas de las plantas para mejorar su productividad (Antúnez *et al.*, 2001).

En Italia y Turquía el alto interés por la producción de higo fresco y deshidratado, ha conducido a los productores a exigir a los gobiernos la implementación de amplios programas para cubrir las necesidades de capacitación de los productores en: control de plagas y enfermedades, fertilización, riego, sistemas de plantación, selección de suelos e indicadores de cosecha (Monagheddu y Chessa, 2002).

La gran cantidad de residuos de biomasa podada de los frutales manejados en sistemas de producción intensiva como la higuera, pueden aportar energía potencial renovable como un puente de sustitución de la energía no renovable. Bilandžija *et al.*, (2012) afirman que al realizar el análisis de los combustibles (carbón 45.55-49.28%, 5,91-6,83% de hidrógeno y azufre 0.18-0.21%) y materia no combustible (oxígeno 43,34-46,6%, nitrógeno 0,54-1,05%, humedad 3,65-8,83% y cenizas 1,52-5,39%) se obtuvo un valor calorífico de la biomasa de 15.602 a 17.727 MJ·kg<sup>-1</sup> y un potencial energético de la biomasa de la fruta de 4.21 PJ.

La búsqueda de mayores rendimientos de higo ha conducido a la aplicación de técnicas de fertirrigación programada, altas densidades de plantación, conducción de ramas productivas, manejo de invernaderos y cubiertas plásticas y diferentes tipos de podas de hojas, yemas y tallos, lo que ha dado pie a plantear los siguientes objetivos.

Encontrar la mejor densidad de tallos productivos y frutos por tallo para mejorar el rendimiento de higo en sistemas de producción intensiva bajo cubierta plástica.

Conocer cómo se afectan el rendimiento y la distribución de la biomasa en plantaciones con altas densidades de higuera (12500 plantas por hectárea) con diferente número de tallos productivos por planta.

### **3.4. Materiales y Métodos**

Localización del sitio experimental. La investigación se realizó bajo condiciones de invernadero en el Campo Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicado a los 19° 27' 30" latitud norte y 98° 54' 14" longitud oeste y una altitud sobre el nivel del mar de 2240 m.

Material vegetal. Se utilizó un cultivar criollo denominado regionalmente como "Netzahualcoyotl", procedente de huertos de traspatio, con frutos de epicarpio negro pálido y pulpa de color púrpura, para el enraizamiento se usaron tallos productivos de crecimiento del año, cortados de un árbol de siete años de edad de cuatro metros de altura.

Establecimiento del experimento. Las plantas fueron establecidas a partir de estacas en marzo de 2009, siendo el segundo ciclo productivo anual en 2011. Se utilizó un arreglo topológico de 1.6 m entre hileras y 0.5 m entre plantas, lo que corresponde a una densidad de población de 1.25 plantas·m<sup>-2</sup>. El enraizamiento se llevó a cabo durante 60 días en un contenedor, usando turba como sustrato, con estacas de 25 cm de longitud tratadas con ácido indolbutírico potásico a una concentración de 200 ppm.

Al retirar las plantas de la cámara de enraizamiento, éstas se establecieron en macetas de plástico de color negro de 40 L, utilizando como sustrato una mezcla de 10% de lombricomposta, 45% de tezontle rojo y 45% de tezontle blanco ó tepojal.

Se estableció un sistema de riego con emisores auto regulados a 4 litros·hora<sup>-1</sup> con cuatro estacas de 12 cm con un gasto de un litro por hora, manejado con un programador de tiempo (Galcon 8006-AC 6) con un riego de 3 minutos por hora de las 9:00 am a las 6:00 pm.

Se aplicó solución nutritiva utilizando una formulación en mg·L<sup>-1</sup> de 940 de nitrato de calcio, 200 de nitrato de potasio, 340 de sulfato de potasio, 55 de fosfato mono amónico, 490 de sulfato de magnesio, 15 de sulfato ferroso, 4 de sulfato de manganeso, 4.5 de bórax, 0.4 de sulfato de cobre, 0.4 de sulfato de zinc, con 0.067 ml de ácido fosfórico y 0.033 ml de ácido sulfúrico. La solución registró un pH de 5.6 y una conductividad eléctrica de 2.61 dS·m<sup>-1</sup>.

El experimento se inició el 15 de noviembre de 2010 y se concluyó en septiembre de 2011, al término de la maduración de los frutos.

Tratamientos, diseño y unidad experimental. Todas las plantas se manejaron con 20 frutos por cada tallo productivo y un número diferencial de tallos productivos por planta: T1. Ocho tallos; T2. Siete tallos; T3. Seis tallos; T4. Cinco tallos; T5. Cuatro tallos; y T6. Tres tallos productivos por planta. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cinco repeticiones para cada tratamiento, con una maceta conteniendo una planta como unidad experimental.

### **Las variables respuesta evaluadas fueron:**

Longitud y diámetro de fruto (cm). Se registró el diámetro polar y ecuatorial del fruto con un vernier digital marca Mitutoyo.

Peso fresco de fruto (g). Conforme fueron madurando los frutos, se fueron cosechando, registrando el peso fresco promedio de cada unidad experimental. El periodo de cosecha fue de julio a septiembre de 2011.

Contenido de sólidos solubles totales ó grados Brix (%). Se obtuvo con un refractómetro digital marca HANNA, modelo HI 96801, después de agregar una gota de jugo de una porción de fruto exprimida con una tela de raso.

Rendimiento estimado de fruto por hectárea ( $t\ ha^{-1}$ ). El peso fresco de fruto se multiplicó por el número de frutos por planta, por la cantidad de plantas contenidas en un metro cuadrado (1.25) y por diez mil para la extrapolación a hectárea.

Biomasa de frutos por planta (g). Esta variable se obtuvo al someter los frutos de cada unidad experimental a  $70^{\circ}C$  por 72 horas en una estufa de secado marca Blue; se obtuvo el promedio por fruto y se multiplicó por el número de frutos por planta. Esto se fue realizando conforme fueron madurando y se cosecharon los frutos.

Biomasa de hojas y tallos por planta (g). Al final de la cosecha se separaron las hojas y tallos de cada planta y se introdujeron en una estufa de secado marca Blue a  $80^{\circ}C$ , por 72 horas para las hojas y 96 horas para los tallos.

Producción de biomasa por planta (kg). La acumulación de biomasa se obtuvo al sumar la biomasa de tallos, hojas y frutos. No se incluyó la raíz. El muestreo destructivo de los órganos de la parte aérea se hizo al final del ciclo productivo, al término de la cosecha.

Índice de área foliar. Se obtuvo al dividir el área foliar por planta entre  $0.8\ m^2$  que fue la superficie ocupada por cada planta.

Índice de cosecha. Se obtuvo al dividir el rendimiento de fruto (rendimiento económico ó agronómico) entre la biomasa total.

Tasa diaria de crecimiento de biomasa total (TDC). Se obtuvo un promedio al dividir la biomasa final por planta entre el número de días del periodo del ciclo productivo del cultivo.

Tasa de crecimiento diario de fruto (TCDF). Se obtuvo el promedio al dividir la biomasa de fruto entre el número de días del periodo productivo del ciclo.

### **Análisis estadístico**

Se realizaron las pruebas de comparación de medias (Tukey,  $P \leq 0.05$ ), utilizando el programa estadístico SAS versión 9.1.3, (Anónimo, 2006). Se usó un diseño experimental completamente al azar con cinco repeticiones y una planta como unidad experimental.

## **3.5. Resultados**

**Díámetro ecuatorial de fruto (DEF) y Peso de Fruto Fresco (PFF).** Los resultados de las pruebas de comparación de medias, Tukey,  $P \leq 0.05$ , indicaron que las variables de calidad de fruto: DEF y PFF (Cuadro 4.1), no presentaron diferencias significativas entre tratamientos.

**Longitud de frutos (LF).** El análisis de LF, indicó que las plantas manejadas con ocho tallos (T1) presentaron los frutos más cortos, pero sin diferencias con las de siete tallos (T2) ni con las de cinco tallos por planta (T4). Las plantas manejadas con tres (T6), cuatro (T5), cinco (T4) y seis tallos (T3) resultaron con igual LF (Cuadro 3.1). Las plantas con cuatro tallos presentaron frutos más largos que las manejadas con siete y ocho tallos (T2 y T1) respectivamente.

**Sólidos Solubles Totales (SST).** Los SST totales se presentaron con mayor porcentaje en los tratamientos manejados con ocho tallos por planta, siete tallos por

planta y tres tallos por planta (T1, T2 y T6), T1 resultó superior a los tratamientos de seis, cinco y cuatro tallos productivos por planta (T3, T4 y T5) (Cuadro 3.1).

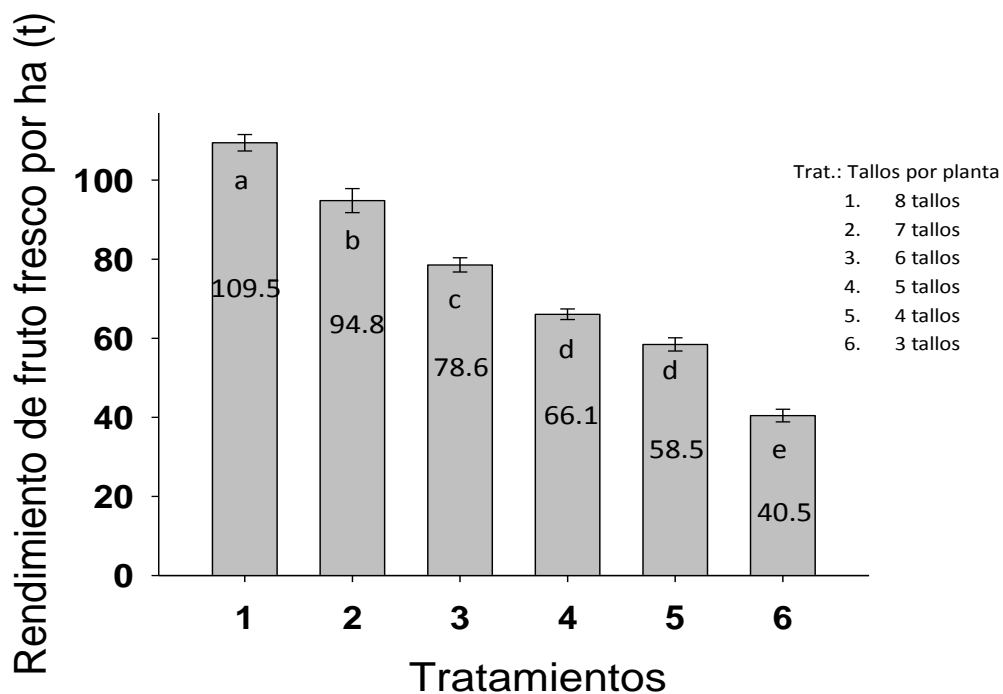
**CUADRO 3.1. Valores promedio y parámetros de fruto de higo bajo tratamientos de número de tallos productivos por planta en cultivo de higuera bajo cubierta plástica**

TRA	Long. de fruto (cm)	TRA	Diam. de fruto (cm)	TRA	P. fresco de fruto (g)	TRA	S. solubles totales (%)
5	7.53 a*	5	4.59 a	5	58.45 a	1	21.14 a
3	7.27 ab	3	4.53 a	4	54.73 a	2	20.01 ab
6	7.56 ab	2	4.50 a	1	54.18 a	6	19.52 abc
4	6.98 abc	6	4.42 a	2	53.93 a	5	18.96 bc
2	6.86 bc	1	4.38 a	6	52.86 a	4	18.83 bc
1	6.57 c	4	4.37 a	3	52.37 a	3	17.69 c
DSH	0.59		0.31		6.69		2.15

Valores con la misma letra en cada columna son iguales estadísticamente (Tukey,  $P \leq 0.05$ )

DMS: Diferencia significativa honesta. TRA = Tratamiento

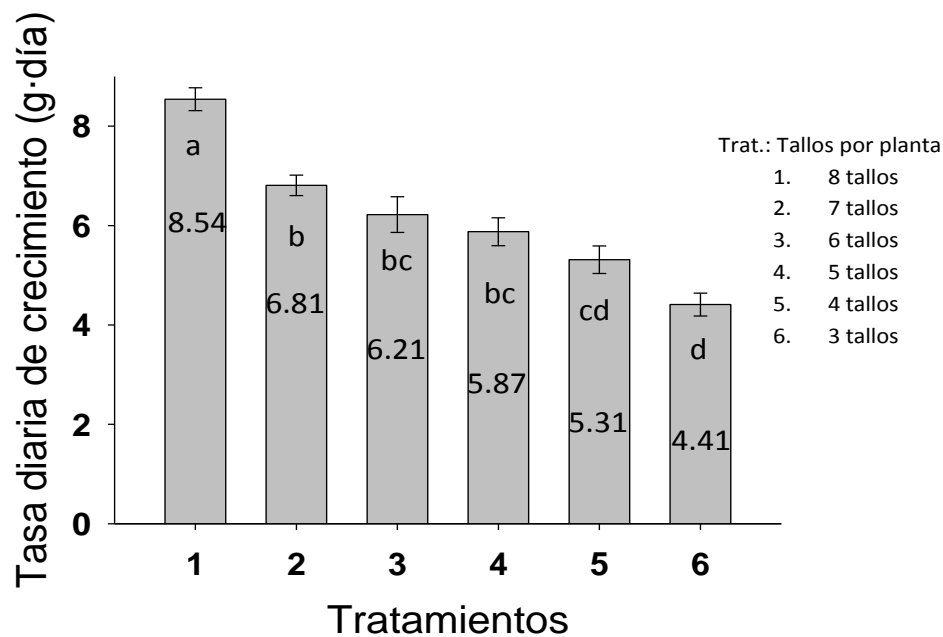
**Rendimiento de fruto fresco por hectárea (RFFh).** Cuando se estimó el RFFh en función de la cantidad de tallos por planta y 20 frutos por tallo de manera constante (Figura 1), el mayor valor se registró con ocho tallos (T1). Este tratamiento superó a las plantas con siete tallos (T2) en 13.3 % y al tratamiento que se manejó con seis tallos (T3), en 26.8 % (Figura 1). Las plantas de los tratamientos con cinco tallos (T4) y cuatro tallos por planta (T5), resultaron estadísticamente iguales, con 36.3 y 43.9 % respectivamente por abajo del rendimiento del más alto (T1). El tratamiento con cuatro tallos (T5), fue estadísticamente igual al tratamiento con seis tallos por planta (T4), el cual a su vez fue superior al de cuatro tallos por planta (T5). Cinco tratamientos (T1, T2, T3, T4 y T5) fueron superiores al manejado con tres tallos productivos por planta (T6) pero diferentes entre ellos (Figura 3.1).



Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo a Tukey ( $P \leq 0.05$ )

**FIGURA 3.1. Rendimiento de fruto fresco por hectárea en plantas con 20 frutos por tallo, en respuesta a tratamientos de diferente número de tallos por planta. Las líneas verticales en las columnas indican la desviación estándar del error.**

**Tasa Diaria de Crecimiento (TDC).** El periodo que duró el ciclo de producción comprendido desde la poda hasta el fin de la cosecha fue de 280 días. El tratamiento con ocho tallos productivos por planta (T1) superó a todos los tratamientos en la producción diaria de biomasa, seguido por los tratamientos con siete, seis y cinco tallos por planta (T2, T3 y T4) respectivamente. La menor tasa de crecimiento diario la presentó el tratamiento manejado con tres tallos por planta (T6), el cual fue estadísticamente igual al de cuatro tallos (T5) (Figura 3.2).

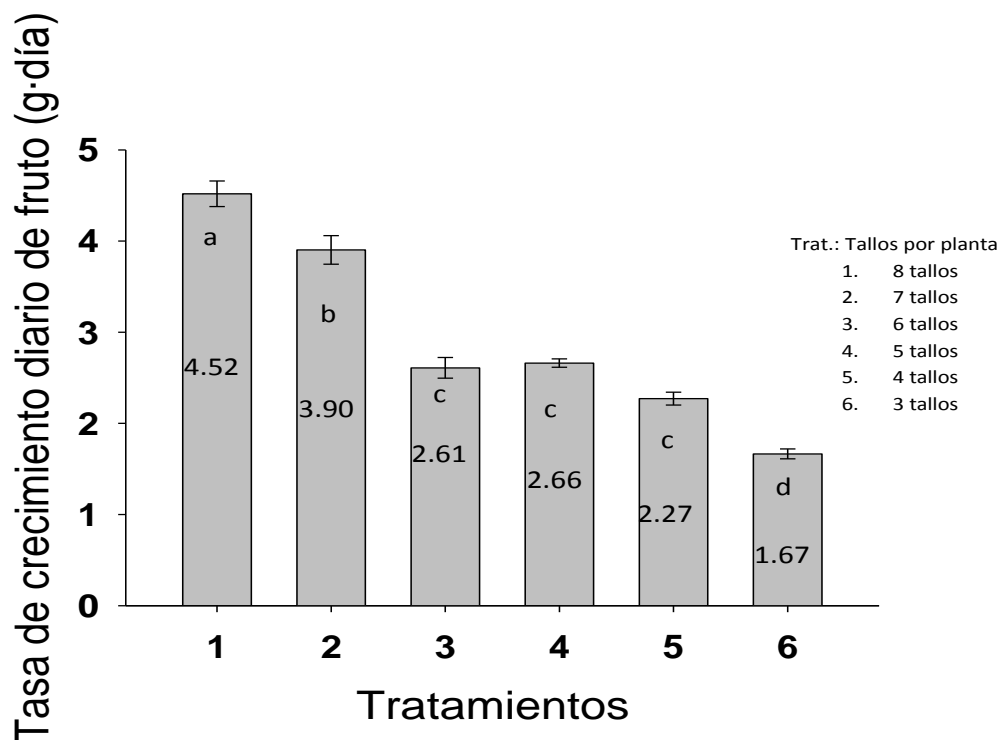


Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo a Tukey ( $P \leq 0.05$ )

**FIGURA 3.2. Tasa diaria de crecimiento al final de la cosecha en plantas con 20 frutos por tallo, en respuesta a tratamientos de diferente número de tallos por planta. Las líneas verticales en las columnas indican la desviación estándar del error.**

**Tasa de Crecimiento Diario de Fruto (TCDF).** En la acumulación de biomasa media diaria en los frutos, destaca el tratamiento manejado con ocho tallos productivos por plantas (T1) que superó al resto de los tratamientos, todos con 20 frutos por tallo. El tratamiento manejado con siete tallos por planta (T2), sólo fue superado por el T1, pero ambos destacan por aportar mucha más biomasa diaria a los frutos que los siguientes tres tratamientos: con seis tallos por planta (T3), con cinco tallos por planta (T4) y con cuatro tallos por planta (T5). El tratamiento manejado con tres tallos productivos por planta (T6) y 20 frutos por tallo, fue el que menos biomasa diaria acumuló en sus frutos, siendo estadísticamente inferior a todos los tratamientos estudiados (Figura 3.3).





Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo a Tukey ( $P \leq 0.05$ )

**FIGURA 3.3. Tasa de crecimiento diario de frutos al final de la cosecha en plantas con 20 frutos por tallo, en respuesta a tratamientos de diferente número de tallos por planta. Las líneas verticales en las columnas indican la desviación estándar del error.**

**Biomasa total por hectárea (BTh).** La biomasa producida por plantas de higuera (Cuadro 3.2) con 20 frutos por tallo productivo y ocho tallos (T1 con  $29.62 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ), fue la de mayor valor, explicable si se considera que en este tratamiento se registraron los valores más altos en fruto ( $15.82 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ), tallo ( $7.42 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) y hoja ( $6.78 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ), con el mayor índice de área foliar (5.78) y un índice de cosecha de 0.53, superando al resto de los tratamientos.

El tratamiento con siete tallos productivos (T2 con  $23.63 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) generó una biomasa estadísticamente menor a T1, sin embargo la aportación de la biomasa del fruto ( $13.66 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) representó un alto índice de cosecha (0.53), que equivale el 53 % de la

biomasa total, diferente con T1. Entre estos dos tratamientos se estableció una diferencia significativa de 20 % entre el de mayor y el de menor valor de la biomasa por hectárea (Cuadro 3.2).

Los tratamientos con seis tallos por planta (T3 con 20.34 t·ha<sup>-1</sup>) y el de cinco tallos por planta (T4 con 21.52 t·ha<sup>-1</sup>) no presentaron diferencias estadísticas entre ellos (cuadro 3.2) en la biomasa producida en frutos, tallos y hojas, así como en índice de área foliar e índice de cosecha.

Los menores valores de biomasa total los presentaron los tratamientos con cuatro tallos por planta (T5 con 18.38 t·ha<sup>-1</sup>) y el de tres tallos por planta (T6 con 15.25 t·ha<sup>-1</sup>), siendo este último el de menor producción de biomasa total, de frutos, de tallo y de hoja, con el menor índice de área foliar y el menor valor de índice de cosecha (Cuadro 3.2).

**CUADRO 3.2. Valores promedio de la biomasa de la higuera cultivada con tratamientos de número de tallos por planta con veinte frutos por tallo productivo**

TRA	Fruto (t·ha <sup>-1</sup> )	TRA <sup>A</sup>	Tallo (t·ha <sup>-1</sup> )	TRA	Hoja (t·ha <sup>-1</sup> )	TRA <sup>A</sup>	Total (t·ha <sup>-1</sup> )	TRA <sup>A</sup>	Índice de A. Foliar	TRA	Índice de cosecha
1	15.82 a	3	7.42 a	1	6.78 a	1	29.62 a	1	5.78 a	2	0.57 a
2	13.66 b	1	7.02 ab	3	4.96 b	2	23.63 b	3	4.76 ab	1	0.53 ab
4	9.31 c	4	6.38 ab	2	4.80 b	3	21.52 bc	2	4.60 abc	4	0.45 bc
3	9.13 c	5	5.86 ab	4	4.65 b	4	20.34 bc	4	3.88 abc	5	0.43 c
5	7.95 c	2	5.17 ab	6	4.60 b	5	18.38 cd	5	3.40 cd	3	0.42 c
6	5.83 d	6	4.82 b	5	4.57 b	6	15.25 d	6	2.70 d	6	0.38 c
DSH	1.65		2.63		1.36		3.27		1.19		0.08

<sup>A</sup>Valores con la misma letra dentro columna son iguales de acuerdo Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

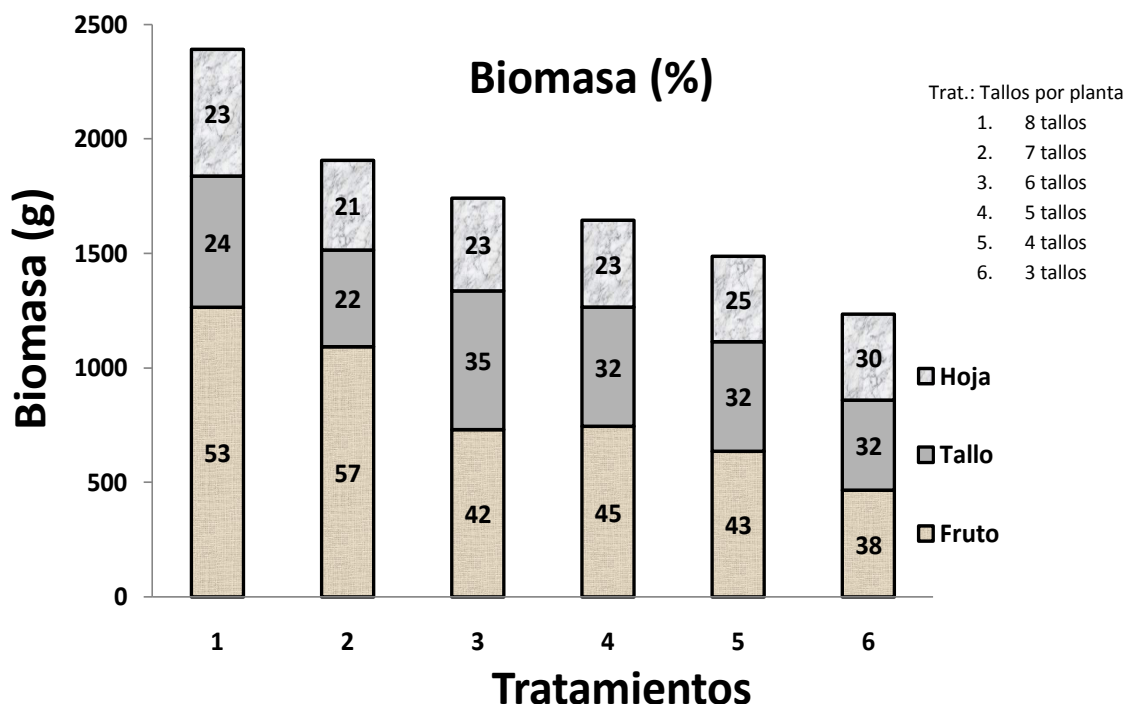
DSH = Diferencia significativa honesta. TRA = Tratamiento

### **Biomasa de la planta (BPP):**

**Biomasa de frutos (BF).** Hubo dos tratamientos: con ocho tallos (T1) y siete tallos por planta (T2) en donde los frutos aportaron a la biomasa total de la planta una proporción mayor al 50 % (53 y 57 %) respectivamente, tres tratamientos, con 5, 4 y 6 tallos por planta (T4, T5 y T3) aportaron entre 43 y 45 % lo que corresponde de 11 a 15 % menos de biomasa con respecto al de mayor valor (T1). El tratamiento manejado con tres tallos productivos por planta (T6), fue el que menos biomasa aportó en forma de fruto (38 %) al total de la biomasa aportada por la parte aérea de la higuera (Figura 3.4), con una diferencia de 19 % menos con respecto al tratamiento de mayor valor.

**Biomasa de tallos (BT).** El tratamiento mayor biomasa aportada por los tallos, fue el que se manejó con seis tallos productivos por planta (T3) con el 35 % de la biomasa total, valor superior en 3 % a los tratamientos manejados con cinco, cuatro y tres tallos por planta (T4, T5 y T6), sin diferencias con los anteriores, no así con los tratamientos de ocho y siete tallos (T1 y T2) los cuales presentaron los valores más bajos (Figura 3.4). En esta variable destaca la diferencia en % (13) entre el tratamiento con más peso de tallo (T3) con el de menor peso (T2) (Figura 3.4).

**Biomasa de hojas (BH).** En esta variable la diferencia entre los tratamientos, de la biomasa aportada por las hojas al total de la biomasa de la parte aérea de las plantas de higuera, fue sólo de 9 % por planta entre los tratamientos de tres tallos contra el de siete tallos (Figura 3.4).



**FIGURA 3.4. Acumulación de biomasa por planta al final de la cosecha en plantas con 20 frutos por tallo, en respuesta a tratamientos de diferente número de tallos por planta**

### 3.6. Discusión

El rendimiento de fruto estuvo en función de la intensidad de la demanda y la fuente, la cual se incrementó al aumentar el número de tallos productivos (de tres a ocho) los que en su proceso de crecimiento, aumentaron progresivamente el número de nudos y de frutillos, y de hojas. La demanda de fotoasimilados por planta, creció para satisfacer las necesidades de desarrollo de los frutos, lo que al final del periodo productivo se manifestó en un alto índice de cosecha, coincidiendo con Yang y Zhang (2010), quienes afirman que uno de los objetivos en la producción agrícola es el incremento del índice de cosecha, buscando la eficiencia en el uso del agua, mejorando la estructura del dosel, la actividad de la fuente, la fuerza de la demanda y

las reservas de carbono almacenadas en los tejidos vegetativos para asegurar el crecimiento de los frutos.

En este estudio resultó que a mayor número de tallos productivos (de tres a ocho), mayor demanda de fotoasimilados para producir frutos, lo que explica que el peso del tallo por planta, fue el segundo órgano demandante de importancia después de los frutos, que redujo la acumulación de biomasa en la medida en que se incrementó el peso de los frutos por planta.

El mayor rendimiento de frutos respondió favorablemente al mayor índice de área foliar, el cual es mayor desde el inicio del crecimiento de las plantas con mayor número de tallos, cuando cada fruto se formó en la axila de cada hoja, así, a mayor número de frutos por planta, mayor cantidad de hojas y mayor índice de área foliar (Cuadro 3.2). La distribución de la biomasa en los órganos de la higuera respondió a una constante relación entre fuente y demanda de fotoasimilados.

El mayor rendimiento de fruto fresco obtenido en este estudio fue de  $109.5 \text{ t ha}^{-1}$  con un índice de cosecha de 0.57 con el tratamiento de ocho tallos productivos por planta. Yang y Zhang (2010) afirman que las prácticas de manejo son fundamentales para lograr un alto índice de cosecha. En este experimento se condujeron los ocho tallos en dos planos de cuatro en cuatro, formando una V desde la base productiva del tallo, bajo condiciones de fertirriego y podas precisas de brotes laterales excedentes, hojas y yemas terminales, para favorecer al máximo la incidencia de luz sobre todo el dosel vegetal logrando la mayor eficiencia productiva, lo que refuerza Cavatte *et al.* (2012), quienes encontraron que los efectos combinados de la disponibilidad de luz de manera continua sobre las hojas, y el agua, contribuyen a la fijación del  $\text{CO}_2$  para el crecimiento y el metabolismo secundario, favoreciendo las relaciones funcionales para una mayor tasa diaria de crecimiento.

En este estudio se mejoró la estructura del dosel, con ocho tallos en una plantación de  $0.5 \text{ m} \times 1.6 \text{ m}$ , para lograr los rendimientos mayores a las  $100 \text{ t ha}^{-1}$ , a diferencia de Nienow *et al.* (2006), quienes en el sur de Brasil con la variedad Roxo de Valinhos

espaciada 1.50 m x 1.90 m se condujeron con 8 a 12 tallos productivos por planta, con rendimientos de 41 a 43 t ha<sup>-1</sup>.

Al estudiar la respuesta diferencial del número de tallos de tres a ocho por planta, sobre el rendimiento de fruto fresco, se registró un rango de 40.5 a 109.5 t ha<sup>-1</sup>, comparables a los obtenidos por Melgarejo *et al.* (2007) de 81 t ha<sup>-1</sup> y los de Zhang y Wang (2003) de 47 t ha<sup>-1</sup>, bajo condiciones de invernadero. Lo anterior refleja las bondades del manejo del ambiente productivo con las cubiertas plásticas, nutrición por fertirrigación, mejor control de plagas y enfermedades, control del número de tallos productivos, manejo oportuno de podas de brotes laterales y yemas apicales y predeterminación del número de frutos por tallo productivo, para encontrar la mayor eficiencia del rendimiento de fruto fresco, mayor índice de cosecha, mayor tasa diaria de crecimiento del total de la planta y del fruto, coincidiendo con lo planteado por Abdel-Razik y El-Darier (1991), quienes afirman que las buenas condiciones de manejo del cultivo favorecen el almacenamiento de fotoasimilados antes de la fructificación para su uso posterior en el crecimiento y maduración de frutos.

Los rendimientos a cielo abierto de higo fresco, reportados por distintos autores, no son comparables con los obtenidos bajo invernadero; así, Luan *et al.* (2003), en China, obtuvo 23 t ha<sup>-1</sup> con el cultivar “Ziguo”. Por su parte, Puebla *et al.* (2003) en España, reportan un rendimiento de 5 840 kg ha<sup>-1</sup>. En Botucatu, Brasil, la poda de agosto del cultivar Roxo de Valinhos bajo riego produjo un rendimiento de 5.13 t ha<sup>-1</sup> en 2004/05 y 5.82 t ha<sup>-1</sup> en 2005/06 (Leonel y Tecchio 2010).

El volumen de fruto fresco producido, va a la par con la calidad del mismo, reflejada principalmente en la longitud y el diámetro de fruto, el peso fresco y el contenido de sólidos solubles totales (SST), como lo confirma Nardoza *et al.* (2011) quienes aseguran que el sabor, dulzor y textura de la fruta son mejores al incrementar su contenido de SST y de materia seca, mejorando las propiedades sensoriales de la fruta. También Gaaliche *et al.* (2011) refieren que las prácticas de manejo mejoran la calidad de los frutos al incrementar su tamaño y contenido de biomasa.

En este estudio, el peso del fruto fresco fue constante para todos los tratamientos, alrededor de los 54 g, que resultaron pequeños comparado con los obtenidos en Túnez por Gaaliche *et al.* (2011) con los cultivares Zidi y Bouhouli con 102 y 112 g respectivamente; comparable con el cultivar Ziguó, que en China produjo frutos de 58 g y pulpa de color rojo brillante (Luan *et al.*, 2003); Darjazi, (2011), describe la diversidad genotípica de fruto fresco en Irán con pesos de 8.0 a 43.5 g; Karadeniz, (2008) reporta que en Turquía los higos registraron peso del fruto entre 22.21 a 77.40 g.

El diámetro de los frutos estudiados, es otra característica que se manifiesta como una constante, alrededor de 4.4 cm, valor comparable a lo reportado por Darjazi, (2011) el cual encontró en los cultivares de Irán frutos de diámetro ecuatorial de 2.1 a 4.5 cm y Karadeniz, (2008) en Turquía, de 2.1 a 4.5 cm.

La longitud de los frutos y el contenido de SST, son valores que cambian de acuerdo a las prácticas de manejo, en este estudio, la longitud varió de 6.57 cm a 7.53 cm y los SST de 17.79 a 21.14 %, valores comparables con los reportados por Karadeniz, (2008) quien encontró que en Turquía los genotipos de la región del Mar Negro presentan una longitud de 3.32 a 6.05 cm; en SST, Gaaliche *et al.* (2011) de 20.3 %; ubicados dentro del rango reportado por Karadeniz, (2008) de 10.34 a 20.5 %; Darjazi, (2011) con 13.13 a 28.5 % y Sánchez *et al.* (2003) quienes reportan que en España los sólidos solubles totales fluctúan entre 19.7 y 24.7 %.

La biomasa producida por la higuera bajo el manejo de producción intensiva de este experimento, resultó con valores, de 15.25 a 29.62 t ha<sup>-1</sup> incluyendo la aportada por la porción comestible (el fruto). Estos resultados abren una ventana de potencial de uso si se considera que hoy en día, el consumo de energía está aumentando rápidamente debido a la industrialización y el progreso en los niveles de vida. Los combustibles fósiles como el gas natural, el petróleo y el carbón que son las principales fuentes de energía en el mundo se agotan día a día y estos recursos no renovables en breve, serán escasos (Hosseini y Wahid 2013). Por otra parte, los problemas de contaminación ambiental se han convertido en un dilema debido a un

mayor consumo de combustibles fósiles. Recientemente, los avances notables de la investigación se han orientado a explotar los recursos renovables que son respetuosos del medio ambiente para satisfacer la demanda de energía del mundo ya que las características de combustión pueden ser similares a los combustibles fósiles mediante la adopción de algunas estrategias.

En Anatolia, Turquía, el cultivo de pistacho requiere 12 044.0 MJ·ha<sup>-1</sup>, energía utilizada en las prácticas de cultivo: la labranza consume más del 50 % de la energía, seguida por la aplicación de agroquímicos, la cosecha, el transporte y la fertilización; se cosecharon 1 500 kg de fruta que equivale a 17 700 MJ ha<sup>-1</sup> (Sağlam *et al.* 2012). En Malasia, los subproductos de la industria de la palma de aceite se utilizan para producir el biogás como fuente de energía aceptable, tales como las cáscaras de frutas, restos de la pulpa, efluentes de la cáscara y aceite de palma (Hosseini y Wahid, 2013). La fabricación de pasta combustible de los tallos de menos de 0.5 cm y hojas producto de la poda de naranja, generó valores de calefacción de 16870 KJ kg<sup>-1</sup>, con temperatura de la llama de 1150 a 2150 °C y duración de 40 a 90 minutos (González *et al.*, 2011). La utilización de energía renovable como el biodiesel de residuos de cosechas, se emplea en lugar de combustibles fósiles, buscando el desarrollo de nuevas tecnologías que reduzcan el desperdicio de partes no comestible de los cultivos y la acumulación de CO<sub>2</sub> en la atmósfera (Sorgüven y Özilgen 2012).

### **3.7. CONCLUSIONES**

La inducción de la demanda de fotoasimilados hacia los frutos al incrementar los tallos productivos de tres a ocho con 20 frutos por tallo en el cultivo de la higuera, presenta un efecto de incremento progresivo del índice de cosecha y de la tasa diaria de crecimiento mejorando el rendimiento de biomasa de fruto en relación con la biomasa aérea de la planta.



El manejo del ambiente de producción de frutos de higo bajo cubierta plástica, programación del fertirriego, podas de brotes laterales y apicales y conducción de los tallos durante el periodo de crecimiento, favorecen la cosecha de altos rendimientos.

El cultivo de la higuera bajo condiciones de manejo intensivo, genera altos valores de biomasa no comestible que pueden utilizarse como bioenergía alternativa en la producción de compostas, biogás, etc.

El tratamiento con mayor rendimiento de frutos, fue el de plantas con ocho tallos con 20 frutos por tallo productivo con una aportación a frutos mayor a 53% de la biomasa de la parte aérea de la planta.

### 3.8. Literatura citada

ABDEL-RAZIK, M. S.; EL-DARIER, S. 1991. Functional adaptations of fig trees (*Ficus carica*, L.) in agroecosystems of the Western Mediterranean desert of Egypt. Qatar University Science Journal 11: 183-199.

ABRAHÃO, E.; ALVARENGA, Â. A.; FRÁGUAS, J. C.; SILVA, V. J. DA. 2002. Fig crop (*Ficus carica* L.) in Lavras region, MG current situation and perspectives. Ciência e Agrotecnologia 26(3): 642-646.

AKSOY, U.; BALCI, B.; CAN, H. Z.; HEPAKSOY, S. 2003. Some significant results of the research work in Turkey on fig. Acta Horticulturae 605: 173-181.

ALJANE, F.; TOUMI, I.; FERCHICHI, A. 2007. HPLC determination of sugars and atomic absorption analysis of mineral salts in fresh figs of Tunisian cultivars. African Journal of Biotechnology 6(5): 599-602.

ANONIMO. 2006. Base SAS 9.1.3. Procedures Guide, Second Edition. Volumes 1, 2, 3, and 4. SAS Institute Inc. Cary, NC.

- ANTÚNEZ, I.; RETAMOSA, E. C.; VILLAR, R. 2001. Relative growth rate in phylogenetically related deciduous and evergreen woody species. *Oecologia* 128: 172-180.
- BILANDŽIJA, N.; VOĆA, N.; KRIČKA, T.; MATIN, A.; JURIŠIĆ, V. 2012. Energy potential of fruit tree pruned biomass in Croatia. *Spanish Journal of Agricultural Research* 10(2): 292-298.
- CAVATTE, P. C., RODRÍGUEZ-LÓPEZ, N. F., MARTINS, S. C. V., MATTOS, M. S., SANGLARD, L. M. V. P., DAMATTA, F. M. 2012. Functional analysis of the relative growth rate, chemical composition, construction and maintenance costs, and the payback time of *Coffea arabica* L. leaves in response to light and water availability. *Journal of Experimental Botany* 63(8): 3071-3082.
- COELHO, G. V. DE A.; CHALFUN, N. N. J.; MIRANDA, C. S. DE; VEIGA, R. D.; GONÇALVES, F. C. 2003. Different cultural practices in the anticipated production of green figs. *Ciência e Agrotecnologia* 27(Special Number): 1493-1498.
- DARJAZI, B. B. 2011. Morphological and pomological characteristics of fig (*Ficus carica* L.) cultivars from Varamin, Iran. *African Journal of Biotechnology* 10 (82): 19096-19105.
- GAALICHE, B.; TRAD, M.; MARS, M. 2011. Effect of pollination intensity, frequency and pollen source on fig (*Ficus carica* L.) productivity and fruit quality. *Scientia Horticulturae* 130(4): 737-742.
- GONZÁLEZ, Z.; ROSAL, A.; REQUEJO, A.; RODRÍGUEZ, A. 2011. Production of pulp and energy using orange tree prunings. *Bioresource Technology* 102(19): 9330-9334.
- HOSSEINI, S. E.; WAHID, M. A. 2013. Feasibility study of biogas production and utilization as a source of renewable energy in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 19: 454-462.

- KARADENİZ, T. 2008. Clonal selection in Patlıcan cv. at Black Sea region of Turkey. *Acta Horticulturae* 798: 135-138.
- LEONEL, S.; TECCHIO, M. A. 2010. Pruning time and irrigation on the fig trees 'Roxo de Valinhos', in the Botucatu region, state of São Paulo, Brazil. *Bragantia* 69(3): 571-580.
- LUAN, C. H.; YU, M.; CHU, F. K.; LIU, H. Y.; DU, C. G. 2003. The performance of Ziguó fig variety in Jiexiang county. *China Fruits* 2: 55.
- MAIA DE SOUSA, R. M. 2003. Fig culture techniques. *Acta Horticulturae* 605:99-101.
- MAIMON, A. 1998. The optimal density and fig tree (*Ficus carica* L.) pruning for a breba crop in Israel. *Acta Horticulturae* 480: 133-136.
- MELGAREJO, P.; MARTÍNEZ, J. J.; HERNÁNDEZ, F.; SALAZAR, D.M.; MARTÍNEZ, R.. 2007. Preliminary results on fig soil-less culture. *Scientia Horticulturae* 111 (3): 255-259.
- MI, L.; YANG, K. S.; SHU Z. L.; ZHOU, Y. H.; WANG, G. Q. 1998. Study on the effect of pinching fruiting branches for Masui Dauphine fig variety. *Journal of Fruit Science* 15(1): 89-90.
- MONAGHEDDU, M.; CHESSA, I. 2002. Technological innovations to improve Italian production of dried figs. *Rivista di Frutticoltura e di Ortofloricoltura* 64(5): 43-46.
- NARDOZZA, S.; GAMBLE, J.; AXTEN, L. G.; WOHLERS, M. W.; CLEARWATER, M. J.; FENG, J.; HARKER, F. R. 2011. Dry matter content and fruit size affect flavour and texture of novel *Actinidia deliciosa* genotypes. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 91(4): 742-748.
- NIENOW, A. A., CHAVES, A., LAJÚS, C. R., CALVETE, E. O. 2006. Fig-growing under protecting environment, submitted to different pruning times and number of branches. *Revista Brasileira de Fruticultura* 28(3): 421-424.

- PUEBLA, M.; TORIBIO, F.; MONTES, P. 2003. Determination of fruit bearing pruning date and cutting intensity in "San Pedro" (*Ficus carica* L) type fig cultivars. *Acta Horticulturae* 605: 147-157.
- SAEED, M. A.; SABIR, A. W. 2005. Trace elements in the fruit of *Ficus carica* L. and their nutritional importance. *Hamdard Medicus* 48(4):113-117.
- SAĞLAM, C.; TOBI, I.; KÜP, F.; ÇEVİK, M. Y. 2012. An input-output energy analysis in pistachio nut production: A case study for Southeastern Anotolia region of Turkey. *African Journal of Biotechnology* 11(8): 1868-1871.
- SÁNCHEZ, M. J.; MELGAREJO, P.; HERNÁNDEZ, F.; MARTÍNEZ, J. J. 2003. Chemical and morphological characterization of four fig tree cultivars (*Ficus carica* L.) grown under similar culture conditions. *Acta Horticulturae* 605: 33-36.
- SORGÜVEN, E.; ÖZILGEN, M. 2012. Energy utilization, carbon dioxide emission, and exergy loss in flavored yogurt production process. *Energy* 40(1): 214-225.
- SOUZA, A. P. DE; SILVA, A. C. DA; LEONEL, S.; ESCOBEDO, J. F. 2009. Basic temperatures and thermal sum for the fig trees pruned in different months. *Revista Brasileira de Fruticultura* 31(2): 314-322.
- WANG, J. 2001. The high and quality production techniques for fig trees. *China Fruits* 2: 54.
- YANG, J.; ZHANG. J. 2010. Crop management techniques to enhance harvest index in rice. *Journal of Experimental Botany* 61(12): 3177-3189.
- ZHANG, L. F.; WANG, G. D. 2003. Experiment of growing fig variety in the sunny greenhouse. *China Fruits* 4: 56.

## DISCUSIÓN GENERAL

### 1. Discusión

En esta investigación se integraron temas relacionados con el manejo fisiotécnico del cultivo de la higuera que documentan el desarrollo de una propuesta de manejo para un sistema de producción intensiva, donde la cubierta plástica es fundamental para regular los efectos de los elementos del clima favoreciendo las condiciones térmicas para el crecimiento y producción de frutos durante la mayor parte de los meses del año, y a la vez, la fertirrigación que permite la disponibilidad de agua y nutrientes de manera programada, siendo la temperatura, el agua y la nutrición, tres factores básicos para las prácticas de manejo fisiotécnico.

Con los experimentos desarrollados se integraron los conocimientos de la fisiología relacionados con la fotosíntesis, translocación de fotoasimilados como materia seca o biomasa y crecimiento de órganos de la planta, buscando una respuesta favorable en la alta producción de frutos por planta y superficie.

En el primer experimento, denominado “Respuesta fisiotécnica de la higuera (*Ficus carica* L.) a la remoción parcial de hojas y frutos”, se estableció la importancia que tienen las hojas como fuente de asimilación de carbono para la construcción de biomasa y su relación con el rendimiento de fruto.

La eliminación parcial de hojas probablemente mejoró el flujo de aire al interior del dosel, favoreciendo las condiciones de renovación de CO<sub>2</sub> para tener una fuente de fotoasimilados más eficiente, como lo mencionan Amano *et al.* (1972), quienes afirman que la fotosíntesis en la higuera es altamente influenciada por el movimiento del aire; sin embargo, en el presente estudio ni la remoción de las hojas de cualquiera de los tercios de los tallos productivos (T1, T2, T3) ni la remoción más severa de la mitad basal (T4) tuvo diferencias significativas con el testigo (T7). No obstante, la eliminación drástica de la mitad de las hojas superiores (T5) afectó

negativa y significativamente el rendimiento de fruto fresco, al mostrar una producción inferior al testigo (T7).

Al observar el efecto de los tratamientos de eliminación parcial de hojas y/o frutos sobre el peso específico de hoja (PEH), es notable que no hubo diferencias con el testigo pero hay diferencias significativas entre remover el tercio apical (T1) y el tercio basal (T3) (Figura 1.2) con mayor PEH en el primero; asimismo, la eliminación alternada de frutos (T6) tuvo el efecto de disminuir el PEH respecto del tratamiento de la remoción del tercio basal (T1).

La eliminación parcial de hojas pudo mejorar la penetración de luz, favoreciendo el incremento de cloroplastos en las hojas y un mayor desarrollo del parénquima en empalizada, como lo indican Nii y Kuroiwa (1990), quienes encontraron que en hojas sombreadas el almidón de los cloroplastos desaparece y se forman plastidios grandes que con la iluminación se separan y se distribuyen uniformemente a lo largo de las hojas contribuyendo a la formación del sistema de tilacoides.

Aun cuando el tratamiento con eliminación de nueve hojas basales implicó una severa disminución del área foliar total por planta, no redujo su peso fresco promedio de fruto, igualando a los tratamientos con 12 y 18 hojas por tallo productivo, incluido el testigo; tampoco se afectó el rendimiento de fruto por hectárea, pero la distribución de la acumulación de biomasa hacia hojas y tallos se mostró menor, resultando en un mayor índice de cosecha (49.1 %). Ese tratamiento presentó hojas normales y tallos poco vigorosos.

Se ha establecido (González-Rodríguez y Peters, 2010) que el área foliar, el espesor y la inclinación de las hojas, son parámetros que favorecen el intercambio gaseoso, el contenido relativo de clorofila y la asimilación neta de carbono, para lo cual, son también importantes el número de estomas y la turgencia o contenido relativo de agua (Can *et al.*, 2000); esto ayuda a explicar el buen desempeño del tratamiento 4, que aun con eliminación severa de la mitad de las hojas basales, la mitad restante con buena iluminación y ventilación de la parte apical fue capaz de mantener el peso

de fruto, el rendimiento total del mismo, y la acumulación y buena distribución de biomasa.

Cuando se eliminaron nueve hojas apicales, la biomasa de tallo (BTA) y la biomasa de hoja (BH) fueron 55 y 31 %, respectivamente, menores, comparados con el tratamiento que presentó los tallos más pesados (T6); asimismo, esta eliminación más severa de hojas resultó en una notable menor producción de biomasa total (BT) por planta. El área foliar total por planta se vio disminuida en 64.85 % con respecto al testigo. Por tales razones, los rendimientos eliminando el 50 % de hojas apicales fueron los más bajos, coincidiendo con Kutlu *et al.* (2000) quienes afirman que una buena respuesta de adaptación y producción de la higuera depende de la fotosíntesis, la transpiración y la conductancia estomática, área foliar, número de estomas, turgencia relativa e índice de succulencia en hoja.

El peso de fruto fresco en el estrato del tercio superior de las plantas con eliminación de hojas apicales (T3 y T5), disminuyó drásticamente en 58 % (47.2 g) y 61 % (49.6 g) respectivamente con respecto al de mayor rendimiento (T4) (Figura 1.5), lo que significa que la fotosíntesis que realizan los frutos cuando están verdes (y en este caso sin su hoja) no es suficiente para su crecimiento normal, lo que confirma Smillie (1992) al encontrar evidencias de actividad fotosintética en estos órganos, y que una parte del CO<sub>2</sub> fijado en los frutos se deriva de su propia actividad fotosintética, pero es menor que la realizada por las hojas, quedando los frutos muy pequeños.

Cuando se estudió el rendimiento y calidad de frutos de higuera en respuesta a carga diferencial, resultó que la higuera es una especie que en sistemas de producción intensiva genera alta productividad de biomasa, donde el manejo continuo de podas en tallos, brotes y hojas estimulan constantemente la demanda de fotoasimilados. Con la conducción de los tallos productivos se formaron dos planos en forma de V desde la base de las ramas productivas, lo que favoreció la brotación y el crecimiento de los frutos debido a la penetración de la luz en todo el perfil del dosel y la nutrición suficiente para que la oferta fotosintética se transformara en altos valores de biomasa durante todo el periodo productivo.

En este estudio la producción de biomasa fluctuó entre 16.25 y 26.5 t·ha<sup>-1</sup>, superando lo obtenido por Abdel-Razik y El-Darier (1991) quienes encontraron que este cultivo en una plantación de 30 años de edad y 400 árboles por hectárea, generó 3200 kg MS·ha<sup>-1</sup> a partir de 40 t·ha<sup>-1</sup> de hojas, tallos y frutos. La búsqueda de fuentes de energía renovable en el mundo, hacen ver la posibilidad de utilizar el producto de las podas y frutos de desecho de la higuera como una fuente para generar un alto valor calórico; así, Bilandzija *et al.* (2012) reportan que el valor calorífico de la biomasa de la higuera es de 15.6 a 17.7 MJ·kg<sup>-1</sup> (MJ=10<sup>6</sup> joule), con un potencial energético calculado en 4.2 Peta Joule (PJ=10<sup>15</sup> Joule). También es posible la utilización de la biomasa para la producción de biogás, como lo afirman Hosseini *et al.* (2013) y Zabaniotou *et al.* (2010), o la producción de etanol para biocombustible (Graefe *et al.*, 2011), quienes con 3.4 a 4.4 t ha<sup>-1</sup> por año de biomasa de plátano, pueden producir de 118 a 266 L de etanol.

El higo es la estructura morfológica de importancia económica del cultivo de la higuera, donde los mejores sistemas de producción intensiva son los que mejor transforman los fotoasimilados en biomasa de fruto, lo que representa la materia fundamental para el rendimiento de las cosechas. En este experimento, los resultados indican que a mayor cantidad de frutos por tallo productivo (de 12 a 22), hay mayor biomasa total acumulada, donde los frutos contribuyeron en un alto porcentaje, representado por un índice de cosecha de 0.45 a 0.54 con tallos de menor peso con respecto al resto de los tratamientos, con un alto índice de área foliar (4.38 a 5.86); estas características las presentaron las plantas manejadas con 18 a 22 frutos por tallo productivo.

Uno de los tres tratamientos sobresalientes de esta investigación, el manejado con 22 frutos por tallo, produjo la cantidad de biomasa más alta (26.5 t·ha<sup>-1</sup>), la cual se distribuyó de la siguiente manera: 45% en frutos (0.941 kg por planta ú 11.7 t·ha<sup>-1</sup>), 32% en tallos (0.685 kg por planta ú 8.56 t·ha<sup>-1</sup>) y 23% en hojas (0.496 kg por planta ó 6.2 t·ha<sup>-1</sup>). Al comparar estos resultados con los reportados en la literatura, resultaron superiores a los obtenidos por Abdel-Razik y El-Darier (1991), quienes reportan que los 3200 kg·ha<sup>-1</sup>·año<sup>-1</sup> de biomasa se desglosaron en hojas



desprendidas (20 %), frutos cosechados (34 %) y crecimiento leñoso (46 %) con un balance de nitrógeno positivo por podar hojas verdes y fertilizar y regar el cultivo. Por su lado, Bilandzija *et al.* (2012) destacaron la importancia de la utilización de la biomasa resultado de la poda del higo, encontrando en el análisis de combustibilidad: carbono 45.55-49.28 %, hidrógeno 5.91-6.83 % y azufre 0.18-0.21 % y materia no combustible, oxígeno 43.34-46.6 %, nitrógeno 0.54-1.05 %, humedad 3.65-8.83 % y cenizas 1.52-5.39 %, con un valor calorífico de la biomasa de 15.602 a 17.727 MJ kg<sup>-1</sup> y un potencial energético estimado en 4.21 PJ.

En este estudio el rendimiento de fruto fresco fluctuó entre 56.1 y 92.1 t·ha<sup>-1</sup> (Figura 2.5). Dentro de estos valores se ubican los rendimientos señalados por Melgarejo *et al.* (2007) de 81 t·ha<sup>-1</sup> pero superaron a los obtenidos por Zhang y Wang (2003) de 47 t·ha<sup>-1</sup>, ambos bajo condiciones de invernadero; sin embargo, a cielo abierto, los rendimientos más altos registrados son los de Luan *et al.* (2003), quienes afirman que el cultivar de higuera “Ziguo” rinde en fruto fresco hasta 23 t·ha<sup>-1</sup>; los de Puebla *et al.* (2003), con rendimiento de frutos de 1.46 kg por árbol con peso promedio de fruto de 36 g, que en producción intensiva con 4 mil plantas por hectárea arroja un rendimiento de 5,840 kg·ha<sup>-1</sup> y los de muy bajo rendimiento mencionados por Aksoy *et al.* (2003), son cultivares considerados como de maduración temprana (finales de junio y principios de julio), que registran una producción promedio de 25 frutos por árbol.

El rendimiento de frutos por hectárea arrojó resultados que conjugaron el material genético utilizado de fruto grande, el control del ambiente bajo cubierta plástica, el manejo programado del riego y la nutrición, lo que desde el establecimiento del experimento favoreció un rápido incremento en el área de las hojas asociado con una elevada tasa fotosintética, coincidiendo con lo planteado por Abdel-Razik y El-Darier (1991), quienes afirman que las buenas condiciones del establecimiento del cultivo permiten el almacenamiento de más del 20 % de fotoasimilados antes de la fructificación para su uso posterior en el crecimiento y maduración de frutos.

Al analizar la calidad de los frutos, éstos presentaron una longitud entre 6.76 y 7.91 cm y diámetro ecuatorial, entre 4.39 y 5.39 cm (Figuras 3.1 y 3.2), por lo que superan en tamaño a los reportados por Karadeniz (2008), quien realizó una evaluación clonal de los genotipos de la región del Mar Negro en Turquía, resultando una longitud de fruto de 3.32 a 6.05 cm y diámetro ecuatorial de 2.1 a 4.5 cm.

Los sólidos solubles totales (Figura 3.3), representan uno de los factores de calidad más importantes. En este estudio se registraron valores entre 17.3 y 19.62 %, donde los frutos de menor tamaño presentaron los valores más altos, y los más grandes los más bajos. Estos resultados se encuentran dentro de los valores registrados por Karadeniz, (2008) quien reporta que en la región del Mar Negro de Turquía los cultivares presentaron valores entre 10.34 y 20.50 %. Por su parte, Darjazi (2011) encontró en Irán una variación de 13.13 a 28.5 % y Luan *et al.* (2003) registraron concentraciones de 18 a 23 % en la variedad Zigu en el condado de Jiaxiang en China, mientras que Sánchez *et al.* (2003), al estudiar cuatro cultivares españoles, reportaron concentraciones de sólidos solubles superiores a las encontradas en esta investigación, en cosechas de verano e invierno de 19.7 a 24.7 y de 22.08 a 24.67 %, respectivamente.

Al estudiar el potencial de rendimiento de higo por diferencial de tallos productivos, el rendimiento de fruto estuvo en función de la intensidad de la demanda, la cual se incrementó al aumentar el número de tallos productivos (de tres a ocho) los que en su proceso de crecimiento, aumentaron progresivamente el número de nudos y de frutillos. La demanda de fotoasimilados por planta creció para satisfacer las necesidades de desarrollo de los frutos, lo que al final del periodo productivo se manifestó en un alto índice de cosecha, coincidiendo con Yang y Zhang (2010), quienes afirman que uno de los objetivos en la producción agrícola es el incremento del índice de cosecha, buscando la eficiencia en el uso del agua, mejorando la estructura del dosel, la actividad de la fuente, la fuerza de la demanda y las reservas de carbono almacenadas en los tejidos vegetativos para asegurar el crecimiento de los frutos.

En este estudio resultó que a mayor número de tallos productivos (de tres a ocho), existe mayor demanda de fotoasimilados para producir frutos, lo que explica que el peso del tallo por planta fue el segundo órgano demandante de importancia después de los frutos, que redujo la acumulación de biomasa en la medida en que se incrementó el peso de los frutos por planta.

El mayor rendimiento de frutos se asoció favorablemente al mayor índice de área foliar, el cual es mayor desde el inicio del crecimiento de las plantas con mayor número de tallos, cuando cada fruto se formó en la axila de cada hoja. Así, a mayor número de frutos por planta, mayor cantidad de hojas y mayor índice de área foliar. La distribución de la biomasa en los órganos de la higuera respondió a una constante relación entre fuente y demanda de fotoasimilados.

El mayor rendimiento de fruto fresco obtenido en este estudio fue de  $109.5 \text{ t ha}^{-1}$  con un índice de cosecha de 0.57. Yang y Zhang (2010) afirman que las prácticas de manejo son fundamentales para lograr un alto índice de cosecha. En este experimento se condujeron los tallos en dos planos de cuatro en cuatro a cada lado, formando una V desde la base productiva del tallo, bajo condiciones de fertirriego y podas precisas de brotes laterales excedentes, hojas y yemas terminales, para favorecer al máximo la incidencia de luz sobre todo el dosel vegetal, logrando mayor eficiencia productiva. Esto se ve reforzado por lo reportado por Cavatte *et al.* (2012), quienes encontraron que los efectos combinados de la disponibilidad de luz de manera continua sobre las hojas, y el agua, contribuyen a la fijación del  $\text{CO}_2$  para el crecimiento y el metabolismo secundario, favoreciendo las relaciones funcionales de la tasa de crecimiento relativo.

En este estudio se mejoró la estructura del dosel, con ocho tallos en una plantación de  $0.5 \text{ m} \times 1.6 \text{ m}$ , para lograr rendimientos mayores a las  $100 \text{ t ha}^{-1}$ , a diferencia de Nienow *et al.* (2006), quienes en el sur de Brasil con la variedad Roxo de Valinhos espaciada  $1.50 \text{ m} \times 1.90 \text{ m}$  conducida con 8 a 12 tallos productivos por planta, obtuvieron rendimientos de 41 a  $43 \text{ t ha}^{-1}$ .

Al estudiar la respuesta diferencial del número de tallos productivos de tres a ocho por planta sobre el rendimiento de fruto fresco, se registraron valores de 40.5 a 109.5 t ha<sup>-1</sup>, comparables a los obtenidos por Melgarejo *et al.* (2007) de 81 t ha<sup>-1</sup> y los de Zhang y Wang (2003) de 47 t ha<sup>-1</sup>, bajo condiciones de invernadero. Lo anterior refleja las bondades del manejo del ambiente productivo con las cubiertas plásticas, nutrición por fertirrigación, mejor control de plagas y enfermedades, control del número de tallos productivos, manejo oportuno de podas de brotes laterales y yemas apicales y predeterminación del número de frutos por tallo productivo, para encontrar la mayor eficiencia del rendimiento de fruto fresco, mayor índice de cosecha, mayor tasa diaria de crecimiento de biomasa total de la planta y del fruto, coincidiendo con lo planteado por Abdel-Razik y El-Darier (1991), quienes afirman que las buenas condiciones de manejo del cultivo favorecen el almacenamiento de fotoasimilados antes de la fructificación para su uso posterior en el crecimiento y maduración de frutos.

Los rendimientos a cielo abierto de higo fresco, reportados por distintos autores, no son comparables con los obtenidos bajo invernadero. Así, Luan CuiHua *et al.* (2003) en China, obtuvieron 23 t ha<sup>-1</sup> con el cultivar 'Ziguo'; por su parte, Puebla *et al.* (2003) en España, reportan un rendimiento de 5,840 kg ha<sup>-1</sup>. En Botucatu, Brasil, la poda de agosto del cultivar 'Roxo de Valinhos' bajo riego produjo un rendimiento de 5.13 t ha<sup>-1</sup> en 2004/05 y 5.82 t ha<sup>-1</sup> en 2005/06 (Leonel y Tecchio 2010).

El volumen de fruto fresco producido va a la par con la calidad del mismo, reflejada principalmente en la longitud y el diámetro de fruto, el peso fresco y el contenido de sólidos solubles totales (SST), como lo confirma Nardozza *et al.* (2011) quienes aseguran que el sabor, dulzura y textura de la fruta son mejores al incrementar su contenido de SST y de materia seca, mejorando las propiedades sensoriales de la fruta. También Gaaliche *et al.* (2011) refieren que las prácticas de manejo mejoran la calidad de los frutos al incrementar su tamaño y contenido de biomasa.

En este estudio, el peso del fruto fresco fue constante para todos los tratamientos, alrededor de los 54 g, que resultaron pequeños comparado con los obtenidos en

Túnez por Gaaliche *et al.* (2011) con los cultivares 'Zidi' y 'Bouhouli' con 102 y 112 g respectivamente; comparable con el cultivar 'Ziguo', que en China produjo frutos de 58 g y pulpa de color rojo brillante (Luan *et al.*, 2003); Darjazi (2011) describe la diversidad genotípica de fruto fresco en Irán con peso de 8.0 a 43.5 g; Karadeniz, (2008) reporta que en Turquía los higos registraron peso del fruto entre 22.2 a 77.4 g.

El diámetro de los frutos estudiados es otra característica que se manifiesta como una constante, alrededor de 4.4 cm, valor comparable a lo reportado por Darjazi (2011) quien encontró en los cultivares de Irán frutos de diámetro ecuatorial de 2.1 a 4.5 cm y Karadeniz, (2008) en Turquía, de 2.1 a 4.5 cm.

La longitud de los frutos y el contenido de SST son valores que cambian de acuerdo con las prácticas de manejo. En este estudio la longitud varió de 6.57 a 7.53 cm y los SST de 17.79 a 21.14 %, valores comparables con los reportados por Karadeniz, (2008) quien encontró que en Turquía los genotipos de la región del Mar Negro presentan una longitud de 3.32 a 6.05 cm; en SST, Gaaliche *et al.* (2011) encontraron valores de 20.3 %, ubicados dentro de los valores reportados por Karadeniz, (2008), de 10.34 a 20.5 %; Darjazi (2011) reporta valores de 13.13 a 28.5 % y Sánchez *et al.* (2003) reportan que en España los sólidos solubles totales fluctúan entre 19.7 y 24.7 %.

La biomasa producida por la higuera bajo el manejo de producción intensiva de este experimento, resultó con valores de 15.25 a 29.62 t·ha<sup>-1</sup> incluyendo la aportada por la porción comestible (el fruto); estos resultados abren una ventana de potencial de uso, pues hoy en día el consumo de energía está aumentando rápidamente debido a la industrialización y el progreso en los niveles de vida. Los combustibles fósiles como el gas natural, el petróleo y el carbón que son las principales fuentes de energía en el mundo se agotan día a día y estos recursos no renovables, en breve, serán escasos (Hosseini y Wahid 2013). Por otra parte, los problemas de contaminación ambiental se han agravado debido a un mayor consumo de combustibles fósiles. Recientemente, los avances notables de la investigación se han orientado a explotar los recursos renovables que son respetuosos del medio

ambiente para satisfacer la demanda de energía del mundo, ya que las características de combustión pueden ser similares a los combustibles fósiles mediante la adopción de algunas estrategias.

Para dar una idea de la importancia que está cobrando hoy en día la corriente de utilización de biomasa renovable en la generación de energía, puede mencionarse que en Anatolia, Turquía el cultivo de pistacho requiere  $12,044.0 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ , utilizados en las prácticas de cultivo: la labranza consume más del 50 % de la energía, seguida por la aplicación de agroquímicos, la cosecha, el transporte y la fertilización. Se cosecharon 1500 kg de fruta que equivale a  $17,700 \text{ MJ ha}^{-1}$  (Sağlam *et al.*, 2012). En Malasia los subproductos de la industria de la palma de aceite se utilizan para producir el biogás como fuente de energía aceptable, tales como las cáscaras de frutas, restos de la pulpa, efluentes de la cáscara y aceite de palma (Hosseini y Wahid, 2013). La fabricación de pasta combustible de los tallos de menos de 0.5 cm y hojas producto de la poda de naranja, generó valores de calefacción de 16,870 KJ/kg, con temperatura de la llama (fuego) de 1150 a 2150 °C y duración de 40 a 90 minutos (González *et al.*, 2011). La utilización de energía renovable como el biodiesel de residuos de cosechas, se emplea en lugar de combustibles fósiles, buscando el desarrollo de nuevas tecnologías que reduzcan el desperdicio de partes no comestible de los cultivos y la acumulación de CO<sub>2</sub> en la atmósfera (Sorgüven y Özilgen, 2012).

## **2. Literatura citada**

- ABDEL-RAZIK, M. S.; EL-DARIER, S.1991. Functional adaptations of fig trees (*Ficus carica*, L.) in agroecosystems of the western Mediterranean desert of Egypt. Qatar University Science Journal 11:183-199.
- AKSOY, U.; BALCI, B.; CAN, H. Z.; HEPAKSOY, S. 2003. Some significant results of the research work in Turkey on fig. Acta Horticulturae 605: 173-181.

- AMANO, S.; HINO, A.; DAITO, H.; KURAOKA, T. 1972. Studies on photosynthetic activity in several kinds of fruit tree. I. Effect of some environmental factors on the rate of photosynthesis. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 2(41): 144-150.
- BILANDZIJA, N.; VOCA, N.; KRICKA, T.; MATIN, A.; JURISIC, V. 2012. Energy potential of fruit tree pruned biomass in Croatia. *Spanish Journal of Agricultural Research* 10(2): 292-298.
- CAN, H. Z.; HEPAKSOY, S.; AKSOY, U.; KUTLU, E. 2000. Leaf characteristics and net gas exchange of fig cultivars adapted to different climatic zones. *Acta Horticulturae* 516: 131-137.
- CAVATTE, P.C., RODRÍGUEZ-LÓPEZ, N.F., MARTINS, S.C.V., MATTOS, M.S., SANGLARD, L.M.V.P., DAMATTA, F.M. 2012. Functional analysis of the relative growth rate, chemical composition, construction and maintenance costs, and the payback time of *Coffea arabica* L. leaves in response to light and water availability. *Journal of Experimental Botany*. 63 (8): 3071-3082.
- DARJAZI, B. B. 2011. Morphological and pomological characteristics of fig (*Ficus carica* L.) cultivars from Varamin, Iran. *African Journal of Biotechnology*. 10 (82): 19096-19105.
- GAALICHE, B., TRAD, M., MARS, M. 2011. Effect of pollination intensity, frequency and pollen source on fig (*Ficus carica* L.) productivity and fruit quality. *Scientia Horticulturae*. 130 (4): 737-742.
- GONZÁLEZ, Z., ROSAL, A., REQUEJO, A., RODRÍGUEZ, A. 2011. Production of pulp and energy using orange tree prunings. *Bioresource Technology* 102 (19):9330-9334.
- GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, A. M.; PETERS, J. 2010. Strategies of expansion leaf in *Ficus carica* under semiarid conditions. *Plant Biology* 3(12): 469-474.

- GRAEFE, S., DUFOUR, D., GIRALDO, A., MUÑOZ, L.A., MORA, P., SOLÍS, H., GARCÉS, H., GONZALEZ, A. 2011. Energy and carbon footprints of ethanol production using banana and cooking banana discard: A case study from Costa Rica and Ecuador. *Biomass and Bioenergy*, 35: 2640-2649.
- HOSSEINI, S.E., WAHID, M.A. 2013. Feasibility study of biogas production and utilization as a source of renewable energy in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Review*. 19: 454-462.
- KARADENİZ, T. 2008. Clonal selection in Patlıcan cv. at Black Sea Region of Turkey. *Acta Horticulturae* 798: 135-138.
- KUTLU, E.; CAN, H. Z.; AKSOY, U.; HEPAKSOY, S. 2000. Evaluation of gas exchange capacity and physiological responses of selected Sarilop (= *Calimyrna*) fig clones. *Acta Horticulturae* 517: 59-63.
- LEONEL, S. Y, TECCHIO, M.A. 2010. Pruning time and irrigation on the fig trees 'Roxo de Valinhos', in the botucatu region, state of São Paulo, Brazil. *Bragantia*. 69 (3): 571-580.
- LUAN, C. H.; YU, M.; CHU, F. K.; LIU, H. Y.; DU, C. G. 2003. The performance of Ziguo fig variety in Jiexiang county. *China Fruits* 2: 55.
- MELGAREJO, P.; MARTÍNEZ, J. J.; HERNÁNDEZ, F.; SALAZAR, D. M.; MARTÍNEZ, R. 2007. Preliminary results on fig soil-less culture. *Scientia Horticulturae* 111 (3): 255-259
- NARDOZZA, S., GAMBLE, J., AXTEN, L. G., WOHLERS, M.W., CLEARWATER, M. J., FENG, J., HARKER, F. R. 2011. Dry matter content and fruit size affect flavour and texture of novel *Actinidia deliciosa* genotypes. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 91(4): 742-748.
- NIENOW, A.A., CHAVES, A., LAJÚS, C.R., CALVETE, E.O..2006. Fig-growing under protecting environment, submitted to different pruning times and number of branches. *Revista Brasileira de Fruticultura* 28 (3): 421-424.



- NII, N.; KUROIWA, T. 1990. Changes of chloroplast ultrastructure and plastid nucleoids during greening under light in etiolated fig leaves (*Ficus carica*). Journal of the Japanese Society for Horticultural Science 59(2): 333-340.
- PUEBLA, M.; TORIBIO, F.; MONTES, P. 2003. Determination of fruit bearing pruning date and cutting intensity in "San Pedro" (*Ficus carica* L) type fig cultivars. Acta Horticulturae 605: 147-157.
- SAĞLAM, C., TOBI, I., KÜP, F., ÇEVİK, M.Y. 2012. An input- output energy analysis in pistachio nut production: A case study for Southeastern Anotolia region of Turkey African Journal of Biotechnology 11 (8): 1868-1871.
- SÁNCHEZ, M. J.; MELGAREJO, P.; HERNÁNDEZ, F.; MARTÍNEZ, J. J. 2003. Chemical and morphological characterization of four fig tree cultivars (*Ficus carica* L.) grown under similar culture conditions. Acta Horticulturae 605: 33-36.
- SORGÜVEN, E., ÖZILGEN, M. 2012. Energy utilization, carbon dioxide emission, and exergy loss in flavored yogurt production process. Energy 40(1):214-225.
- YANG, J., ZHANG. J. 2010. Crop management techniques to enhance harvest index in rice. Journal of Experimental Botany 61 (12): 3177-3189.
- SMILLIE, R. M. 1992. Calvin cycle activity in fruit and the effect of heat stress. Scientia Horticultura.1-2(51): 83-95
- ZABANIOTOU, A.; KANTARELIS, E.; SKOULOU, V.; CHATZIAVGoustis, TH. 2010. Bioenergy production for CO<sub>2</sub>-mitigation and rural development via valorisation of low value crop residues and their upgrade into energy carriers: A challenge for sunflower and soya residues. Bioresource Technology 101(2): 619-623.
- ZHANG LIFEI; WANG GUODONG. 2003. Experiment of growing fig variety in the sunny greenhouse. China Fruits 4: 56.

## CONCLUSIONES GENERALES

Con base en el análisis y la discusión de cada una de las cuatro partes de esta investigación, se concluye lo siguiente:

La remoción parcial de un tercio de las hojas en cualquier posición de los tallos productivos no afecta la producción de biomasa ni de fruto fresco en higuera bajo producción intensiva bajo cubierta plástica.

Las hojas apicales juegan un papel determinante para mantener altos rendimientos de biomasa y de fruto en higuera; no se recomienda la eliminación de la fracción superior pues se reduce rendimiento y tamaño de fruto.

La remoción de frutos en higuera no mejora el tamaño promedio de los frutos que permanecen, pero si resulta en disminución drástica significativa del rendimiento por hectárea.

La eliminación de la mitad de la demanda (frutos) en higuera, sin afectar la fuente (área foliar), no afecta la producción total de biomasa pero si se afecta la distribución de ésta al aumentar significativamente su acumulación en tallos, ante la falta de frutos.

El manejo de plantaciones para producción intensiva bajo cubierta con 1.25 plantas por m<sup>2</sup>, seis tallos productivos por planta y con 18 a 22 frutos y plantas con ocho tallos con 20 frutos por tallo productivo, fueron las de mayor rendimiento de fruto fresco y biomasa total.

El tratamiento con mayor rendimiento de frutos fue el de plantas con ocho tallos con 20 frutos por tallo productivo, con una aportación mayor a 50% de la biomasa de la parte aérea de la planta. El número de frutos por tallo productivo juega un papel determinante para mantener altos rendimientos de biomasa y de fruto en higuera, al manifestar un alto índice de cosecha y área foliar, como factores determinantes para la producción de la biomasa total.

La eliminación temprana de frutos por tallo productivo (demanda) en higuera, disminuye la producción total de biomasa al afectar con ello el área foliar (oferta) y la distribución de la biomasa con mayor acumulación en tallos, ante la falta de frutos.

La inducción de la demanda de fotoasimilados hacia los frutos, al incrementar los tallos productivos de tres a ocho, con 20 frutos por tallo, en el cultivo de la higuera, presenta un efecto de incremento progresivo del índice de cosecha y de la tasa de crecimiento de biomasa diario mejorando el rendimiento de biomasa de fruto en relación con la biomasa aérea de la planta.

El manejo del ambiente de producción de frutos de higo bajo cubierta plástica, manejo programado del fertirriego, podas de brotes laterales y apicales, así como la conducción de los tallos durante el periodo de crecimiento, favorecen la cosecha de altos rendimientos.

El cultivo de la higuera bajo condiciones de manejo intensivo genera altos valores de biomasa no comestible que podría utilizarse como bioenergía alternativa en la producción de compostas, etanol, biogás y biodiesel.

## **Recomendaciones**

Lo realizado en este trabajo de investigación es una contribución parcial para el desarrollo del sistema de producción intensivo de la higuera, bajo cubierta plástica en México. Es recomendable la continuación de la investigación sobre la propagación, la nutrición, el manejo poscosecha y el mercadeo local, nacional y mundial del higo fresco, deshidratado y en pasta.