



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRICOLAS

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD**

**FISIOLOGÍA VEGETAL**

**COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO, RENDIMIENTO Y  
CALIDAD DE FRUTO DE FRESA CULTIVADA EN EL  
MODELO DE PRODUCCIÓN INTENSIVO "Raíces-150"**

**EDIS ALBERTO FLORES MARTÍNEZ**

**T E S I S**

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

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO**

**2008**

La presente tesis, titulada: **COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO, RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTO DE FRESA CULTIVADA EN EL MODELO DE PRODUCCIÓN INTENSIVO "Raíces-150"** realizada por el alumno: **Edis Alberto Flores Martínez** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD  
FISIOLOGÍA VEGETAL**

**CONSEJO PARTICULAR**

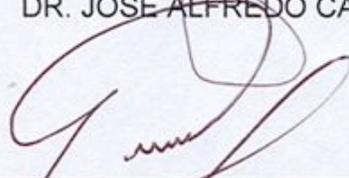
Consejero:



---

DR. JOSÉ ALFREDO CARRILLO SALAZAR

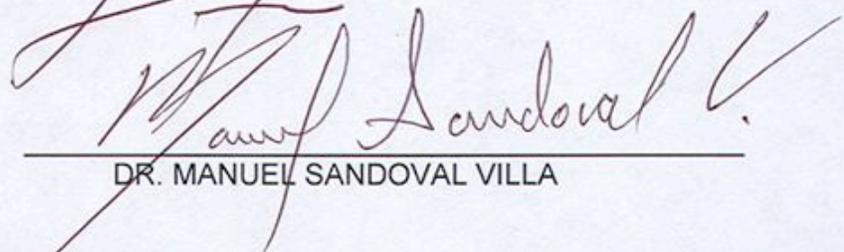
Asesor:



---

MC. ALFONSO MURATALLA LÚA

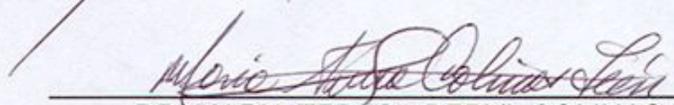
Asesor:



---

DR. MANUEL SANDOVAL VILLA

Asesor:



---

DR. MARIA TERESA BERYL COLINAS LEON

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Junio de 2008.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Colegio de Postgraduados por darme la oportunidad de formarme como profesional.

Al Consejo de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico que me otorgó durante mi formación académica como Maestro en Ciencias.

Al Instituto de Recursos Genéticos y Productividad por brindarme las herramientas necesarias para una excelente formación académica.

Al Dr. José Alfredo Carrillo Salazar por su gran dedicación para realizar esta investigación, además de la valiosa y acertada asesoría durante todo el periodo de estudio.

Al M.C. Alfonso Muratalla Lúa por su valiosa asesoría y disposición para la realización de esta investigación.

Al Dr. Manuel Sandoval Villa por toda la aportación y dedicación que puso para la realización de este trabajo.

A la Dra. María Teresa Beryl Colinas León por su gran aportación y desempeño para la realización de este trabajo.

Al M.C. Noé López Martínez por la valiosa aportación para realizar este trabajo.

A todas las personas que de alguna manera contribuyeron en mi formación profesional.

# **DEDICATORIA**

***A dios por darme la vida y la fuerza para lograr una nueva meta en mi vida.***

***A mis papás Delfina Martínez Chávez y Alvaro Flores Merlín:***

**Por su amor y apoyo incondicional en toda mi vida y formación académica.**

***A mis hermanos Alma Delfina, Zoila Aridt y Alvaro:***

**Por su gran cariño y apoyo que he recibido en todo momento.**

***A Fabiola Ireta:***

**Por todo el cariño y amor que me ha brindado en momentos muy importantes de mi vida.**

***A la familia De la Rosa Cruces:***

**Por todo el cariño y confianza brindado a mi persona.**

***CON CARIÑO Y ADMIRACION:  
EDIS***

## RESUMEN

En esta investigación se evaluó la tasa de fijación de CO<sub>2</sub>, el rendimiento y la calidad de fruto de fresa cv. Aromas en el modelo de producción intensivo “Raíces-150”. Este modelo tiene las siguientes características: Dos brazos de metal unidos basalmente los cuales forman un ángulo de 30° entre ellos, con una altura de 1.92 m. Cada brazo soporta 10 canaletas de 3 m de longitud, 0.1 m de profundidad y 0.11 m de ancho; la distancia entre las canaletas con la misma orientación es 0.4 m en el plano vertical. Se transplantaron 10 plantas de fresa por canaleta el 23 de febrero 2006 en un sustrato compuesto de una mezcla de turba y agrolita en partes iguales. Se midieron la temperatura de la hoja, temperatura del aire, tasa de fotosíntesis neta y total, conductancia estomática, tasa de transpiración, irradiancia fotosintética, radiación absorbida, número de hojas, lecturas SPAD, rendimiento de fruto, tamaño de fruto, color del fruto (luminosidad, croma y °Hue), firmeza de la pulpa, sólidos solubles totales, pH y acidez titulable por orientación (Oriente-interior, Oriente-exterior, Poniente-interior, Poniente-exterior) y altura (0.25 m, 1.05 m, 1.85 m). La orientación poniente exterior o la altura a 1.85 m presentaron los valores más altos en la mayoría de las variables respuesta. Sin embargo, las plantas a 1.85 m tuvieron el menor número de hojas. La respuesta de las plantas puede explicarse por el gradiente de radiación en la banda fotosintética con respecto a la altura en el sistema de producción intensivo. Con este sistema se podría cultivar fresa a una densidad de 250,000 plantas/ha, y producir 39.5 ton/ha de fruto fresco cada dos meses, con un rendimiento promedio de 158 g/planta.

**PALABRAS CLAVE:** *Fresa (Fragaria x ananassa), modelo de producción intensivo, Absorción de CO<sub>2</sub>, rendimiento.*

## ABSTRACT

The CO<sub>2</sub> uptake rate, fruit yield and quality of strawberry cv. Aromas were evaluated in the intensive production system “Raíces-150”. This intensive system was constructed with two metal arms of 1.92 m height joined in the base at an angle of 30°. Each metal arm held 10 pots of 1 m length, 0.1 m depth and 0.11 m wide, at a distance of 0.4 m from each other in the vertical axis. On February 23, 2006, 10 plants per pot were transplanted in a mixture of peat moss and perlite. Leaf temperature, air temperature, net CO<sub>2</sub> uptake rate, stomatal conductance, transpiration rate, photosynthetic active radiation, absorbed light, number of leaves, SPAD readings, crop yield, fruit size, fruit color (luminosity, chroma and hue), pulp firmness, soluble solids, pH and acidity were measured in plants arranged in four orientations (West-inside, West-outside, East-inside, East-outside) and three heights (0.25 m, 1.05 m and 1.85 m). Plants in pots either in the West-outside position or at 1.85 m, presented the highest values for most of the variables. However, the plants at 1.85 m had the lowest number of leaves. The difference in the plant responses can be explained by a gradient in the photosynthetic active radiation depending on the height or the orientation of the pots. This production system could hold 250,000 plants/ha and produced 39.5 ton/ha of fresh fruit each two months with a yield of 158 g/plant.

**Keywords:** (*Fragaria x ananassa*), intensive production system, CO<sub>2</sub> uptake rate, yield, fruit quality

## CONTENIDO

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 1      | Introducción .....   | 1  |
| 1.1    | Objetivo .....   | 3  |
| 1.1.1  | Objetivos específicos .....                                      | 3  |
| 1.2    | Metas .....  | 3  |
| 1.3    | Hipótesis .....  | 4  |
| 2      | Revisión de literatura .....                                     | 5  |
| 2.1    | Importancia .....  | 5  |
| 2.2    | Cultivares de fresa en México .....                              | 5  |
| 2.3    | Requerimientos ambientales .....                                 | 5  |
| 2.3.1  | Fotoperiodo .....  | 5  |
| 2.3.2  | Temperatura .....  | 7  |
| 2.4    | Requerimientos nutrimentales .....                               | 7  |
| 2.5    | Cultivo hidropónico en invernadero .....                         | 8  |
| 2.6    | Sistema hidropónico óptimo para fresa .....                      | 9  |
| 2.7    | Modelos de producción generados con técnicas hidropónicas .....  | 9  |
| 2.7.1  | Escalariforme .....  | 9  |
| 2.7.2  | Cultivo en "lana de roca" .....                                  | 9  |
| 2.7.3  | Película nutritiva (nft) .....                                   | 10 |
| 2.7.4  | Cultivo en tubos .....   | 10 |
| 2.7.5  | Cultivo en columnas .....  | 10 |
| 2.7.6  | Técnica de cultivo en macetas .....                              | 11 |
| 2.8    | Microclima de las plantas .....                                  | 11 |
| 2.9    | Radiación solar .....  | 11 |
| 2.9.1  | Mediciones de la radiación .....                                 | 13 |
| 2.10   | Temperatura y flujo de calor sensible .....                      | 15 |
| 2.10.1 | Consideraciones generales de la temperatura de las plantas ..... | 15 |
| 2.10.2 | Medición de la temperatura del ambiente .....                    | 16 |
| 3      | Materiales y métodos .....                                       | 19 |
| 3.1    | Localización .....   | 19 |
| 3.2    | Modelo de producción .....                                       | 19 |
| 3.3    | Material vegetal .....   | 20 |
| 3.4    | Sistema de riego .....   | 21 |
| 3.5    | Solución nutritiva .....   | 21 |
| 3.6    | Diseño experimental .....  | 22 |
| 3.7    | Variables meteorológicas .....                                   | 23 |
| 3.8    | Variables fenológicas y fisiológicas .....                       | 23 |
| 3.9    | Variables de fruto .....   | 24 |
| 3.9.1  | Rendimiento de fruto (g) .....                                   | 24 |
| 3.9.2  | Variables de calidad de fruto .....                              | 24 |
| 3.10   | Análisis de datos .....  | 26 |
| 4      | Resultados y discusión .....                                     | 27 |
| 4.1    | Variables meteorológicas .....                                   | 27 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 4.1.1 | Temperatura .....                            | 27 |
| 4.1.2 | Humedad relativa.....                        | 27 |
| 4.2   | Variables fenológicas y fisiológicas .....   | 28 |
| 4.2.1 | Temperatura del aire y de la hoja .....      | 28 |
| 4.2.2 | Irradiancia fotosintética.....               | 33 |
| 4.2.3 | Radiación absorbida .....                    | 36 |
| 4.2.4 | Conductancia estomática .....                | 38 |
| 4.2.5 | Transpiración.....                           | 43 |
| 4.2.6 | Fotosíntesis total.....                      | 47 |
| 4.2.7 | Fotosíntesis neta .....                      | 53 |
| 4.2.8 | Número de hojas .....                        | 56 |
| 4.2.9 | Contenido de clorofila (unidades spad) ..... | 57 |
| 4.3   | Variables de fruto .....                     | 58 |
| 5     | Discusion general.....                       | 62 |
| 6     | Conclusiones.....                            | 66 |
| 7     | Literatura citada.....                       | 67 |
| 8     | Apéndice .....                               | 73 |

## LISTA DE CUADROS

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Cuadro 1. | Cultivares de fresa en México (Larson, 2000). .....   | 6  |
| Cuadro 2. | Solución de Steiner al 20 y 50 % utilizada durante el tiempo que duró el experimento.....   | 22 |
| Cuadro 3. | Tratamientos evaluados.....   | 22 |
| Cuadro 4. | Clasificación de frutos de acuerdo con las normas de clasificación para la fresa en Estados Unidos. ....  | 25 |
| Cuadro 5. | Irradiancia fotosintética ( $W m^{-2}$ ) sobre el follaje de plantas de fresa cultivadas en diferentes orientaciones del modelo de producción intensivo. .... | 36 |
| Cuadro 6. | Radiación absorbida ( $W m^{-2}$ ) por plantas de fresa cultivadas a diferentes alturas del modelo de producción intensivo. ....                              | 38 |
| Cuadro 7. | Radiación absorbida ( $W m^{-2}$ ) por plantas de fresa cultivadas en diferentes orientaciones del modelo de producción intensivo. ....                       | 40 |
| Cuadro 8. | Fotosíntesis total ( $mmol CO_2.m^{-2}.s^{-1}$ ) en tres tiempos de diferentes fechas de muestreo .....   | 49 |
| Cuadro 9. | Fotosíntesis total ( $mmol CO_2.m^{-2}.s^{-1}$ ) en tres fechas de muestreo y a tres horas .....  | 52 |

|   |    |
|---|----|
| Cuadro 10. Número de hojas de plantas de fresa cultivadas en diferentes orientaciones del modelo de producción intensivo. ....  | 56 |
| Cuadro 11. Número de hojas de plantas de fresa cultivadas a diferentes alturas del modelo de producción intensivo. ....   | 57 |
| Cuadro 12. Unidades SPAD de hojas de plantas de fresa cultivadas en diferentes orientaciones del modelo de producción intensivo. ....   | 57 |
| Cuadro 13. Unidades SPAD de hojas de plantas de fresa cultivadas a diferentes alturas del modelo de producción intensivo. ....  | 58 |
| Cuadro 14. Análisis de varianza de las variables calidad de fruto, número de fruto, peso del fruto, firmeza, acidez, pH, SST, °Hue, Cromo y luminosidad. ....                                       | 60 |
| Cuadro 15. Calidad, número, peso, firmeza, acidez titulable, pH, SST y componentes de color (°Hue, C y L) del fruto de fresa producidos en un sistema de cultivo con diferentes orientaciones. .... | 61 |
| Cuadro 16. Calidad, número, peso, firmeza, acidez titulable, pH, SST y componentes de color (°Hue, C y L) del fruto de fresa producidos en un sistema de cultivo con diferentes alturas. ....       | 61 |

### LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Estructura del modelo de producción intensivo “Raíces-150” con cuatro orientaciones: (A) Oriente exterior; (B) Oriente interior; (C) Poniente interior; (D) Poniente exterior. ....   | 20 |
| Figura 2. Temperaturas máximas y mínimas registradas por el Hobo durante la investigación dentro del invernadero. ....  | 27 |
| Figura 3. Humedad relativa media registrada por el Hobo durante la investigación dentro del invernadero. ....   | 28 |
| Figura 4. Temperatura del aire medida con un termopar de la cámara del IRGA en un invernadero cultivado con fresa en el modelo de producción intensivo “Raíces 150”, a tres alturas durante: a) Crecimiento vegetativo (5 de abril); b) Floración (26 de mayo); c) Fructificación (16 de agosto). Verano 2006, Montecillo, México. Cada punto representa el promedio de seis repeticiones. .... | 29 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 5. Temperatura del aire medida con un termopar de la cámara del IRGA en un invernadero cultivado con fresa en el modelo de producción intensivo “Raíces 150”, a cuatro orientaciones durante: a) Crecimiento vegetativo (5 de abril); b) Floración (26 de mayo); c) Fructificación (16 de agosto). Verano 2006, Montecillo, México. Cada punto representa el promedio de seis repeticiones. .... | 30 |
| Figura 6. Temperatura de hojas de fresa cultivada en el modelo de producción intensivo “Raíces 150”, medida a tres alturas durante: a) Crecimiento vegetativo (5 de abril); b) Floración (26 de mayo); c) Fructificación (16 de agosto). Verano 2006, Montecillo, México. Cada punto representa el promedio de seis repeticiones. ....  | 31 |
| Figura 7. Temperatura de hojas de fresa cultivada en el modelo de producción intensivo “Raíces 150”, medida a cuatro orientaciones durante: a) Crecimiento vegetativo (5 de abril); b) Floración (26 de mayo); c) Fructificación (16 de agosto). Verano 2006, Montecillo, México. Cada punto representa el promedio de seis repeticiones. ....  | 32 |
| Figura 8. Irradiancia fotosintética en hojas de fresa cultivada en el modelo de producción intensivo “Raíces 150”, medida a tres alturas durante: a) Crecimiento vegetativo (5 de abril); b) Floración (26 de mayo); c) Fructificación (16 de agosto). Verano 2006, Montecillo, México. ....  | 34 |
| Figura 9. Irradiancia fotosintética en hojas de fresa cultivada en el modelo de producción intensivo “Raíces 150”, medida a cuatro orientaciones durante: a) Crecimiento vegetativo (5 de abril); b) Floración (26 de mayo); c) Fructificación (16 de agosto). Verano 2006, Montecillo, México. ....  | 35 |
| Figura 10. Radiación absorbida en hojas de fresa cultivada en el modelo de producción intensivo “Raíces 150”, medida a tres alturas durante: a) Crecimiento vegetativo (5 de abril); b) Floración (26 de mayo); c) Fructificación (16 de agosto). Verano 2006, Montecillo, México. ....   | 37 |
| Figura 11. Radiación absorbida en hojas de fresa cultivada en el modelo de producción intensivo “Raíces 150”, medida a cuatro orientaciones durante: a) Crecimiento vegetativo (5 de abril); b) Floración (26 de mayo); c) Fructificación (16 de agosto). Verano 2006, Montecillo, México. ....   | 39 |
| Figura 12. Conductancia estomática de hojas de fresa cultivada en el modelo de producción intensivo “Raíces 150”, medida a tres alturas durante: a) Crecimiento vegetativo (5 de abril); b) Floración (26 de mayo); c) Fructificación (16 agosto). Verano 2006, Montecillo, México. ....  | 41 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 13. Conductancia estomática de hojas de fresa cultivada en el modelo de producción intensivo “Raíces 150”, medida a cuatro orientaciones durante: a) Crecimiento vegetativo (5 de abril); b) Floración (26 de mayo); c) Fructificación (16 de agosto). Verano 2006, Montecillo, México..... | 42 |
| Figura 14. Transpiración de hojas de fresa cultivada en el modelo de producción intensivo “Raíces 150”, medida a tres alturas durante: a) Crecimiento vegetativo (5 de abril); b) Floración (26 de mayo); c) Fructificación (16 de agosto). Verano 2006, Montecillo, México. ....                  | 45 |
| Figura 15. Transpiración de hojas de fresa cultivada en el modelo de producción intensivo “Raíces 150”, medida a cuatro orientaciones durante: a) Crecimiento vegetativo (5 de abril); b) Floración (26 de mayo); c) Fructificación (16 de agosto). Verano 2006, Montecillo, México. ....          | 46 |
| Figura 16. Fotosíntesis total de hojas de fresa cultivada en el modelo de producción intensivo “Raíces 150”, medida a tres alturas durante: a) Crecimiento vegetativo (5 de abril); b) Floración (26 de mayo); c) Fructificación (16 de agosto). Verano 2006, Montecillo, México. ....             | 48 |
| Figura 17. Fotosíntesis total de hojas de fresa cultivada en el modelo de producción intensivo “Raíces 150”, medida a cuatro orientaciones durante: a) Crecimiento vegetativo (5 de abril); b) Floración (26 de mayo); c) Fructificación (16 de agosto). Verano 2006, Montecillo, México. ....     | 50 |
| Figura 18. Fotosíntesis neta de hojas de fresa cultivada en el modelo de producción intensivo “Raíces 150”, medida a tres alturas durante: a) Crecimiento vegetativo (5 de abril); b) Floración (26 de mayo); c) Fructificación (16 de agosto). Verano 2006, Montecillo, México. ....              | 54 |
| Figura 19. Fotosíntesis neta de hojas de fresa cultivada en el modelo de producción intensivo “Raíces 150”, medida a cuatro orientaciones durante: a) Crecimiento vegetativo (5 de abril); b) Floración (26 de mayo); c) Fructificación (16 de agosto). Verano 2006, Montecillo, México. ....      | 55 |

## LISTA DEL APÉNDICE

|   |    |
|---|----|
| Apéndice 1. Análisis de varianza de la fotosíntesis total ( $\text{mmol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) en tres fechas de muestreo y a tres horas..... | 73 |
| Apéndice 2. Imagen del sistema de producción intensivo “Raíces-150”.....  | 74 |
| Apéndice 3. Vista de las canaletas del sistema de producción intensivo “Raíces-150”.....  | 75 |

# 1 INTRODUCCIÓN

La fresa (*Fragaria x ananassa*) es un frutal consumido principalmente en fresco, con ciclo vegetativo corto y como estrategia para incrementar el rendimiento se ha establecido su cultivo en sistemas especiales de producción. En México la superficie destinada a su producción ocupa menos de 1 % de la superficie total dedicada a la agricultura (55 000 ha a 60 000 ha) lo cual contrasta con su importancia económica ya que se obtiene entre 15 y 35 pesos por kilogramo (INFOASERCA, 2008) por lo que los pequeños productores obtienen ganancias más altas con fresa que con otros cultivos; además su demanda sobrepasa generalmente la oferta.

Este cultivo es importante en los estados de Guanajuato, Michoacán y Baja California Norte por su valor de la producción, el número de empleos que genera en época de cosecha, así como por la inversión para producirla; también genera divisas por concepto de exportación. En este aspecto, Estados Unidos de América es el principal consumidor de la producción nacional de fresa, y además es el principal productor: en el 2000 contribuyó con más de una cuarta parte de la producción mundial, equivalente a 822 mil toneladas. España es el segundo productor mundial con 352 mil y Japón es el tercero con 205 mil toneladas (ASERCA, 2002).

La fresa se cultiva, como la mayoría de las especies agrícolas, directamente en el suelo, en donde las variaciones en los sistemas de producción corresponden a distancias entre plantas: 1) El sistema directo en el cual se colocan dos hileras de plantas no refrigeradas a 25 cm entre plantas e hileras, en surcos de 0.90 a 1 m de ancho y en donde los estolones se remueven durante la fase de crecimiento; 2) El sistema semidirecto con plantas refrigeradas colocadas en forma de tres bolillo a una distancia de 40 cm entre ellas, en surcos de 1 m de ancho (Vázquez, 1992).

La desventaja de cultivar fresa en suelo es que se reduce la eficiencia en el uso de nutrimentos. Esto puede conducir a excesos de iones ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{Mg}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ) por fertilizaciones frecuentes lo que causa desbalance entre el crecimiento vegetativo y reproductivo y origina la reducción de rendimiento y calidad de fresa (Albregts *et al.*, 1991).

También bajo estas condiciones de cultivo puede ser excesiva la concentración de nitrógeno lo que produce frutos blandos, retrasa la maduración, disminuye el rendimiento e incrementa la proliferación de enfermedades provocadas por hongos (Hancock, 1999).

Por otro lado, la necesidad de incrementar la producción agrícola en México en donde la superficie cultivable por habitante y por productor es baja, los recursos hídricos son escasos, las heladas, inundaciones y granizo dañan los cultivos, los suelos carecen de algunos nutrimentos como nitrógeno y fósforo, y con frecuencia tienen problemas de salinidad, la topografía es accidentada y se presenta pérdida de suelo por erosión hídrica y eólica, ha llevado a los investigadores en agricultura a considerar el uso de sistemas de producción intensivos basados en la hidroponía (cultivo sin suelo) y en el uso de cubiertas (invernaderos, microtúneles y malla sombra), sistemas que además permiten aumentar la producción por unidad de superficie, incrementar la calidad de los productos y obtener cosechas constantemente durante todo el año (Sandoval y Brizuela, 2002)

En los sistemas intensivos mencionados anteriormente, el rendimiento y calidad del fruto de fresa son superiores comparados con los obtenidos en sistemas tradicionales, se optimizan insumos y se reduce el impacto ambiental (Morgan, 2002).

Debido a la necesidad de buscar nuevas opciones de arreglo espacial de las plantas para eficientizar el espacio productivo, un grupo de investigadores del Colegio de Postgraduados, han propuesto el modelo de producción intensivo llamado "Raíces-150". Este sistema tiene dos brazos de metal unidos basalmente, insertados a un ángulo de 30° entre ellos, estabilizados con cemento a 40 cm bajo el suelo. La estructura de 1.92 m de altura soporta 10 canaletas de 3 m de longitud, 10 cm de profundidad y 15 cm de ancho, con 40 cm de separación entre canaletas con la misma orientación. En cada canaleta, se puede establecer 14 plantas a 21 cm de distancia.

Con este modelo de producción en invernadero e hidroponía, se espera obtener mayor crecimiento, rendimiento y calidad de la producción de fresa que con el sistema de producción en suelo porque hipotéticamente, el sistema Raíces-150 permite aprovechar mejor la radiación solar durante el día, debido a que las canaletas están distribuidas verticalmente (altura) y orientadas de poniente a oriente. Aunado a lo anterior, el modelo

de producción anteriormente indicado, bajo condiciones de humedad y fertilización óptimas, podría representar mayor fotosíntesis neta, tasas de crecimiento, y acumulación de biomasa por unidad de superficie, e incrementar la densidad de población y el rendimiento de fresa. Con este sistema de producción también se podría mejorar la calidad de la fresa ya que la estructura permite que los frutos estén suspendidos y de esta forma se previene el contacto con el sustrato.

Considerando la importancia de la evaluación de este sistema de producción intensivo, se plantea en el trabajo los siguientes objetivos, metas e hipótesis:

## **1.1 OBJETIVO**

- Evaluar el comportamiento fisiológico, rendimiento y calidad de fruto de fresa cultivada en el modelo de producción intensivo “Raíces-150”

### **1.1.1 Objetivos específicos**

- Evaluar la fotosíntesis total de la fresa cultivada con el sistema de producción intensivo “Raíces-150”.
- Evaluar el efecto de la altura y orientación en el crecimiento de la fresa en el sistema de producción intensivo “Raíces-150”.
- Evaluar el rendimiento de la fresa con el sistema de producción intensivo “Raíces-150”.
- Evaluar la calidad de los frutos obtenidos en el sistema de producción intensivo “Raíces-150”.

## **1.2 Metas**

- Contribuir al conocimiento sobre la producción de fresa en el sistema de producción intensivo “Raíces-150”.
- Duplicar la producción de fresa en comparación con los sistemas tradicionales.

### **1.3 Hipótesis**

- Las orientaciones y alturas que se presentan en el modelo de producción intensivo “Raíces-150” establecido en condiciones de invernadero no afectan el crecimiento de la fresa, el rendimiento ni la calidad del fruto.

## **2 REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 Importancia**

La fresa es una hortaliza que se cultiva en once estados de la República Mexicana, de los cuales Michoacán, Guanajuato y Baja California son los mayores productores a nivel nacional, así como los principales exportadores a Estados Unidos. La región agrícola del Bajío ha sido por tradición la región productora de fresa, con 3,500 a 5,000 ha sembradas al año (ASERCA, 2002).

### **2.2 Cultivares de fresa en México**

Los principales cultivares de fresa en México proceden del programa de mejoramiento de la Universidad de California, institución que ha creado variedades con amplia adaptación climática (Larson, 2000). En el Cuadro 1 se presentan las características de algunas variedades importantes en México.

### **2.3 Requerimientos ambientales**

#### **2.3.1 Fotoperiodo**

El fotoperiodo, en relación con el termoperiodo (reacción de las plantas a la variación anual, diaria o aperiódica de la temperatura), determina la inducción de la floración, el comportamiento productivo y el área de distribución de las variedades (Bianchi, 1999).

Las principales variedades cultivadas en México son de día corto, es decir sus embriones florales se diferencian en otoño por lo que sólo tienen una floración anual. Otras variedades -por el contrario- son de día largo y producen inflorescencias y frutos durante el verano. Sin embargo, estas variedades forman pocos estolones por lo que se propagan por esquejes, además de que tienen fecundación desuniforme durante los meses más cálidos, lo que causa un porcentaje alto de frutos mal formados (Bianchi, 1999).

Cuadro 1. Cultivares de fresa en México (Larson, 2000).

| Cultivar          | Característica   |
|-------------------|--|
| <b>Aromas</b>     | Floración de día neutro, alta producción, fruto de color rojo y con forma cónica y alargada. El fruto tiene buena calidad postcosecha. Se utiliza para el consumo en fresco e industria.   |
| <b>Camarosa</b>   | Floración de día corto, alta producción, vigor y calidad de fruta en postcosecha. Fruta de color rojo o rojo-oscuro de aspecto cónico alargado o cónico aplanado, aceptada para consumo fresco e industria. Sensible a enfermedades como: <i>Verticillium daliae</i> , <i>Phytophthora cactorum</i> y <i>Sphaeroteca macularis</i> . |
| <b>Oso grande</b> | Floración de día corto, alto rendimiento de fruto, calidad inferior por su sabor, color y brillo. No presenta resistencia a enfermedades del suelo y es altamente sensible a infección por <i>Xanthomonas fragariae</i> .  |
| <b>Chandler</b>   | Floración de día corto, alto rendimiento. Fruto de aspecto cónico-alargado y ligeramente firme. Color rojo. No es sensible a enfermedades del suelo.   |
| <b>Seascape</b>   | Floración de día neutro. Fruto de aspecto cónico-alargado y de color rojo oscuro y de buen sabor. Sin firmeza. Muy susceptible a enfermedades del suelo.   |
| <b>Diamante</b>   | Floración de día neutro. Alta calidad y buena producción. La fruta es de alta firmeza, color rojo claro y excelente sabor. Se cultiva para el mercado fresco. Altamente sensible a la pudrición de la raíz y corona causada por <i>Phytophthora cactorum</i> .   |

Un tercer grupo de variedades mejoradas son insensibles al fotoperíodo y se le conoce como de día neutro; la diferenciación floral es inducida por la temperatura del ambiente, por esto es posible obtener producción continua durante todo el año (Bianchi, 1999).

Durner *et al.* (1984), al estudiar los efectos del fotoperíodo y la temperatura en la floración y formación de estolones de variedades de fresa de día corto, largo y neutro, llegaron a la conclusión que la clasificación de las variedades según las necesidades de fotoperíodo es

inadecuada; estos autores encontraron interacciones entre la variedad, el fotoperíodo y la temperatura tanto para la floración como para la formación de estolones. Hay que señalar también que una temperatura inferior a 12 °C durante el cuajado de los frutos produce frutos deformes (Durner *et al.*,1984).

### **2.3.2 Temperatura**

La fresa es considerada una especie que soporta temperaturas hasta de 2 °C durante el reposo vegetativo, y para interrumpir el estado durmiente de las yemas se requieren temperaturas inferiores a 6 °C. Las estructuras vegetativas son altamente resistente a las heladas pero sus flores se dañan con temperaturas menores a 0 °C (Tesi, 1980; Bianchi, 1986). Por otro lado, con temperaturas superiores a 40 °C se induce la producción de frutos de mala calidad (Maroto, 1986), además de planchado de los frutos, que es un síntoma de deshidratación (Folquer, 1986; Maroto, 1983). Sin embargo, existen variedades adaptadas a zonas cálidas y soportan temperaturas de hasta 55 °C (Dirección General de Desarrollo Económico de Irapuato, 2003).

Durante la fase vegetativa, la temperatura óptima para el crecimiento es 20 °C durante el día y 12 °C durante la noche. Pero en las fases de floración y maduración se requieren 25 a 26 °C durante el día. Temperaturas menores a 2 °C y superiores a 34 °C provocan desvitalización del polen, aborto floral y malformación de los frutos (Bianchi, 1986).

La mayoría de variedades requieren horas frío para formar hojas y obtener buena producción (Maroto, 1989).

### **2.4 Requerimientos nutrimentales**

La fresa tiene demanda alta de nitrógeno y potasio debido a que son los mayores componentes de la fruta. Dosis óptimas de nitrógeno, fósforo y potasio son esenciales para el desarrollo del cultivo. Sin embargo, niveles excesivos de nitrógeno producen frutos blandos, retardan la maduración, disminuyen el rendimiento e incrementan la proliferación de enfermedades provocadas por hongos (Hancock, 1999).

El potasio se requiere en procesos fisiológicos tales como la activación de enzimas, el transporte de azúcares, funciones estomáticas, síntesis de proteínas y fotosíntesis (Maas, 1998); incrementa la producción floral y el rendimiento en fruta (Albregts *et al.*, 1991). El calcio es importante para la firmeza de los frutos. La deficiencia de boro reduce la producción de polen viable, así como reduce la expansión del receptáculo. La deficiencia de zinc produce frutos pequeños y bajo rendimiento mientras que la deficiencia de hierro reduce el vigor de las hojas (Hancock, 1999).

## **2.5 Cultivo hidropónico en invernadero**

La hidroponía es la técnica para producir plantas en solución nutritiva (agua y fertilizante) con o sin el uso de un medio artificial -como arena, grava, vermiculita, perlita, lana de roca, musgo, fibra de coco, aserrín- para proveer soporte mecánico. Los sistemas hidropónicos líquidos requieren de un soporte físico para las raíces de las plantas, mientras que los sistemas con agregados tienen un medio sólido en donde se fijan las raíces (Sánchez, 2002). Esta técnica permite obtener frutos libres de patógenos siempre y cuando se mantenga higiénico el invernadero; es decir, se requiere mantener pisos y pasillos sin polvo (piso cubierto de concreto o cubierto de arena, grava, tezontle o materiales sintéticos) (Sánchez y Escalante, 1988).

El cultivo de fresa en sistemas hidropónicos representa una oportunidad para incrementar el rendimiento y la calidad del fruto sobre los sistemas tradicionales, gracias al proceso de producción que se realiza, lo cual le da a la planta los nutrientes y condiciones ambientales necesarias para su desarrollo y mejor rendimiento y calidad de los frutos (Morgan, 2002). Por otro lado, un problema que pueden presentar los frutos de fresa producida en suelo (campo abierto) es la acumulación de insecticidas en sus tejidos. En cambio, su producción en invernadero puede reducir considerablemente la aplicación de insecticidas ya que se tiene mayor control de plagas y enfermedades si se mantienen cerrados los accesos del invernadero, y se apliquen medidas preventivas como la utilización de exclusas, tapete sanitario, y el cuidado del plástico o estructura del invernadero para evitar intrusión de agentes externos (Sánchez y Escalante, 1988).

Si se utiliza la técnica de hidroponía con un sustrato cercano a las condiciones “ideales (inerte, durable y con buena porosidad)” se obtiene un balance adecuado de aire, agua y nutrientes para las raíces, lo cual es controlado por el productor, a diferencia de lo que puede esperarse cuando se cultiva a campo abierto (Sánchez y Escalante, 1988).

## **2.6 Sistema hidropónico óptimo para fresa**

El sistema hidropónico más apropiado para producir fresa es el riego por goteo en combinación con un sustrato inerte como el tezontle rojo con granulometría de 0.2 a 0.8 cm de diámetro. Se recomienda la utilización de bolsas de plástico (una para cada planta) con capacidad de 5 litros. Cada planta o bolsa es equipada con un gotero. Las bolsas se sitúan a 30 cm entre plantas y 80 cm entre hileras con lo que se tiene una densidad de 41,250 plantas por hectárea (Sandoval, 2004).

## **2.7 Modelos de producción generados con técnicas hidropónicas**

### **2.7.1 Escaleriforme**

Un modelo de producción aplicado principalmente para jitomate consiste en orientar las hileras de plantas en dirección este-oeste y colocar cada hilera de plantas en tinajas a diferente altura para disminuir progresivamente la altura desde la hilera norte hasta la hilera sur; se forma un dosel escaleriforme con el cual se mejora la distribución de la radiación fotosintéticamente activa incidente y en consecuencia se incrementa la producción de biomasa y el rendimiento por unidad de superficie y tiempo (Méndez, 2002).

### **2.7.2 Cultivo en “lana de roca”**

Esta modalidad de cultivo hidropónico se originó en Dinamarca y Suecia. La “lana de roca” es una fibra hecha a base de minerales fundidos y mezclados a 1600 °C, lo que da como resultado una madeja fibrosa, completamente estéril, muy absorbente y ligera. El agua en este sustrato se encuentra retenida a baja tensión, por lo que es fácilmente absorbida por

las plantas, aunque se requiere de realizar riegos continuos. La aireación es también excelente pues su espacio poroso es más de 95%. Las plantas cultivadas bajo este sistema se colocan sobre bloques forrados con polietileno rellenos con colchonetas de esta fibra cuyo grueso oscila entre 7.5 y 10 cm, o bien en macetas de polietileno rellenas con madeja de fibra. La solución se aplica generalmente por goteo (Sánchez y Escalante, 1988).

### **2.7.3 Película nutritiva (NFT)**

Es una técnica de cultivo en agua en la cual las raíces de las plantas crecen debajo de una lámina de plástico, a través de la cual circula la solución nutritiva intermitente o continuamente. El término “Nutrient Film Technique” fue utilizado por primera vez en Inglaterra para remarcar que la profundidad del líquido que fluye a través de las raíces debe ser pequeña de tal forma que las plantas dispongan de oxígeno (Resh, 1992).

### **2.7.4 Cultivo en tubos**

Es una modificación del sistema NFT. La solución de nutrientes se bombea a través de tuberías de drenaje PVC cubiertas con una película de polietileno negro. La tubería de PVC se corta por la mitad y el polietileno negro colocado sobre la parte superior de ésta, sirve para realizar una serie de perforaciones a través de las cuales se colocan las macetas con las plantas; éstas se colocan directamente sobre el fondo de la tubería de PVC a través de la cual circula la solución nutritiva (Resh, 1992). Juárez (2005) menciona que se obtienen mayores rendimientos y calidad de fresa con este sistema que cuando se cultivan en bolsas o suelo. Además el mismo autor menciona que con este sistema se ahorra hasta 50% de agua y fertilizantes.

### **2.7.5 Cultivo en columnas**

Este sistema utiliza estructuras de plástico verticales y rellenas con sustratos ligeros, normalmente de polietileno negro calibre 600 a 800 galgas, con un diámetro de 15 a 25 cm

y 2 m de altura, colgadas con cintas de madera en la estructura del invernadero; cada columna puede sostener 28 plantas de fresa, regadas con el sistema de riego por goteo o mediante microtubos (fideo). La solución nutritiva drena por la base de los tubos (Sánchez, 2002).

### **2.7.6 Técnica de cultivo en macetas**

Esta técnica utiliza bolsas de polietileno negro rellenas con sustrato. Las bolsas se sostienen con ladrillos huecos de hormigón, cuyas cavidades también se rellenan con sustrato, permitiendo el crecimiento de plantas más pequeñas (por ejemplo cultivos como la lechuga) (Sánchez y Escalante, 1988). El riego se efectúa con boquillas que rocían la solución nutritiva en la superficie del agregado a intervalos regulares (Sánchez y Escalante, 1988).

## **2.8 Microclima de las plantas**

El microclima es el complejo de variables como la temperatura del aire, radiación solar, humedad del aire y velocidad del viento, que interactúan con una planta o población. Las plantas están acopladas a su microclima debido a que hay interrelaciones y retroalimentación entre éste y la planta, lo que resulta en intercambio de energía y masa (Ayala, 1995). Los componentes radiativo y difusivo del microclima están acoplados entre sí. En consecuencia, la radiación, temperatura del aire, viento y humedad interaccionan simultáneamente con la planta (Ayala, 1995). El crecimiento y productividad de las plantas depende en última instancia de la influencia del microclima sobre procesos vegetales tales como fotosíntesis, respiración, transpiración y traslocación de fotosintatos (Ayala, 1995).

## **2.9 Radiación solar**

La radiación solar es la fuente de energía para todos los procesos físicos y biológicos que ocurren sobre la tierra; es entonces, la fuente primaria de energía para la fotosíntesis y la productividad (Ayala, 1995). Alrededor del 98 % de la energía emitida por el sol tiene

longitudes de onda entre 0.3 y 3.0  $\mu\text{m}$ . Antes de que la radiación solar llegue a la atmósfera terrestre, el espectro de emisión tiene un pico de 0.48  $\mu\text{m}$ , que corresponde a un radiador o emisor con una temperatura de 6000° K (Coombs, *et al.*, 1988).

La energía radiante puede ser descrita como ondas o paquetes discretos de energía llamados *fotones*. Cuando se trata de procesos fotoquímicos como el que ocurre en la fotosíntesis, el número de fotones incidentes por unidad de tiempo es más pertinente que el contenido de energía de la radiación. Esto se conoce como densidad de flujo cuántico (o de fotones) (Q) y se mide en  $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  en donde un *mol* es el número de Avogadro ( $6.022 \times 10^{24}$ ) de cuanta o fotones. Cuando se mide la tasa de fotosíntesis, es más apropiado expresar la radiación luminosa incidente en el plano de la hoja en términos de densidad de flujo de fotones fotosintéticos (Coombs, *et al.*, 1988).

La energía de un fotón (E) está relacionada con su longitud de onda ( $\lambda$ ) o frecuencia de oscilación ( $\nu$ ):

$$E = (h c) / \lambda = h \nu$$

Donde h es la constante de Planck ( $6.63 \times 10^{-34} \text{ J s}^{-1}$ ).

En la superficie de la tierra, la radiación solar se puede dividir en dos componentes, con base en si la radiación procede directamente del sol (directa) o si es dispersada o reflejada por la atmósfera y las nubes (difusa). La radiación difusa tiene composición espectral distinta a la radiación directa, debido a que las longitudes de onda corta son más dispersadas por las moléculas de aire que aquellas de mayor longitud; por esta razón se observa el color azul de los cielos claros (Coombs, *et al.*, 1988).

Por otra parte las partículas más grandes como polvo y agua, dispersan igualmente todas las longitudes de onda como se puede observar cuando el cielo está cubierto de nubes, el cual toma una coloración blanca. La cantidad de luz difusa varía de acuerdo al ángulo del sol y la cantidad de nubes o vapor de agua; aún en un día claro, la radiación difusa representa 10 a 30 % de la irradiancia solar total (Coombs, *et al.*, 1988).

Las longitudes de onda del espectro de radiación emitido por el sol usadas en la fotosíntesis están entre 400 y 700 nm y a esta banda se le llama radiación fotosintéticamente activa. Los cuanta de luz (fotones) dentro de esta longitud de onda son casi igual de efectivos para iniciar las reacciones luminosas de la fotosíntesis (Coombs, *et al.*, 1988).

La radiación incidente en una hoja o dosel vegetal puede ser absorbida, transmitida o reflejada. La hoja absorbe 90 % de la radiación incidente (Coombs, *et al.*, 1988). Del total de radiación absorbida, menos del 5 % se utiliza en el proceso de fotosíntesis. El resto de esta energía eleva la temperatura de la planta y de los organismos circundantes de tal manera que la energía solar determina la temperatura a la que están ocurriendo los procesos fisiológicos. Pero las estructuras vegetales transmiten la mayor parte de la radiación en la región infrarroja entre 0.7 y 3.0  $\mu\text{m}$ . La radiación solar también afecta el crecimiento y desarrollo de la planta a lo que se han llamado respuestas fotomorfogénicas y fototrópicas (Coombs, *et al.*, 1988).

La luz controla el desarrollo y forma de las plantas, las cuales responden a luz con niveles bajos de energía para la fotosíntesis, pueden requerir duraciones cortas de luz y así obtener los requerimientos necesarios. El fotoperíodo se puede extender durante el día con bajos niveles de luz, alcanzándose valores menores de 0.9  $\text{W}/\text{m}^2$ . Además se menciona que si se llega a obtener un nivel de radiación de 0.3  $\text{W}/\text{m}^2$  se puede esperar un impacto insignificante en el crecimiento de la planta (Hellickson y Walter, 1983).

### **2.9.1 Mediciones de la radiación**

La mayoría de los instrumentos para medir la radiación solar y de onda larga consisten de arreglos de pilas termoeléctricas; éstas consisten de series de uniones (termopares) entre dos metales como puede ser cobre y constantano (Coombs, *et al.*, 1988).

La radiación de onda larga generalmente se mide usando radiómetros netos, que registran la diferencia entre los flujos de radiación entrante y saliente en todas las longitudes de onda ( $\Phi_{\text{neta}}$ ). Cuando la  $\Phi_{\text{neta}}$  se mide arriba del dosel, su valor es la radiación neta

absorbida por el dosel. Sin embargo, la radiación neta absorbida por un estrato foliar en el dosel es la diferencia entre  $\Phi_{\text{neta}}$  arriba y debajo de este dosel. El componente principal de un radiómetro neto es una placa negra plana: la diferencia de temperatura entre la superficie superior y la inferior, medida con una pila termoeléctrica, es proporcional a la irradiancia neta (Coombs, *et al.*, 1988).

Para medir dentro de doseles vegetales donde la distribución de la radiación no es uniforme, se puede obtener el promedio de lecturas de radiación con un sensor pequeño (sensor cuántico) a lo largo de un riel o se puede emplear un sensor lineal largo (solarímetros de tubo y radiómetros). Estos sensores lineales son menos precisos que los sensores de placa plana debido al mayor error de coseno, se recomienda utilizarlos en mediciones relativas en vez de mediciones absolutas (Coombs, *et al.*, 1988).

Además de los flujos de energía a través de la atmósfera, también se presenta intranferencia vertical de energía a través del suelo, a esto se le conoce como flujo de calor del suelo. En el día, el suelo normalmente actúa como receptor, de tal manera que el flujo de calor del suelo es positivo. En la noche, se vuelve negativo y de magnitud absoluta similar al del valor diurno. El flujo de calor del suelo puede variar entre 2 % de  $\Phi_{\text{neta}}$  debajo de doseles densos a más de 30 % de  $\Phi_{\text{neta}}$  debajo de doseles abiertos (Coombs *et al.*, 1988).

La transferencia vertical de calor por conducción a través del suelo se mide con un sensor similar a un radiómetro neto. En la práctica, la placa es de vidrio o resina, pero los errores pueden ser mayores de 40 % debido a ajustes deficientes en la conductividad (Coombs *et al.*, 1988).

Otro tipo de sensor para medir la radiación solar es la celda de silicio que consiste de una pieza pequeña de silicio sensible a la radiación. Ésta funciona absorbiendo luz con lo que libera electrones y genera corriente eléctrica (Coombs *et al.*, 1988).

## 2.10 Temperatura y flujo de calor sensible

### 2.10.1 Consideraciones generales de la temperatura de las plantas

Los procesos fisiológicos tales como germinación, fotosíntesis, respiración y crecimiento de la hoja responden a la temperatura. Por esto, es importante medir la temperatura del proceso u órgano que se está estudiando ya que ésta puede diferir en varios grados de la del aire. Por ejemplo, cuando se mide la expansión de las hojas en las gramíneas, la temperatura en la región meristemática en la base de la hoja es la medición más pertinente, la cual puede estar más cercana a la temperatura del suelo debido a la ubicación de los meristemas en las gramíneas en estado vegetativo. Además, es notable la variación espacial de la temperatura como resultado de la intercepción de radiación solar en la parte superior de los doseles (Coombs *et al.*, 1988).

Rosenberg en 1983, menciona que si una superficie se encuentra descubierta, ésta presenta el mayor rango de temperatura, ya que la temperatura cambia drásticamente en los primeros milímetros de la superficie en la tierra o en el aire. Además los cambios en la humedad se presentan en mayor cantidad con la elevación de la temperatura y principalmente cerca de la superficie, ya que se intercambian grandes cantidades de energía a la superficie en los procesos de evaporación y condensación. Por otra parte, gracias a la velocidad del viento se disminuye la temperatura conforme se aproxima a la superficie. Así se presentan los diferentes rangos de las condiciones ambientales cerca de la superficie de la tierra y la proporción de estos cambios de acuerdo al tiempo y a la elevación hacen que los microclimas sean tan diferentes del clima solo algunos metros de diferencia, dónde los procesos en conjunto con los atmosféricos son mucho más activos que el clima que es más moderado y estable.

La temperatura de los órganos aéreos de la planta está determinada por el balance entre la energía ganada por intercepción de radiación ( $R_{abs}$ ) y la energía perdida por la emisión de radiación ( $R_{rad}$ ), la convección o pérdida de calor “sensible” ( $H$ ) y la transpiración ( $LE$ ); de tal manera que según Jones:

$$R_{abs} = R_{rad} + LE + H$$

y

$$R_n = R_{abs} - R_{rad}$$

La temperatura que puede alcanzar una hoja en un ambiente dado se puede calcular empleando un procedimiento de cómputo iterativo y con base en la siguiente ecuación, que describe  $\lambda$  E y C en términos de un circuito eléctrico (Coombs *et al.*, 1988):

$$\Phi_{\text{net}} = \frac{P c_p (e_{s1} r_1 - e)}{r (r_s + r_a M_2O)} + \frac{P c_p (T_i - T_a)}{r_{as} M}$$

En donde P es la densidad, Cp es el calor específico del aire (J/(kg K)),  $e_{s1} r_1$  es la presión de vapor de aire saturado a la temperatura de la hoja (J/kg),  $T_i$  es la presión de vapor de aire libre (J/kg), M es la constante sicométrica (66Pa °C<sup>-1</sup>),  $r_s$  es la resistencia estomática,  $r_a M_2O$  es la resistencia de la capa de frontera al vapor de agua y  $r_{as} M$  es la resistencia de la capa de frontera al calor. Sin embargo de la ecuación anterior se puede derivar una expresión más conveniente, en la cual se calcula la diferencia entre la temperatura de la hoja y del aire de la suma de términos que dependen de la radiación neta y de la presión de vapor de aire (Coombs *et al.*, 1988).

Como se puede apreciar, la temperatura de la planta está determinada por muchos factores que afectan la magnitud de  $\Phi_{\text{rad}}$ , E y C.

Las unidades para medir la temperatura son los grados Celsius (°C) o Kelvin (K = 273 °C) y por lo general se considera que una sensibilidad de  $\pm 1$  °C es suficiente para estudios de análisis del crecimiento y desarrollo vegetal, pero para calcular transpiración o transferencia de calor se requiere equipo con sensibilidad de  $\pm 0.1$  °C (Coombs *et al.*, 1988).

### 2.10.2 Medición de la temperatura del ambiente

La temperatura del ambiente se mide con transductores que se basan en los efectos de la temperatura en respuestas de expansión, eléctricas o radiactivas. Las dos fuentes de error más importantes en la medición de la temperatura son los efectos de la radiación entrante y el efecto de la masa térmica del sensor. Ambos efectos son más importantes en el aire

que en el agua o cuando las mediciones se hacen dentro del tejido vegetal (Coombs *et al.*, 1988).

Los instrumentos de uso más común para medir la temperatura se basan en líquidos como el mercurio en vidrio. Estos instrumentos se usan ampliamente en estaciones meteorológicas, pero no están adaptados para registrar automáticamente los valores (Coombs *et al.*, 1988).

Otros sensores de temperatura se basan en la alteración de las propiedades eléctricas de ciertos materiales por efecto de la temperatura. Estos transductores eléctricos de temperatura se llaman *termopares*, los que conducen la electricidad a través de una unión entre dos metales diferentes en función de la temperatura o *termómetros de resistencia* y *termistores* en donde la resistencia cambia con la temperatura (Coombs *et al.*, 1988).

Los termopares se emplean en muchas áreas porque son pequeños, fáciles de construir y de bajo costo. Se pueden construir termopares con la combinación de diferentes metales, lo que les da propiedades eléctricas y físicas diferentes que influyen en su sensibilidad a la temperatura y disponibilidad en diferentes aplicaciones (Coombs *et al.*, 1988).

Cuando se tienen dos uniones de termopares, el voltaje (V) generado es proporcional a la diferencia en temperatura entre la unión de medición (sensor) y la unión de referencia:

$$V = k (T - T_0)$$

En donde: T es la temperatura del sensor,  $T_0$  la temperatura de referencia y k el coeficiente de temperatura (el cambio en la fuerza electromotriz (f.e.m) por cambio unitario de temperatura a la temperatura de referencia) (Coombs *et al.*, 1988).

Es una práctica común suponer que hay una relación lineal entre la f.e.m. del termopar y la temperatura, pero para investigaciones que requieren mayor precisión, la relación se describe con una ecuación de regresión cuadrática. Para usar un termopar, se requiere mantener la unión de referencia a temperatura constante; con este fin, resulta conveniente

mezclar agua y hielo en un contenedor aislante para mantener la temperatura a 0 °C. Alternativamente, la temperatura del suelo a 1 m de profundidad es estable y se puede usar como temperatura de referencia. Más convenientes son las referencias electrónicas, ahora disponibles en muchos medidores. Cuando se usan en esta forma, se necesita sólo un termopar para medir la temperatura (Coombs *et al.*, 1988).

Los termopares pueden construirse con facilidad, siempre y cuando se compruebe la unión entre los dos metales. Para soldar las uniones se puede emplear estaño o plata. Con plata se obtienen uniones más pequeñas con bórax como fundente (Coombs *et al.*, 1988).

Después de soldar las uniones, éstas se pueden cortar con una navaja bajo un microscopio binocular para hacerlas tan pequeñas como sea posible. Idealmente los termopares se deben calibrar individualmente, debido a pequeñas variaciones en las características de los alambres y las uniones (Coombs *et al.*, 1988).

Los termómetros de resistencia de alambre se construyen con más frecuencia de platino, níquel o cobre; los de platino comercialmente disponibles son bastante voluminosos, típicamente 20 mm de largo y 3 mm de diámetro. Por esto, estos termómetros son útiles para medir la temperatura de objetos voluminosos y con frecuencia se usan en investigaciones de largo plazo debido a su alta estabilidad, resistencia a la intemperie y al cambio casi lineal entre la resistencia y la temperatura. Sin embargo, la magnitud de cambio de la resistencia por efecto de la temperatura es relativamente pequeña, de tal manera se debe diseñar un circuito para medir el voltaje producido con la precaución de evitar resistencias con errores grandes (Coombs *et al.*, 1988).

Los termistores son semiconductores, compuestos de incrustaciones de óxidos metálicos mezclados. La resistencia de estos disminuye exponencialmente con la temperatura y su sensibilidad es diez veces superior que la de los termómetros de resistencia. Los hay disponibles en una diversidad de tamaños, hasta de 0.2 mm de diámetro. Los circuitos necesarios para producir una lectura son relativamente simples (Coombs *et al.*, 1988).

### **3 MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Localización**

La investigación se realizó en un invernadero tipo túnel con diseño de media luna a 4.5 m de altura y cubierta de polietileno, estructura de acero galvanizado, ventilación lateral, y orientación norte-sur, ubicado en el Campus Experimental de Montecillo del Colegio de Postgraduados a 19° 29' N y 98° 53' O y 2260 m de altitud. El clima es C (W<sub>o</sub>) (W) b (y) g, descrito como templado subhúmedo con precipitación media anual de 645 mm y temperatura promedio anual de 15 °C, con heladas tempranas a fines de septiembre y tardías en abril (García, 1973).

#### **3.2 Modelo de producción**

El modelo de producción "Raíces-150" (Figura 1) fue construido por duplicado con las siguientes características: dos brazos de metal unidos basalmente los cuales forman un ángulo de 30° entre ellos, con una altura de 1.92 m. Cada brazo soporta 10 canaletas de 3 m de longitud, 10 cm de profundidad y 11 cm de ancho; la distancia entre las canaletas con la misma orientación es 40 cm en el plano vertical. La base fue fijada 40 cm bajo el suelo con cemento. La orientación del modelo fue norte-sur.

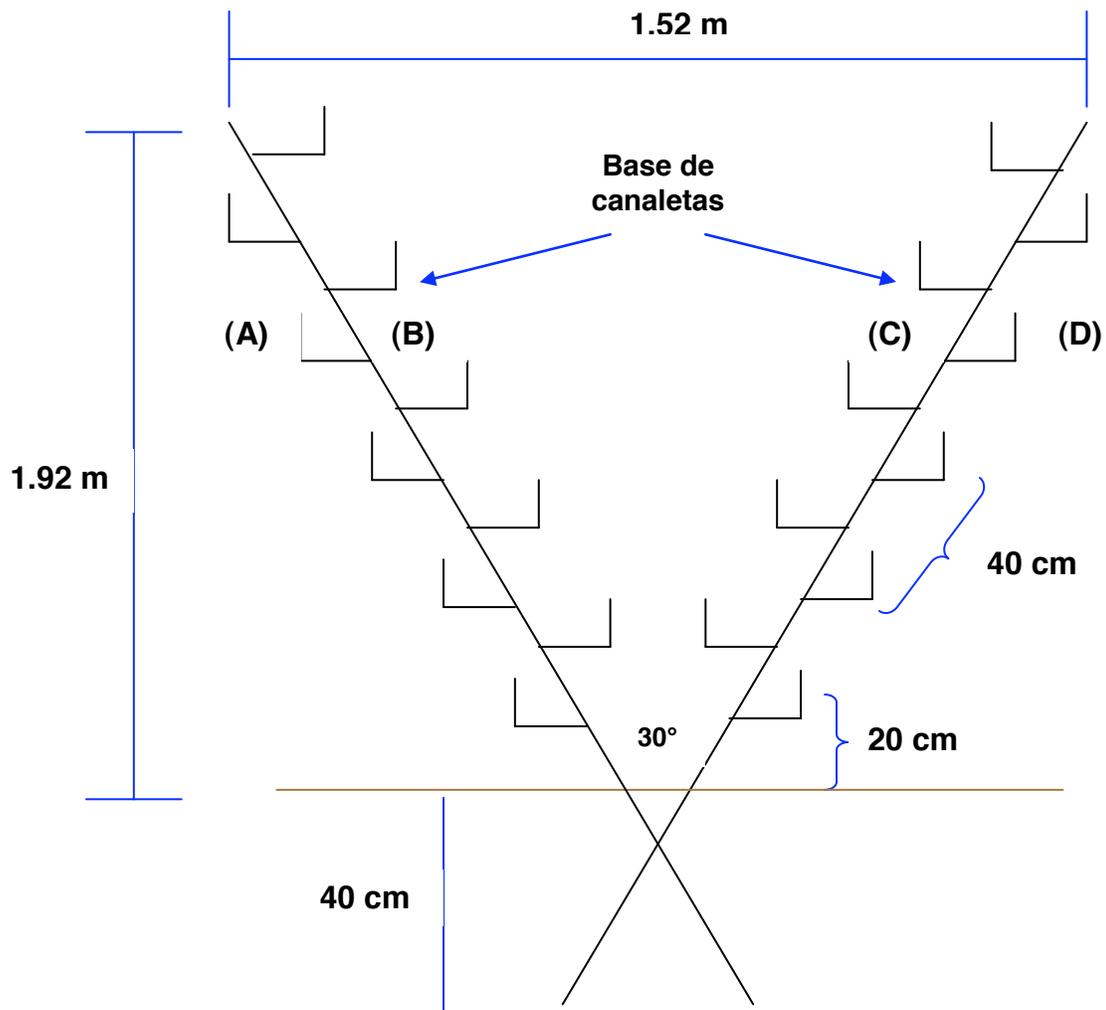


Figura 1. Estructura del modelo de producción intensivo “Raíces-150” con cuatro orientaciones: (A) Oriente exterior; (B) Oriente interior; (C) Poniente interior; (D) Poniente exterior.

### 3.3 Material vegetal

Se cultivaron plantas de fresa cv. Aromas obtenidas en el Estado de Michoacán, caracterizadas por ser de día neutro, productivas (30 a 50 ton/año), con frutos de tamaño mediano (1.65 cm de diámetro), suaves y con cuajado irregular. La temperatura óptima

para su crecimiento es 14 °C, prefiere suelos livianos, arenosos, pH entre 5.5 y 6.5 con buen drenaje y no necesariamente profundos.

Las plantas se trasplantaron a una cama con tezontle; se regaron dos veces por día con agua de pozo, y por un mes se les aplicó una solución de fungicida (Alliet<sup>®</sup> a 2 g/L por semana). El 23 de febrero 2006 se trasplantaron al modelo de producción. En cada canaleta se establecieron 10 plantas a 28 cm de separación. El sustrato fue una mezcla de peat moss (50 %) y agrolita (50 %).

### **3.4 Sistema de riego**

El sistema de riego consistió de una cintilla de 2.5 cm de diámetro por canaleta, con goteros cada 10 cm. Los riegos se proporcionaron a las 9 de la mañana durante 15 minutos cada tercer día, ya que el sustrato tenía buena retención, y se alternó un día con solución nutritiva y otro con agua simple.

### **3.5 Solución nutritiva**

Se aplicó la solución nutritiva Steiner de acuerdo con las especificaciones en el Cuadro 2, a un pH entre 5.5 – 6.5; en otro tanque se preparó agua acidulada al mismo pH, con la finalidad de disolver las sales acumuladas, y así evitar problemas de salinidad.

Durante los primeros cinco días después del transplante al sistema de producción, se proporcionaron riegos sin solución nutritiva; a partir del 28 de febrero 2006 se regaron con solución nutritiva de Steiner al 20 %, y después del 20 de marzo 2006 -debido al desarrollo de las plantas- se aplicó la solución nutritiva al 50 % (Cuadro 2).

Cuadro 2. Solución de Steiner al 20 y 50 % utilizada durante el tiempo que duró el experimento.

| Fertilizante  | Porcentaje de la solución Steiner |                                |
|---|-----------------------------------|--------------------------------|
|   | 20 % (g 1000 L <sup>-1</sup> )    | 50 % (g 1000 L <sup>-1</sup> ) |
| Nitrato de calcio                                     | 164.8                             | 412                            |
| Nitrato de potasio                                    | 103.2                             | 258                            |
| Sulfato de magnesio                                   | 76.8                              | 192                            |
| Sulfato de potasio                                    | 32.0                              | 80                             |
| DAP: (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> | 20.24                             | 50.6                           |
| Mezcla de Micronutrientes                             | 4                                 | 10                             |

Además se aplicó el producto Raíz Plant<sup>®</sup> en una solución de 10 mL por litro de agua para proporcionar micronutrientes y favorecer el crecimiento radicular, y un fertilizante foliar con quelato de hierro (1 g L<sup>-1</sup>).

### 3.6 Diseño experimental

El diseño experimental fue completamente al azar. El arreglo de los tratamientos fue factorial 4x3 en donde un factor es la orientación de la canaleta (cuatro orientaciones; brazo poniente A y B, brazo oriente C y D), y tres diferentes alturas de la canaleta sobre el suelo (Cuadro 3).

Cuadro 3. Tratamientos evaluados.

| Tratamiento | Orientación       | Altura |
|-------------|-------------------|--------|
| 1           | Poniente interior | 25 cm  |
| 2           | Poniente interior | 105 cm |
| 3           | Poniente interior | 185 cm |
| 4           | Poniente exterior | 25 cm  |
| 5           | Poniente exterior | 105 cm |
| 6           | Poniente exterior | 185 cm |
| 7           | Oriente interior  | 25 cm  |
| 8           | Oriente interior  | 105 cm |
| 9           | Oriente interior  | 185 cm |
| 10          | Oriente exterior  | 25 cm  |
| 11          | Oriente exterior  | 105 cm |
| 12          | Oriente exterior  | 185 cm |

Se establecieron 12 tratamientos en 12 canaletas (un tratamiento por canaleta), en donde se seleccionaron 3 plantas por canaleta como repeticiones. Debido a que se establecieron dos modelos, se obtuvieron seis repeticiones en cada tratamiento.

Se utilizaron como testigo, nueve plantas cultivadas en bolsas de polietileno de 40 x 40 cm, a las cuales se les proporcionó el mismo manejo agronómico que a las establecidas en el modelo de producción intensivo.

### **3.7 Variables meteorológicas**

La temperatura del aire (°C) y humedad relativa (%) dentro del invernadero se midieron a 1.5 m de altura con un HOBO modelo H08-003-02 (ONSET Inc.). Estas variables fueron medidas cada 30 minutos durante todo el experimento.

### **3.8 Variables fenológicas y fisiológicas**

El número de hojas por planta fue contabilizado cada 15 días, considerando únicamente las hojas totalmente diferenciadas y de ancho mayor a 1.5 cm.

La irradiancia fotosintética ( $W\ m^{-2}\ s^{-1}$ ) incidente sobre y debajo del follaje, y la reflejada (invirtiendo el sensor) se midió en dos extremos de las canaletas (tratamientos), con un radiómetro lineal modelo LI-191SE (LI-COR Inc; Lincoln, Nebraska, EEUU). Con estas mediciones, se calculó la irradiancia fotosintética absorbida por el follaje. Se hicieron mediciones en tres etapas de desarrollo: crecimiento vegetativo (5 de abril, 41 día después del transplante), floración (26 de mayo, 92 días después del transplante) y fructificación (16 de agosto, 174 días después del transplante). En cada etapa, se hicieron tres mediciones durante el día: 9:30 am, 12:00 pm y 2:00 pm.

La concentración de clorofila se midió indirectamente en 3 hojas totalmente desarrolladas de la parte media de la planta, dichas mediciones se llevaron a cabo en 3 plantas por tratamiento con un medidor portátil de clorofila (SPAD 502, Minolta). Este equipo estima la

concentración relativa de clorofila con base en la cantidad de radiación transmitida por la hoja en las bandas 650 y 940 nm (Rodríguez *et al.*, 1998; Campos, 2000).

La temperatura de la hoja y temperatura del aire ( $^{\circ}\text{C}$ ), tasa de fotosíntesis neta y total ( $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}^1$ ), tasa de respiración mantenimiento ( $\text{g CO}_2/\text{h}^{-1}$ ), resistencia estomática ( $\text{s cm}^{-1}$ ), se midió dentro de la cámara de asimilación configurada para un sistema abierto, con un equipo portátil de fotosíntesis modelo LI-6200 (LI-COR Inc; Lincoln, Nebraska, EEUU). Las mediciones se realizaron en tres etapas de desarrollo: Crecimiento vegetativo (5 de abril, a los 41 día después del transplante), floración (26 de mayo, a los 92 días después del transplante) y fructificación (16 de agosto, a los 174 días después del transplante). Se midieron tres plantas por tratamiento. En cada etapa, se realizaron tres mediciones durante el día: 10:45 am, 12:45 pm y 2:45 pm.

### **3.9 Variables de fruto**

#### **3.9.1 Rendimiento de fruto (g)**

El rendimiento de fruto se evaluó en cinco fechas las cuales fueron: 25 de noviembre, 5 de diciembre, 11 de diciembre, 15 de diciembre y 20 de diciembre de 2006. Para esto, se pesaron los frutos de seis plantas por tratamiento, con una balanza analítica.

#### **3.9.2 Variables de calidad de fruto**

La clasificación de frutos por tamaño se evaluó en cinco fechas las cuales fueron: 25 de noviembre, 5 de diciembre, 11 de diciembre, 15 de diciembre y 20 de diciembre de 2006. En cambio, la determinación de color, firmeza de la pulpa, sólidos solubles totales, pH, y la acidez titulable se realizó en tres fechas: 30 noviembre, 7 y 14 de diciembre de 2006.

Clasificación de frutos. Se realizó por tamaño de acuerdo con las normas de clasificación para la fresa en Estados Unidos (USDA, 1997). Los criterios se presentan en el Cuadro 4:

Cuadro 4. Clasificación de frutos de acuerdo con las normas de clasificación para la fresa en Estados Unidos.

| <b>Clasificación</b> | <b>Descripción</b>  | <b>Tamaño</b>  |
|----------------------|---|--|
| No. 1                | Fresas que tengan cáliz unido al fruto, que sean firmes y que no estén demasiado maduras, que no tengan mohos y que no estén dañadas por suciedad, humedad, enfermedades, insectos o por daño mecánico. Que tengan superficie rosa o roja en tres cuartas partes. | Deben tener un diámetro mínimo de tres cuartos de pulgada (1.90 cm)  |
| No. 2                | Fresas que no se encuentren en descomposición, y que no hayan sido dañadas por suciedad, enfermedades o insectos y sin daños mecánicos. Fresas de color rosa o rojo al menos en la mitad de su superficie   | Deben tener un diámetro mínimo de cinco octavos de pulgada (1.58 cm) |
| No clasificada       | Fresas que no han sido clasificadas conforme a las categorías anteriores.   |  |

El color se evaluó en un punto de la zona ecuatorial de la superficie del fruto con un espectrofotómetro de esfera Serie SP62 (X-RITE, 2002); se registraron los valores de luminosidad (L), cromaticidad (C) y ángulo de tono (H) de seis frutos por tratamiento. Mientras que la firmeza de la pulpa (kg/fuerza) fue evaluada en un punto de cada fruto con un texturómetro digital modelo Mecmesin (E)<sup>®</sup> con puntal cónico. Se midió la resistencia de seis frutos por tratamiento. Los sólidos solubles totales (°Brix) se determinaron con un refractómetro portátil (ATAGO N1). Se tomó una gota de jugo de seis frutos por tratamiento (Wang y Camp, 2000; Nunes *et al.*, 2002).

El pH se midió con un potenciómetro (PC45, CONDUCTRONIC) directamente del extracto líquido de seis frutos por tratamiento (Nunes *et al.*, 2002).

La acidez titulable, expresada como el porcentaje de ácido cítrico en el jugo de las fresas, se determinó con una solución de hidróxido de sodio 0.01 N empleando fenolftaleína como indicador (AOAC, 1984).

### **3.10 Análisis de datos**

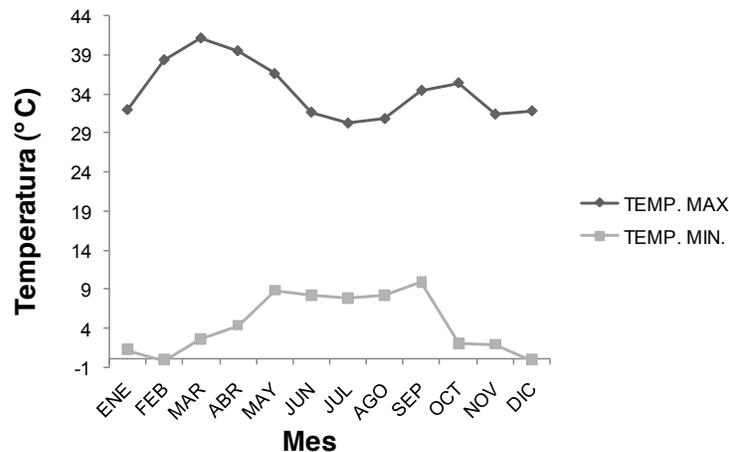
Los datos obtenidos de todas las variables estudiadas se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y a una comparación de medias con la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ), para lo cual se utilizó el programa estadístico SAS versión 8.1 (SAS Institute Inc., 1999-2000) para computadora personal.

## 4 RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1 Variables meteorológicas

#### 4.1.1 Temperatura

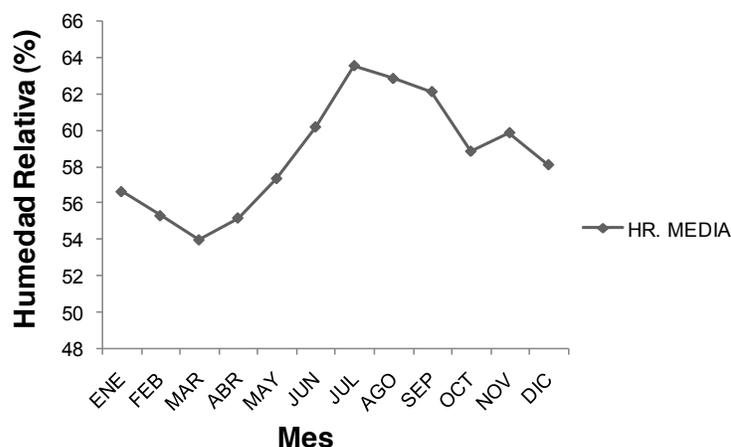
La temperatura medida con un termómetro electrónico (Hobo) durante toda la investigación (Figura 2) nos demuestra que en las temperaturas máximas registradas, el mes de marzo fue el que presentó mayor temperatura (41.0 °C) y en el mes de julio se registro la más baja (30.3 °C); mientras que para las temperaturas mínimas el mes de febrero fue el que presentó la temperatura más baja (-0.17 °C) y septiembre la más alta (9.9 °C).



**Figura 2.** Temperaturas máximas y mínimas registradas por el Hobo durante la investigación dentro del invernadero.

#### 4.1.2 Humedad relativa

En lo que respecta a la humedad relativa media que registró el hobo durante la investigación (Figura 3), se observa que el mes de julio fue el que presentó una humedad relativa mayor (63.52 %), mientras que en marzo se registro la humedad relativa media más baja (53.92 %).



**Figura 3.** Humedad relativa media registrada por el Hobo durante la investigación dentro del invernadero.

## 4.2 Variables fenológicas y fisiológicas

Del 23 de febrero a la primera semana de mayo 2006, los promedios de temperatura del aire mínima y máxima dentro del invernadero, medidas con un termómetro electrónico, fueron 2.5 y 39 °C; aunque estas temperaturas estuvieron en el rango de sobrevivencia de la fresa de -2 °C y 55°C (Dirección General de Desarrollo Económico de Irapuato, 2003), se decidió pintar la cubierta del invernadero para disminuir la temperatura máxima diaria. Con esta práctica, la temperatura máxima del aire fue 31 °C en promedio de la segunda semana de mayo a finales de diciembre 2006.

### 4.2.1 Temperatura del aire y de la hoja

La temperatura del aire (Figuras 4 y 5) y de la hoja (Figuras 6 y 7) de 10:00 a 15:00 presentó un patrón similar en las tres etapas fenológicas del cultivo, registrándose las más altas temperaturas en el periodo correspondiente al crecimiento vegetativo de la planta. Por otro lado, las diferencias en la temperatura del aire y de la hoja por efecto de la orientación y altura en las tres etapas de desarrollo fueron no significativas. La temperatura del aire en ese lapso de tiempo fluctuó entre 27 y 40 °C (Figura 4), mientras que la temperatura de la hoja se incrementó de 25 a 39 °C (Figura 6). Además, la temperatura de la hoja fue 1 ó 2 °C menor que la temperatura del aire (Figura 6 y 4 respectivamente), por lo que se asume que las plantas estaban bien irrigadas. Es notable

cómo desde las diez de la mañana la temperatura de la hoja fue mayor a 25 °C en las tres fechas de medición, y considerando que la temperatura óptima para el crecimiento de la fresa es de 23 °C (Maroto, 1986), posiblemente se haya incrementado el proceso de respiración de la planta (Díaz, 2002).

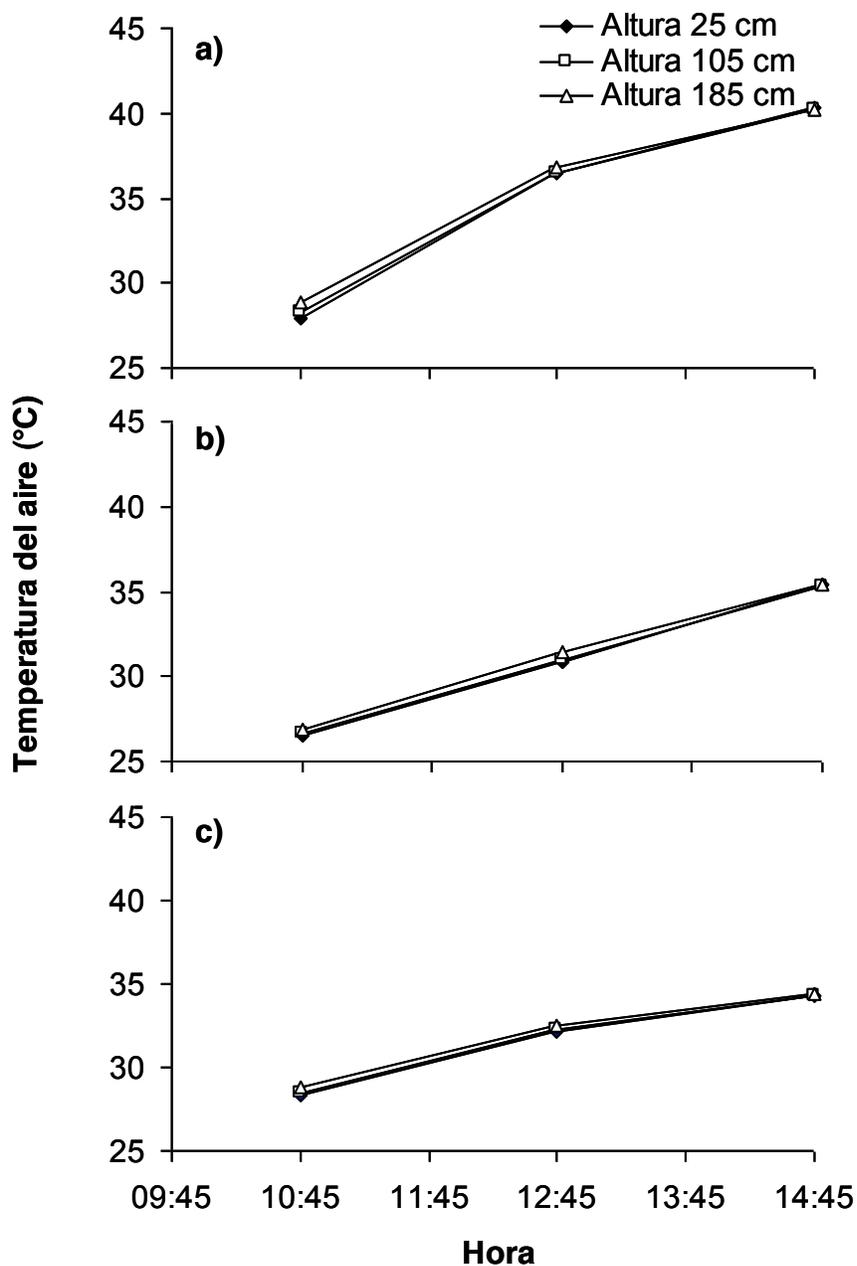


Figura 4. Temperatura del aire medida con un termopar de la cámara del IRGA en un invernadero cultivado con fresa en el modelo de producción intensivo “Raíces 150”, a tres alturas durante: a) Crecimiento vegetativo (5 de abril); b) Floración (26 de mayo); c) Fructificación (16 de agosto). Primavera-verano 2006, Montecillo, México. Cada punto representa el promedio de seis repeticiones.

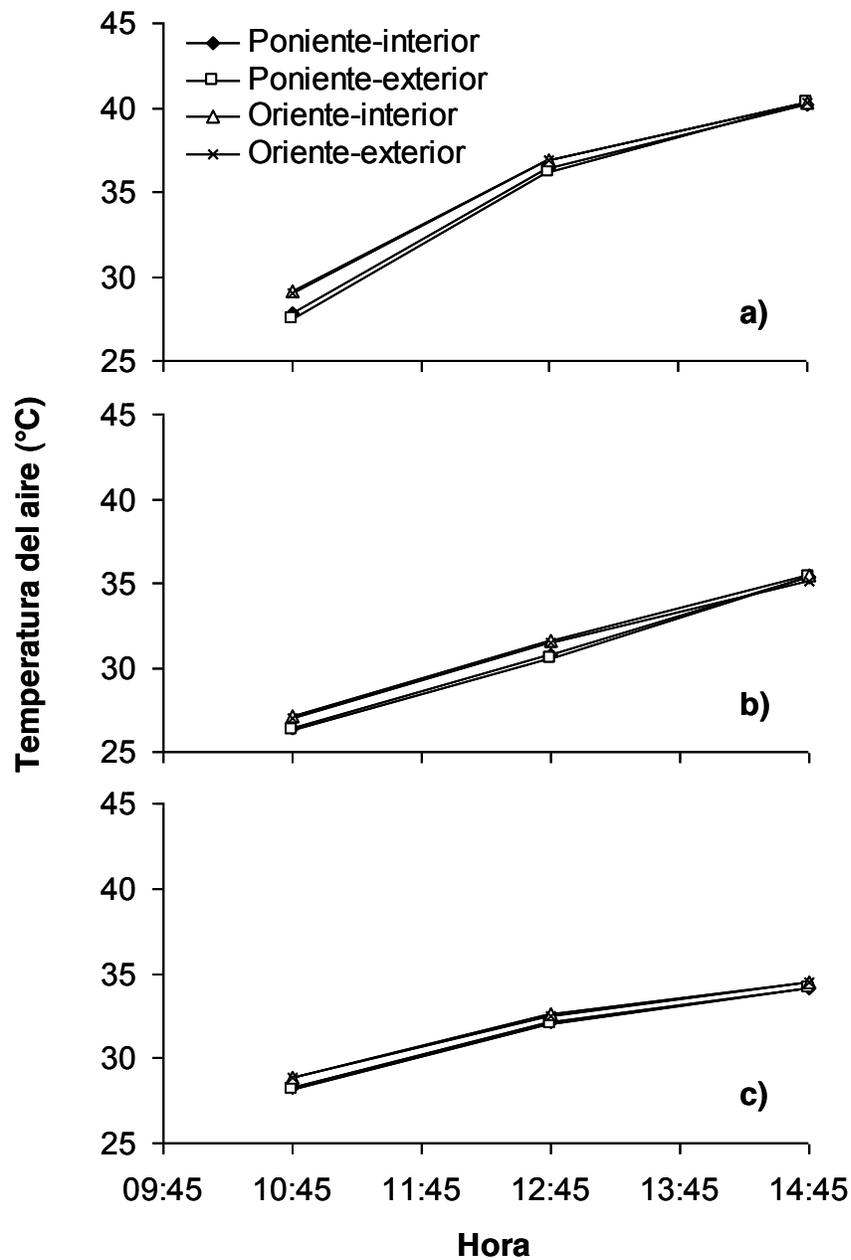


Figura 5. Temperatura del aire medida con un termopar de la cámara del IRGA en un invernadero cultivado con fresa en el modelo de producción intensivo “Raíces 150”, a cuatro orientaciones durante: a) Crecimiento vegetativo (5 de abril); b) Floración (26 de mayo); c) Fructificación (16 de agosto). Primavera-verano 2006, Montecillo, México. Cada punto representa el promedio de seis repeticiones.

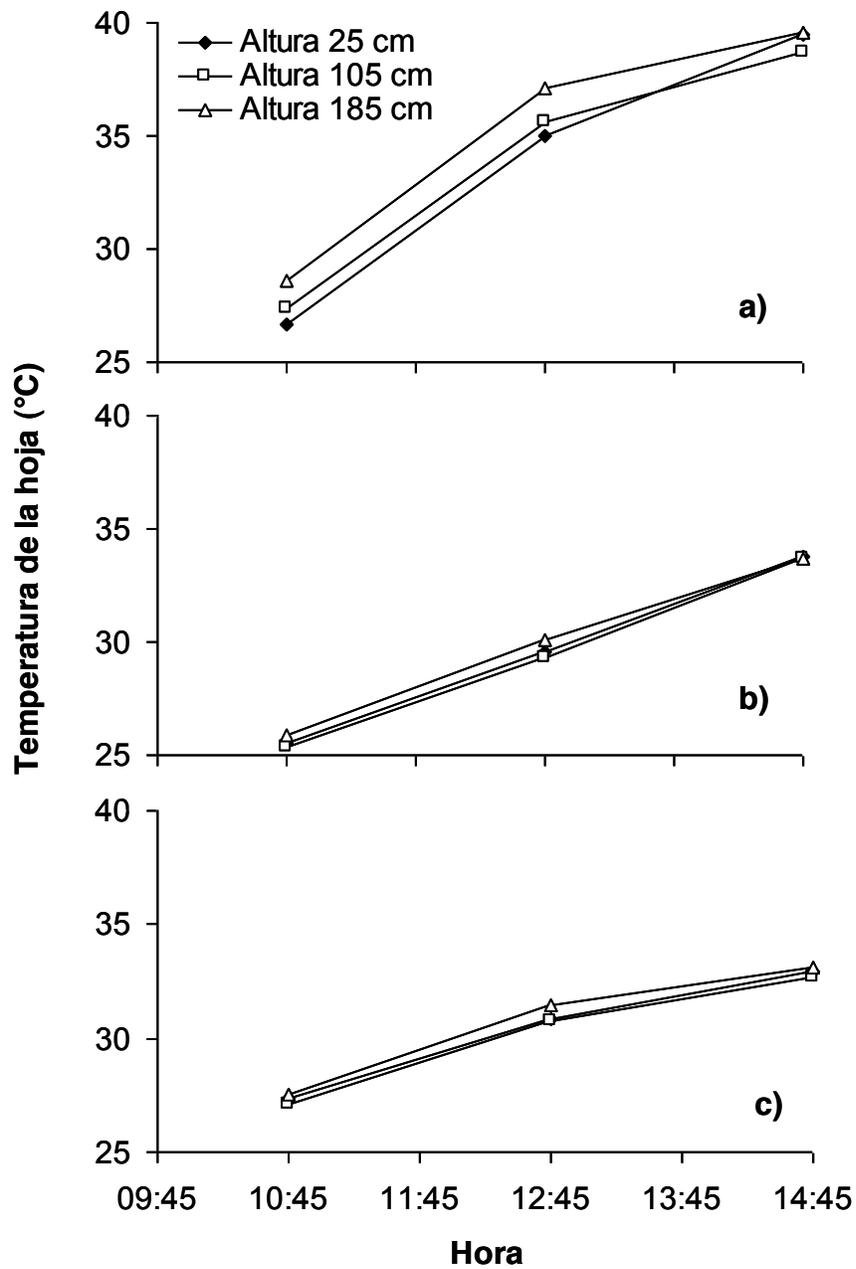


Figura 6. Temperatura de hojas de fresa cultivada en el modelo de producción intensivo “Raíces 150”, medida a tres alturas durante: a) Crecimiento vegetativo (5 de abril); b) Floración (26 de mayo); c) Fructificación (16 de agosto). Primavera-verano 2006, Montecillo, México. Cada punto representa el promedio de seis repeticiones.

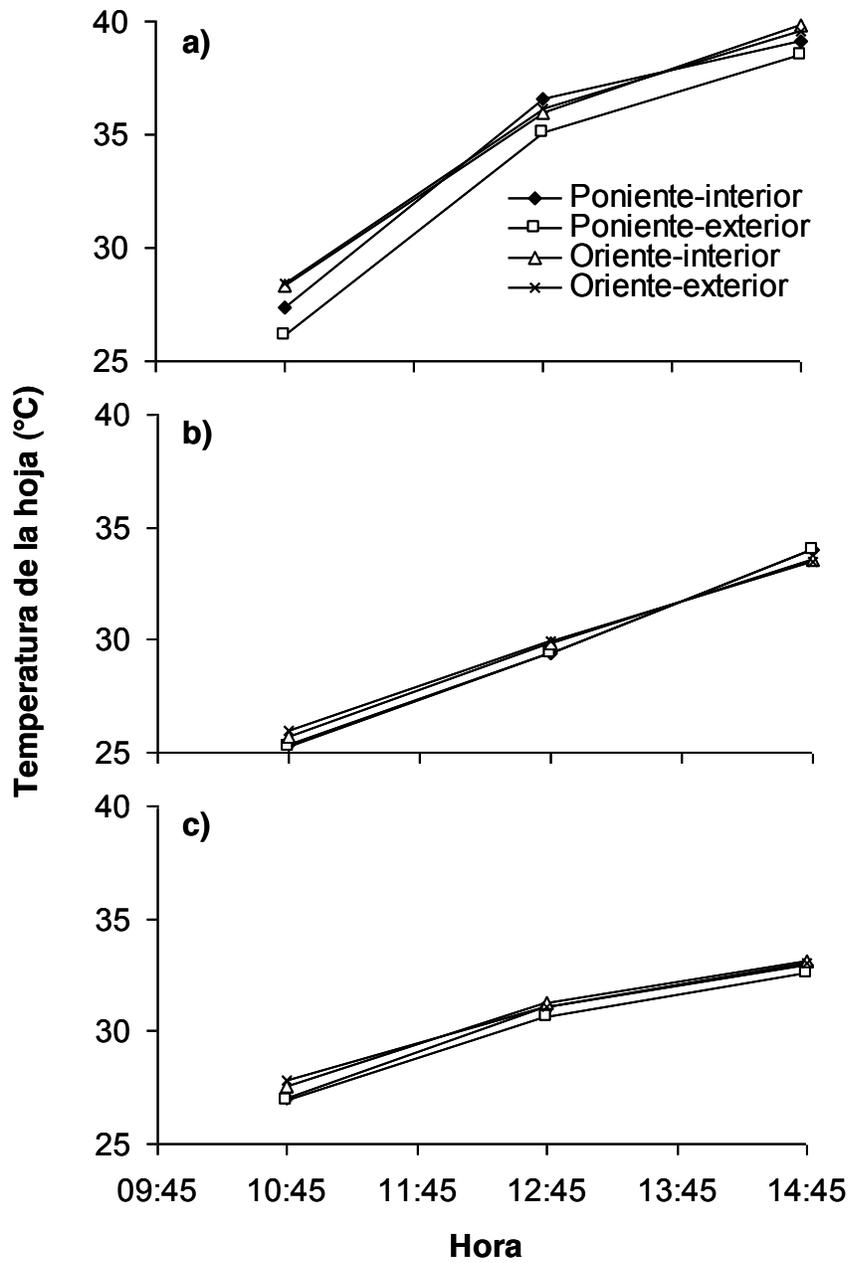


Figura 7. Temperatura de hojas de fresa cultivada en el modelo de producción intensivo “Raíces 150”, medida a cuatro orientaciones durante: a) Crecimiento vegetativo (5 de abril); b) Floración (26 de mayo); c) Fructificación (16 de agosto). Primavera-verano 2006, Montecillo, México. Cada punto representa el promedio de seis repeticiones.

#### 4.2.2 Irradiancia fotosintética

La irradiancia fotosintética medida sobre el follaje fue entre 20 y 270  $W m^{-2}$ , y se incrementó con la altura (Figura 8). Las mediciones se hicieron en días despejados (excepto en la primera etapa de crecimiento en donde se presentó nubosidad intermitente) y no se observaron variaciones importantes con respecto a la hora de medición.

La irradiancia fotosintética promedio fuera del invernadero ( $384 W m^{-2}$ ) fue 61 % mayor que la registrada en el interior del mismo ( $152 W m^{-2}$ ) en las tres etapas. Ésta fue mayor en la primera etapa con  $270 W m^{-2}$  (Figura 8a) debido a que aún no se había pintado de blanco la superficie plástica del invernadero (techo). Sin embargo, después de esta práctica, la irradiancia fotosintética transmitida por el plástico se redujo a 60 % y 55 % en la segunda y tercera etapa, lo que fue respectivamente menor en 57 % y 61 % que en la etapa uno, por lo que esta práctica disminuyó considerablemente la irradiancia en el interior del invernadero.

Las plantas de fresa cultivadas a 185 cm de altura recibieron 72 %, 67 % y 84 % mayor irradiancia en cada una de las etapas de análisis (crecimiento vegetativo, floración y fructificación respectivamente) que las plantas cultivadas a 25 cm de altura.

Por otra parte, se registraron  $131 W m^{-2}$  en promedio sobre las plantas testigo en las tres etapas, lo cual fue mayor que en el sistema de producción "Raíces 150", con excepción de la irradiancia fotosintética registrada a 185 cm en la primer etapa ( $270 W m^{-2}$ ).

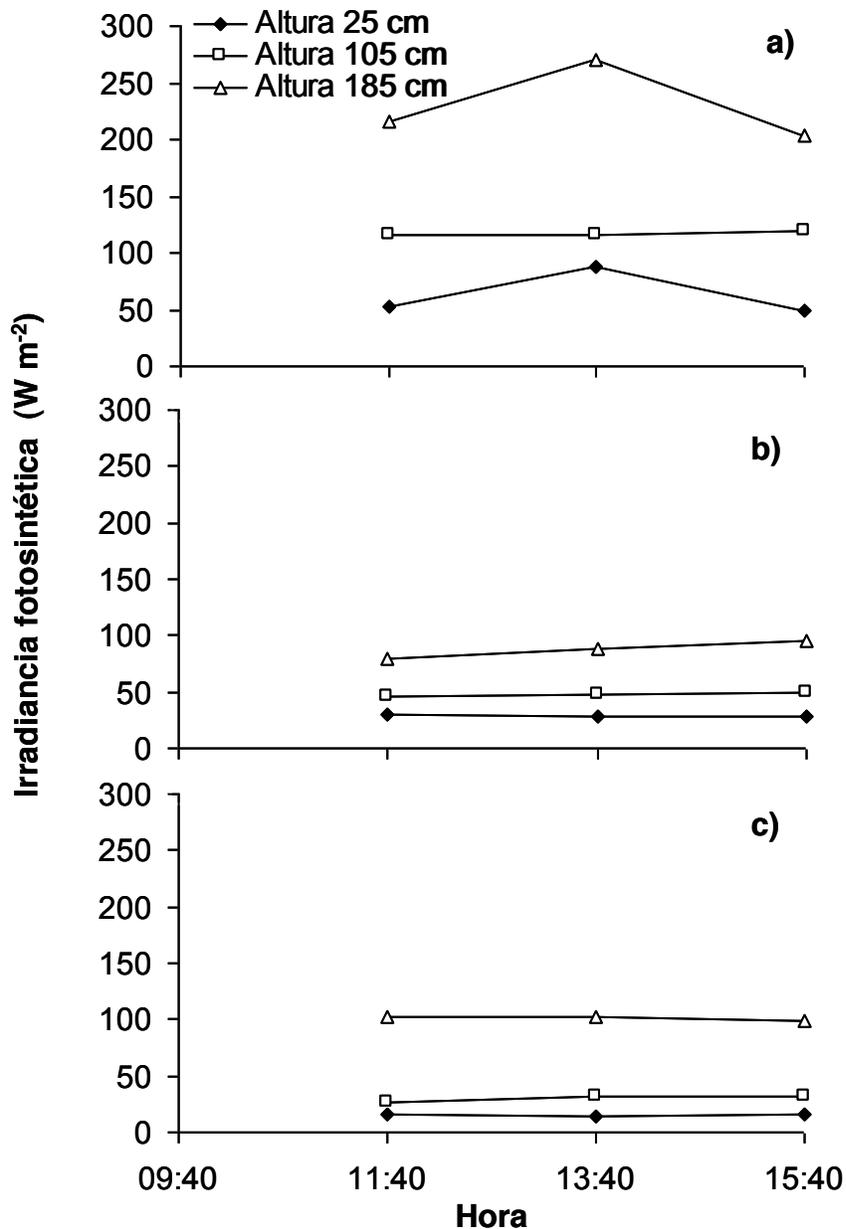


Figura 8. Irradiancia fotosintética en hojas de fresa cultivada en el modelo de producción intensivo “Raíces 150”, medida a tres alturas durante: a) Crecimiento vegetativo (5 de abril); b) Floración (26 de mayo); c) Fructificación (16 de agosto). Primavera-verano 2006, Montecillo, México.

Las plantas orientadas hacia el interior del modelo recibieron marginalmente mayores niveles de irradiancia fotosintética, lo cual es más notable en la primera etapa de crecimiento (Figura 9).

Las variaciones en irradiancia fotosintética fueron más pronunciadas en la primera fecha que en las demás, como consecuencia de nubosidad parcial.

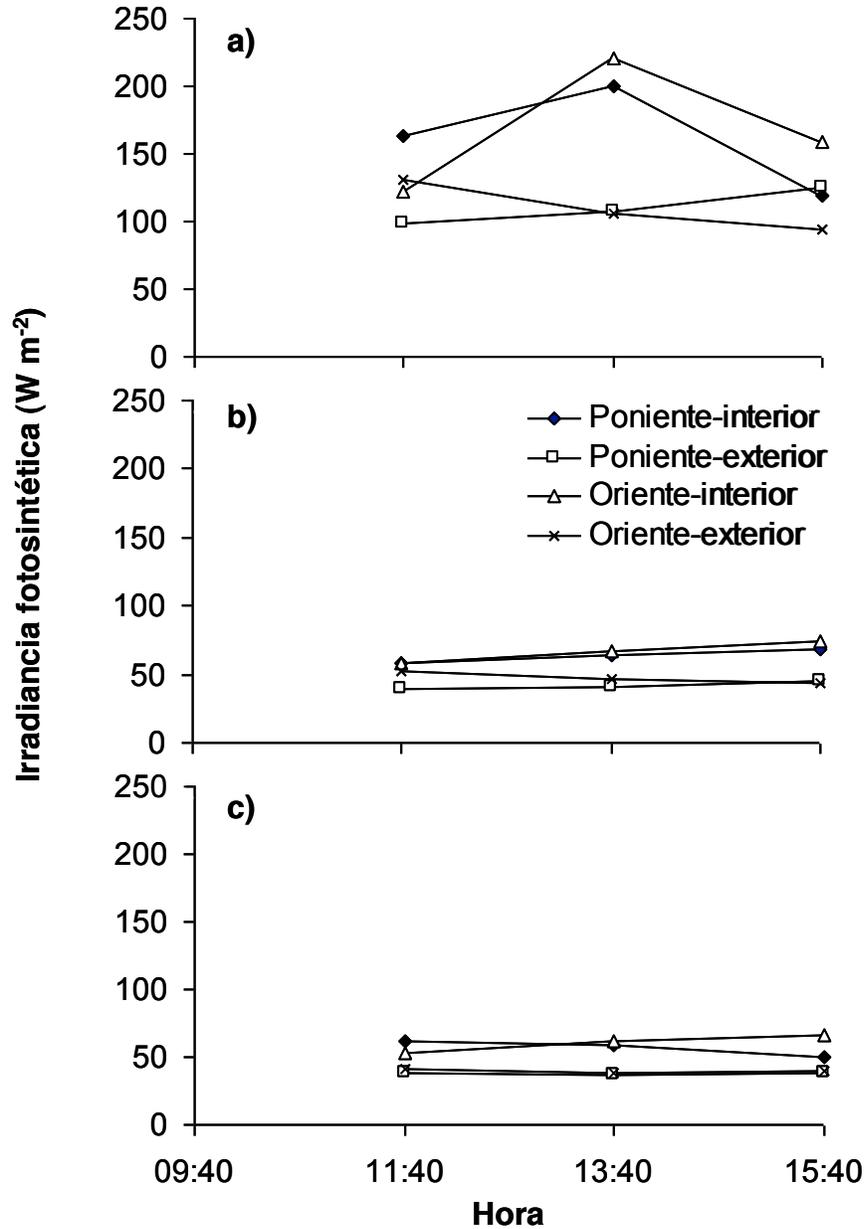


Figura 9. Irradiancia fotosintética en hojas de fresa cultivada en el modelo de producción intensivo “Raíces 150”, medida a cuatro orientaciones durante: a) Crecimiento vegetativo (5 de abril); b) Floración (26 de mayo); c) Fructificación (16 de agosto). Primavera-verano 2006, Montecillo, México.

La irradiancia fotosintética que incidió en el follaje de las plantas de fresa fue igual en cada orientación, es decir las diferencias fueron no significativas ( $P \leq 0.05$ ) (Cuadro 5). Debido a que el coeficiente de variación fue de 52 % no fue posible detectar diferencias entre tratamientos, sin embargo numéricamente las plantas ubicadas el exterior de cada orientación (oriente y poniente, presentaron los valores más bajos de irradiancia en comparación de las plantas que se colocaron el interior de cada orientación.

Cuadro 5. Irradiancia fotosintética ( $W m^{-2}$ ) sobre el follaje de plantas de fresa cultivadas en diferentes orientaciones del modelo de producción intensivo.

| ORIENTACIÓN | 41 DDT  |         |         | 92 DDT |        |        | 174 DDT |        |        |
|-------------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|
|             | 11:40   | 13:40   | 15:40   | 11:40  | 13:40  | 15:40  | 11:40   | 13:40  | 15:40  |
| 1           | 163.00a | 199.50a | 118.67a | 58.17a | 64.33a | 67.67a | 20.83a  | 58.33a | 50.67a |
| 2           | 98.17a  | 107.33a | 125.67a | 39.50a | 40.17a | 45.33a | 19.33a  | 37.00a | 38.67a |
| 3           | 121.83a | 220.50a | 159.33a | 58.17a | 67.17a | 73.67a | 13.00a  | 62.33a | 66.33a |
| 4           | 130.17a | 106.50a | 94.50a  | 52.50a | 46.33a | 43.67a | 16.33a  | 38.33a | 39.67a |

Valores seguidos con la misma letra por columna son iguales ( $n=3$ ; Tukey,  $P<0.05$ ).

Orientación 1: Poniente interior (Tratamientos 1, 2 y 3); Orientación 2: Poniente exterior (Tratamientos 4, 5, 6); Orientación 3: Oriente interior (Tratamientos 7, 8 y 9), Orientación 4: Oriente exterior (Tratamientos 10, 11, 12).

### 4.2.3 Radiación absorbida

La radiación en la banda fotosintética absorbida por el follaje fue entre 3 y 40  $W m^{-2}$  (Figura 10), y al igual que con la incidente, se presentó un gradiente de absorción proporcional con la altura. Particularmente, en la última etapa de medición (Figura 10c) se observó una diferencia mayor entre el nivel de irradiancia fotosintética absorbida por el follaje a 185 cm con respecto a las otras alturas, debido a que a esta altura las plantas presentaban en comparación a las demás un mayor desarrollo y por consiguiente más follaje.

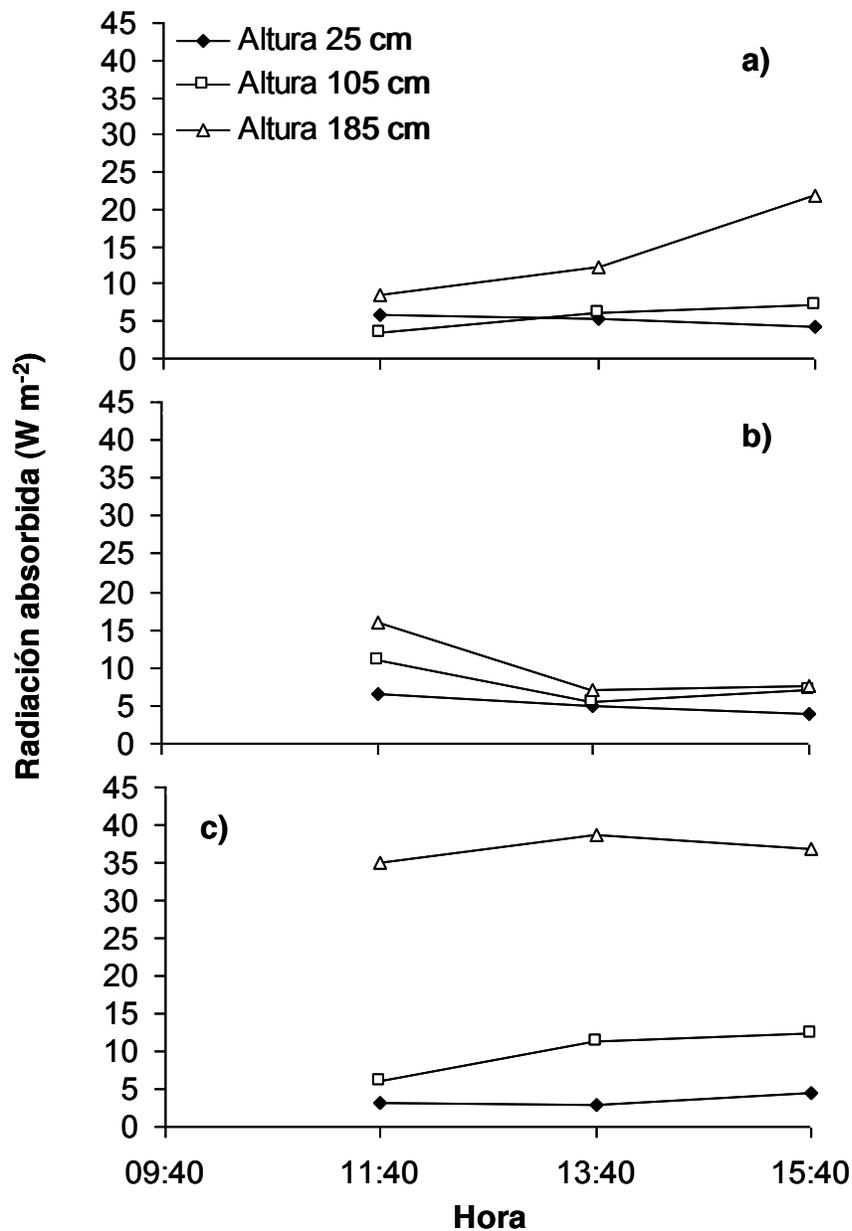


Figura 10. Radiación absorbida en hojas de fresa cultivada en el modelo de producción intensivo “Raíces 150”, medida a tres alturas durante: a) Crecimiento vegetativo (5 de abril); b) Floración (26 de mayo); c) Fructificación (16 de agosto). Primavera-verano 2006, Montecillo, México.

La mayor cantidad de radiación absorbida ( $W m^{-2}$ ) y sobre el follaje consistentemente ocurrió en las plantas de fresa colocadas a 185 cm altura y fue estadísticamente superior ( $P \leq 0.05$ ) a la radiación absorbida en las plantas colocadas en las alturas de 105 y 25 cm

del modelo de producción intensivo. Cabe señalar que en la última fecha de evaluación, las diferencias entre tratamientos fue marcada (Cuadro 6).

Cuadro 6. Radiación absorbida ( $W\ m^{-2}$ ) por plantas de fresa cultivadas a diferentes alturas del modelo de producción intensivo.

| ALTURA | 41 DDT |        |        | 92 DDT |       |       | 174 DDT |        |        |
|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|---------|--------|--------|
|        | 11:40  | 13:40  | 15:40  | 11:40  | 13:40 | 15:40 | 11:40   | 13:40  | 15:40  |
| 1      | 5.75a  | 5.25a  | 4.25a  | 6.63a  | 4.88a | 4.00a | 3.25b   | 3.00b  | 4.50b  |
| 2      | 3.50a  | 6.00a  | 7.13a  | 10.88a | 5.50a | 7.00a | 6.13b   | 11.25b | 12.50b |
| 3      | 8.50a  | 12.25a | 21.75a | 16.00a | 4.00a | 7.50a | 42.75a  | 38.75a | 36.75a |

Valores seguidos con la misma letra por columna son iguales ( $n=4$ ; Tukey,  $P<0.05$ ).  
 Altura 1: 25 cm; Altura 2: 105 cm; Altura 3: 185 cm.

Por el contrario, no se observó un patrón claro de cómo la orientación afectó la absorción de la radiación en la banda fotosintética (Figura 11).

La radiación absorbida ( $W\ m^{-2}$ ) por las hojas de las plantas de fresa cultivadas en diferentes orientaciones del modelo de producción intensivo fue estadísticamente igual ( $P \leq 0.05$ ), es decir las plantas en cada orientación absorbieron la misma cantidad de irradiancia por ser sus diferencias no significativas (Cuadro 7).

#### 4.2.4 Conductancia estomática

En la Figura 12 se observa que la conductancia estomática de las hojas de fresa fue entre 0.05 a 0.21  $mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$ . Las plantas cultivadas en las canaletas a 185 cm de altura presentaron marginalmente mayor conductancia estomática que las cultivadas a 105 cm en las últimas dos etapas, mientras que las plantas a 25 cm tuvieron conductancias estomáticas notablemente inferiores. En la primera etapa (crecimiento vegetativo) no se presentaron diferencias en conductancia como consecuencia de la altura (Figura 12a). Esto debido a que en esta etapa las plantas eran de menor tamaño y área foliar en comparación con las etapas siguientes.

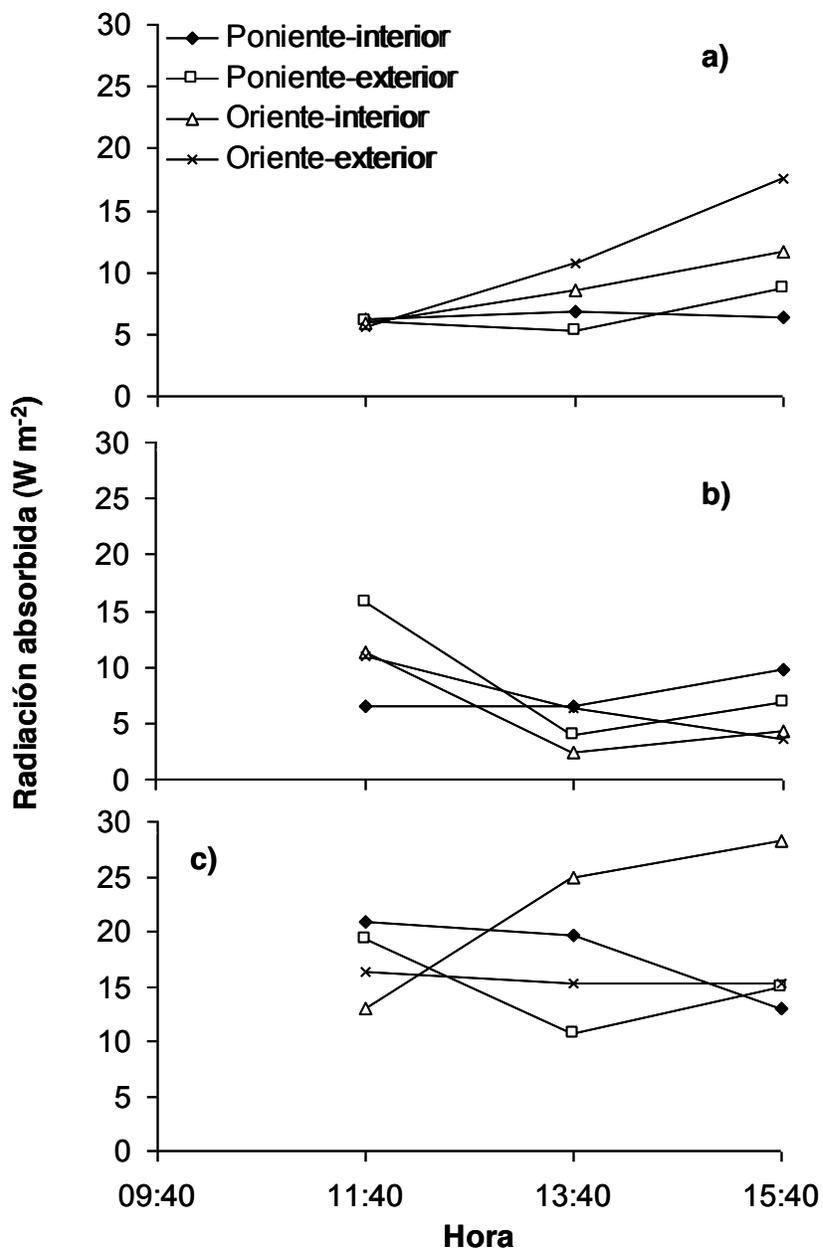


Figura 11. Radiación absorbida en hojas de fresa cultivada en el modelo de producción intensivo “Raíces 150”, medida a cuatro orientaciones durante: a) Crecimiento vegetativo (5 de abril); b) Floración (26 de mayo); c) Fructificación (16 de agosto). Primavera-verano 2006, Montecillo, México.

Cuadro 7. Radiación absorbida ( $W m^{-2}$ ) por plantas de fresa cultivadas en diferentes orientaciones del modelo de producción intensivo.

| ORIENTACIÓN | 41 DDT |        |        | 92 DDT |       |       | 174 DDT |        |        |
|-------------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|---------|--------|--------|
|             | 11:40  | 13:40  | 15:40  | 11:40  | 13:40 | 15:40 | 11:40   | 13:40  | 15:40  |
| 1           | 6.17a  | 6.83a  | 6.33a  | 6.50a  | 6.50a | 9.83a | 20.83a  | 19.67a | 13.00a |
| 2           | 6.00a  | 5.33a  | 8.67a  | 15.83a | 4.00a | 6.83a | 19.33a  | 10.67a | 15.00a |
| 3           | 5.83a  | 8.50a  | 11.67a | 11.33a | 2.33a | 4.33a | 13.00a  | 25.00a | 28.33a |
| 4           | 5.67a  | 10.67a | 17.50a | 11.00a | 6.33a | 3.67a | 16.33a  | 15.33a | 15.33a |

Valores seguidos con la misma letra por columna son iguales ( $n=3$ ; Tukey,  $P<0.05$ ).

Orientación 1: Poniente interior (Tratamientos 1, 2 y 3); Orientación 2: Poniente exterior (Tratamientos 4, 5, 6); Orientación 3: Oriente interior (Tratamientos 7, 8 y 9), Orientación 4: Oriente exterior (Tratamientos 10, 11, 12).

Palmer (1986) menciona que las hojas de la parte media de las ramas nuevas del árbol de manzano son las que muestran mayor conductancia estomática y por lo tanto mayor fotosíntesis neta. Por lo que podemos decir que en las hojas de las plantas de fresa que presentaron mayor conductancia estomática son en las que se obtuvieron valores mayores de fotosíntesis neta.

Además Salisbury y Ross (2000) y Bidwell (2002), mencionan que el control de la humedad es indispensable para el control de los estomas. Cabe mencionar que al incrementarse la temperatura y al presentarse una baja humedad relativa existe la probabilidad de inducir una baja conductancia estomática como se presentó en la Figura 12a, en donde la altura a 185 cm presentó una menor conductancia estomática con relación a las demás alturas. Gil (1995) encontró que las temperaturas elevadas (30-35 °C), en general, provocan el cierre de los estomas y esto puede deberse a una respuesta indirecta al estrés hídrico, o a un aumento en la tasa respiratoria que puede provocar un incremento en el  $CO_2$  en el interior de la hoja.

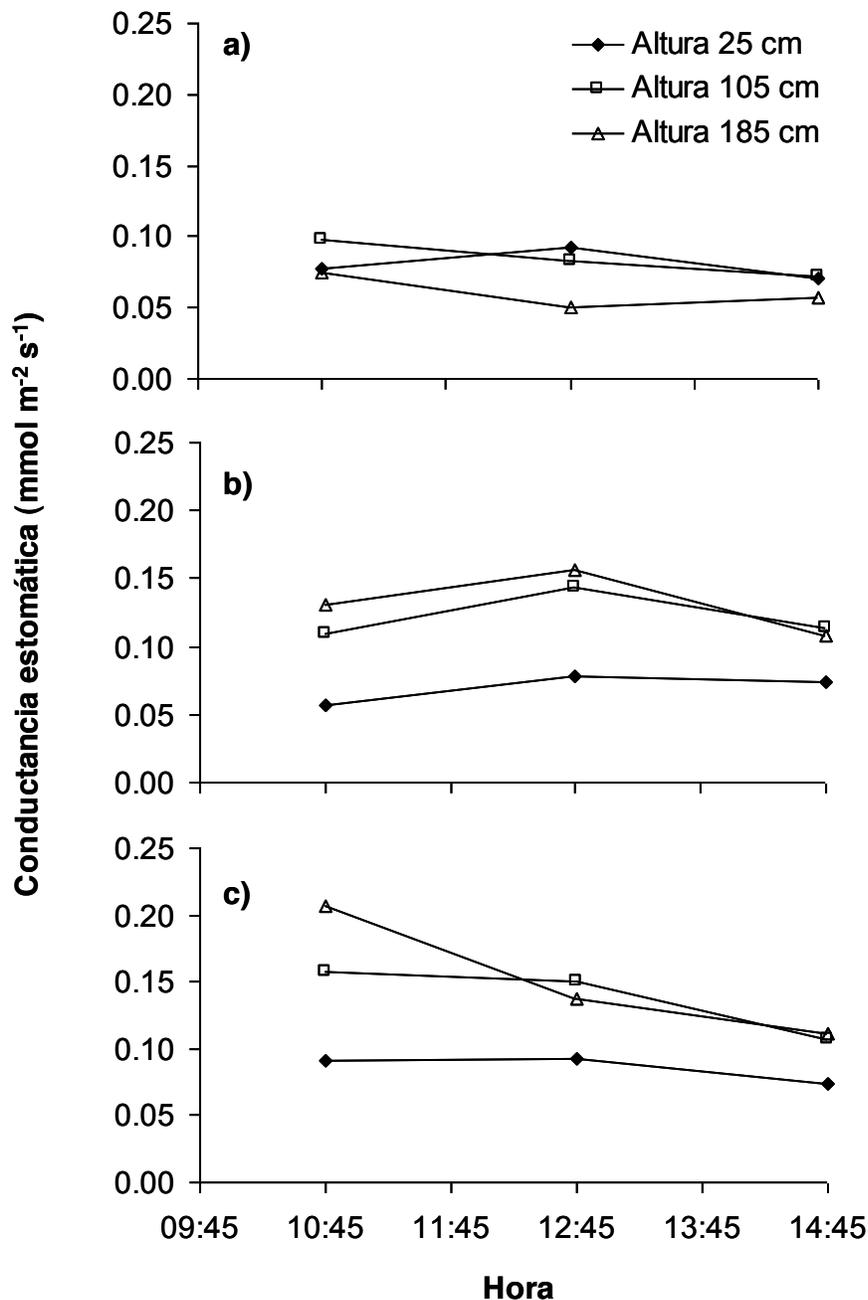


Figura 12. Conductancia estomática de hojas de fresa cultivada en el modelo de producción intensivo “Raíces 150”, medida a tres alturas durante: a) Crecimiento vegetativo (5 de abril); b) Floración (26 de mayo); c) Fructificación (16 agosto). Primavera-verano 2006, Montecillo, México.

Las hojas de fresa en las orientaciones poniente-exterior y oriente-interior del modelo de producción presentaron marginalmente conductancias estomáticas más altas en la primera y última etapa (Figura 13). En las etapas dos y tres se observó que conforme transcurrió el

día, el nivel de conductancia estomática disminuyó, independientemente de la orientación en que se encontraban las plantas, lo cual está en relación al aumento en temperatura del aire y al incremento en el déficit de presión de vapor del aire.

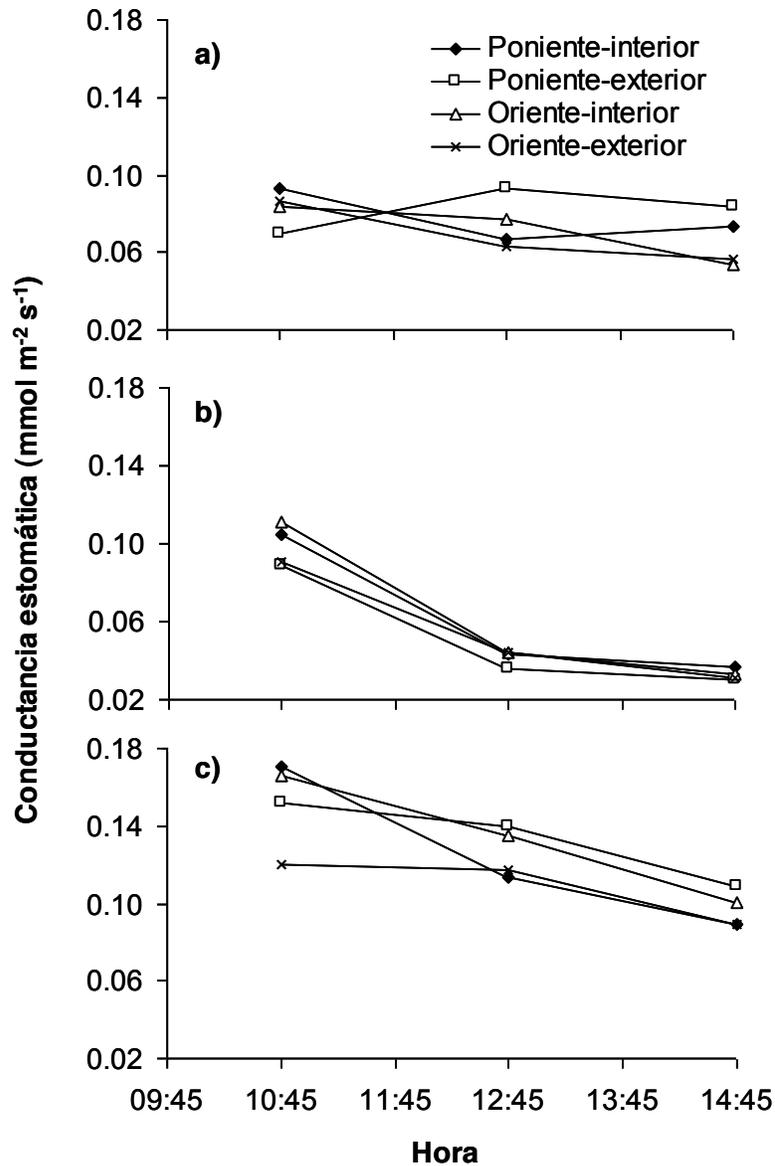


Figura 13. Conductancia estomática de hojas de fresa cultivada en el modelo de producción intensivo “Raíces 150”, medida a cuatro orientaciones durante: a) Crecimiento vegetativo (5 de abril); b) Floración (26 de mayo); c) Fructificación (16 de agosto). Verano 2006, Montecillo, México.

#### 4.2.5 Transpiración

La transpiración de las hojas de fresas fue entre 1.4 y 5.8  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Figura 14). Las plantas cultivadas a 105 y 185 cm de altura presentaron tendencias y magnitudes similares de transpiración en las etapas dos y tres, mientras que las plantas cultivadas a 25 cm presentaron los niveles más bajos. En cambio, en la primera etapa de evaluación, esta tendencia fue al contrario. La tendencia en las tres etapas fue incrementarse la transpiración conforme avanzaba el día.

Como es bien documentado, la pérdida de agua de las plantas por transpiración es a través de los estomas en las hojas. Su apertura comienza al amanecer y el cierre ocurre al atardecer de cada día, de tal manera que la mayor pérdida de agua en los frutales sucede durante el día; la excepción a este patrón ocurre con bromeláceas y cactáceas como la piña o el nopal que abren sus estomas durante la noche (metabolismo de tipo CAM) (Díaz, 2002). Entonces, conforme aumentan la radiación solar y temperatura del aire, aumenta la transpiración porque los estomas son fotosensibles y porque se incrementa el déficit de presión de vapor del aire, esto siempre y cuando las plantas no se encuentren bajo estrés hídrico (Bidwell, 2002).

La temperatura de la hoja se incrementó en promedio 10 °C entre la primera y última medición del día (Figura 6). Con el aumento de la temperatura, se incrementa la apertura de estomas y por lo tanto la transpiración y el contenido interno de bióxido de carbono, hasta los 30 a 35 °C en fresa; a partir de entonces los estomas tienden a cerrarse (Díaz, 2002). Es por eso que en las plantas a 185 y 105 se tiene los niveles más altos de transpiración (Figuras 14b y 14c), al interceptar mayor radiación solar y por lo tanto se esperaría mayor temperatura de las hojas a esas alturas en comparación con las plantas que se encontraron a 25 cm, lo cual no se registró.

Es importante recordar que la temperatura de la hoja tomada con el IRGA en las tres alturas analizadas del modelo de producción se mantuvieron casi a una temperatura constante entre ellas y sin diferencias conforme aumentaba la hora del día (Figura 6), por lo que esta variable posiblemente no afectó las diferencias en la apertura estomática entre

alturas ni orientaciones. La explicación puede deberse a que el proceso de convección en un espacio cerrado relativamente pequeño, permitió la uniformidad de las propiedades de las capas de aire en cuanto temperatura, humedad relativa y déficit de presión de vapor. Sin embargo, es posible que con la configuración del IRGA como sistema abierto, no se haya detectado diferencias de temperatura conforme se incrementó la altura debido a que el aire en la cámara provenía de una fuente externa al invernadero. Esto permitió condiciones uniformes para evaluar la capacidad del aparato fotosintético de las plantas de fresa, pero en cambio se adquirieron variables ambientales diferentes a los que tenían las hojas.

En la Figura 14a, se observa un comportamiento inverso en el cual la altura a 25 cm fue la que presentó mayor transpiración. Esto se debió a que en esa etapa, el invernadero alcanzó temperaturas entre 37 y 43 °C al medio día, a lo cual Díaz (2002) menciona que a temperaturas mayores a 35 °C los estomas tienden a cerrarse, por lo que las plantas a 185 cm de altura tuvieron menor apertura estomática (Figura 12a) y transpiración en consecuencia (Figura 14a).

Es necesario considerar el papel importante que juega la transpiración con relación al agua, por lo cual Díaz (2002) menciona que algunos frutales requieren 500 kg de agua transpirada para producir un kg de materia seca, con una eficiencia de 1 %, por lo que se pierde 99 % del agua por transpiración (Rojas, 1984).

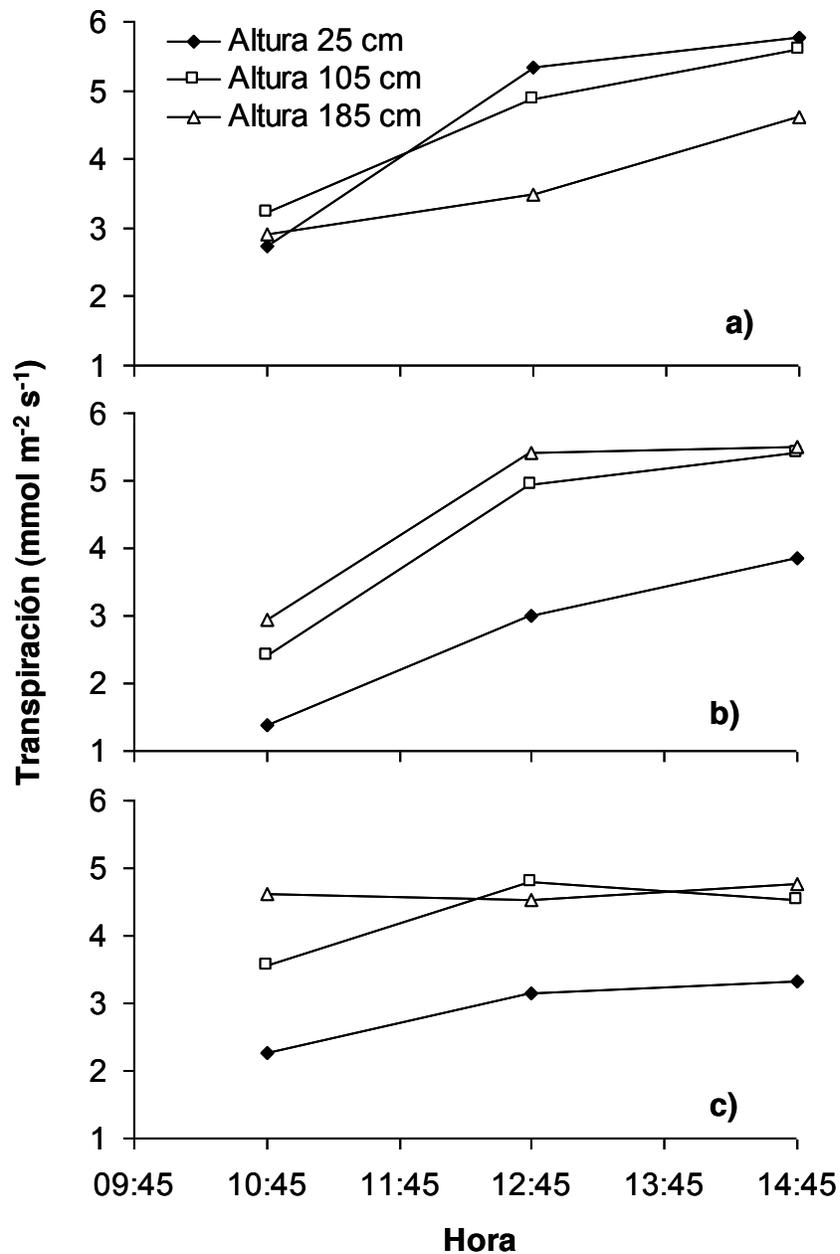


Figura 14. Transpiración de hojas de fresa cultivada en el modelo de producción intensivo “Raíces 150”, medida a tres alturas durante: a) Crecimiento vegetativo (5 de abril); b) Floración (26 de mayo); c) Fructificación (16 de agosto). Primavera-verano 2006, Montecillo, México.

La orientación no afectó la transpiración de las hojas de fresa en particular en las últimas dos etapas (Figura 15); esto debido a que la irradiancia fotosintética (Figura 9) y la temperatura de la hoja (Figura 7) estimularon similarmente a los estomas. En la primera

etapa, la transpiración se comportó irregularmente debido a la variación de radiación solar durante la toma de datos.

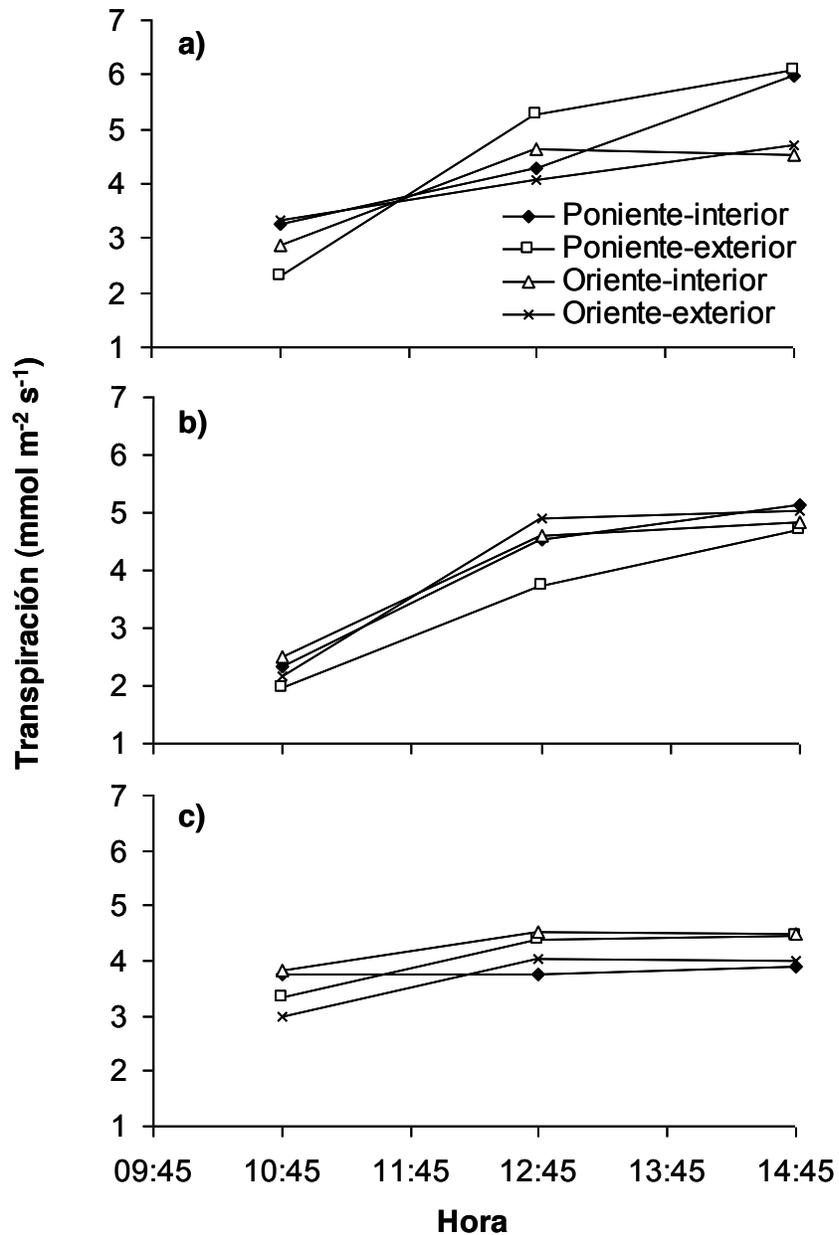


Figura 15. Transpiración de hojas de fresa cultivada en el modelo de producción intensivo “Raíces 150”, medida a cuatro orientaciones durante: a) Crecimiento vegetativo (5 de abril); b) Floración (26 de mayo); c) Fructificación (16 de agosto). Primavera-verano 2006, Montecillo, México.

#### 4.2.6 Fotosíntesis total

La tasa de fotosíntesis total fue entre 2 a 9 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (Figura 16). A 185 cm las plantas presentaron las tasas mayores, seguidas por las encontradas a 105 cm y finalmente a 25 cm, altura en la que la fotosíntesis total fue consistentemente la más baja en las tres etapas. En la primera etapa, se observaron las mayores tasas de fotosíntesis total y las menores diferencias por efecto de la altura (Figura 16a); esto posiblemente se debió al efecto ya mencionado de que durante el crecimiento vegetativo, el invernadero recibió mayor cantidad de radiación solar en su interior (253 W m<sup>-2</sup> promedio) que en las etapas de floración (106 W m<sup>-2</sup>) y fructificación (99 W m<sup>-2</sup> promedio), y por consiguiente la temperatura máxima promedio registrada en la primera etapa fue 39 °C y la mínima promedio 2.5 °C.

Hancock (1999) encontró tasas de fotosíntesis total entre 15 y 25 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> en el cultivar de fresa *F. x ananassa* Duch cultivada en campo, 7 y 15 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> en *F. virginiana*, y 20 y 30 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> en *F. chiloensis*, aunque el autor menciona que no fueron comparadas bajo el mismo ambiente, y se sabe que factores tales como la irradiancia fotosintética, temperatura, disponibilidad de nutrientes, concentración de CO<sub>2</sub>, desarrollo vegetativo y método de propagación afectan a esta variable. En esta investigación el cultivar Aromas, bajo el sistema de producción intensivo “Raíces-150” y en invernadero, el rango de fotosíntesis total fue más bajo que en los genotipos mencionados, lo que nos indica un menor nivel de fotoasimilados y por consiguiente de desarrollo de las plantas.

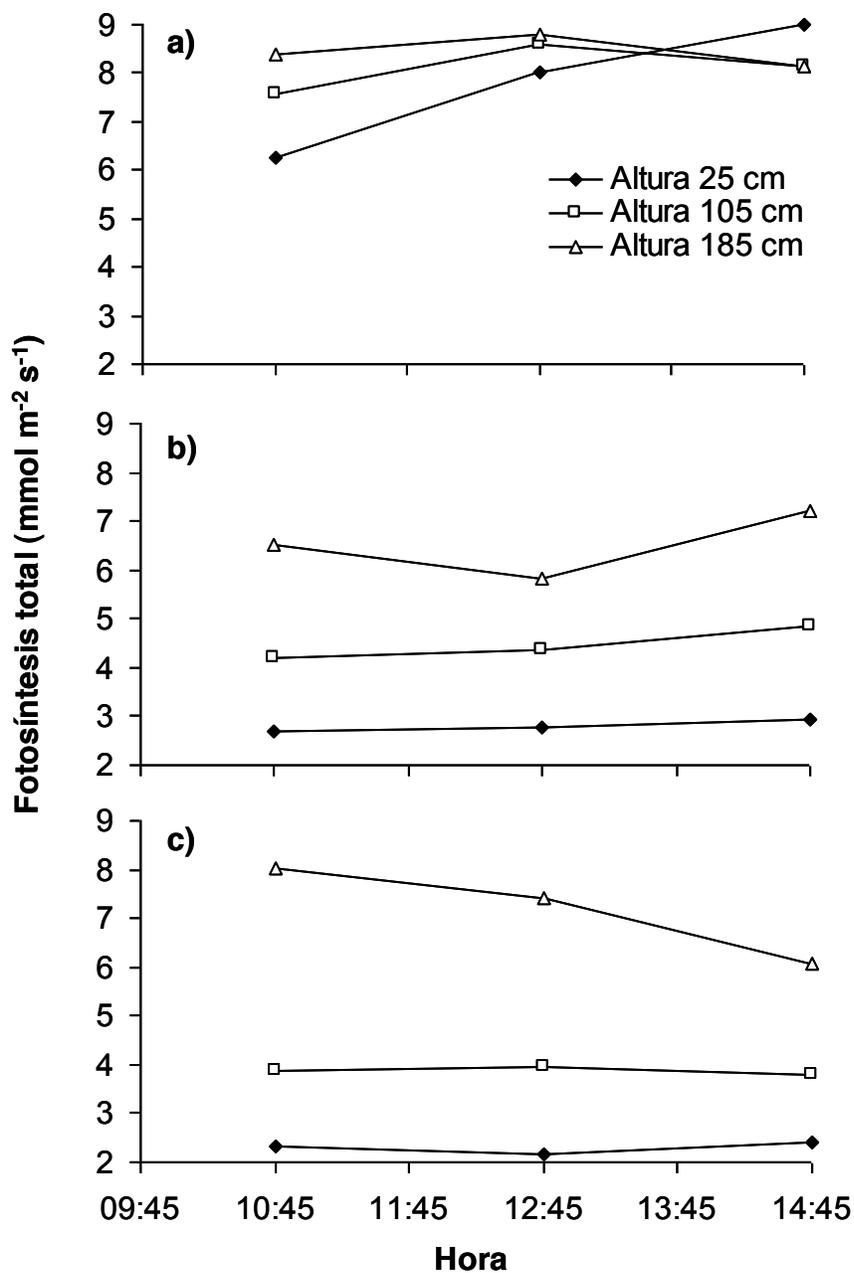


Figura 16. Fotosíntesis total de hojas de fresa cultivada en el modelo de producción intensivo “Raíces 150”, medida a tres alturas durante: a) Crecimiento vegetativo (5 de abril); b) Floración (26 de mayo); c) Fructificación (16 de agosto). Primavera-verano 2006, Montecillo, México.

Las plantas colocadas a 185 cm de altura (altura 3) generalmente presentaron los valores más altos de fotosíntesis total ( $P \geq 0.05$ ), en cambio las plantas en la altura 2 (105 cm) mostraron los valores más bajos (Cuadro 10). En lo que respecta a las plantas a 25 cm de altura su patrón de respuesta no fue claro (Cuadro 8).

Cuadro 8. Fotosíntesis total ( $\text{mmol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) en tres tiempos de diferentes fechas de muestreo

| Altura | 5 de abril de 2006 |        |        | 26 de mayo de 2006 |          |        | 16 de agosto de 2006 |        |        |
|--------|--------------------|--------|--------|--------------------|----------|--------|----------------------|--------|--------|
|        | 10: 45             | 12: 45 | 14:45  | 10: 45             | 12: 45   | 14:45  | 10: 45               | 12: 45 | 14:45  |
| 1      | 6.06 b             | 8.73 a | 7.63 a | 4.77 a             | 5.55 a b | 4.76 b | 4.63 b               | 5.04 b | 4.60 a |
| 2      | 7.77 ab            | 8.58 a | 9.41 a | 3.22 b             | 3.91 b   | 3.38 c | 2.62 c               | 2.75 c | 2.87 b |
| 3      | 9.31 a             | 8.96 a | 8.67 a | 5.49 a             | 7.46 a   | 6.69 a | 6.29 a               | 6.18 a | 5.41 a |

Cada valor representa la media de 6 repeticiones. Valores seguidos con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). Altura 1: 25 cm; Altura 2: 105 cm; Altura 3: 185 cm.

Cuando se agruparon las plantas por orientación (Figura 17), las cultivadas hacia el poniente-interior en la primera y segunda etapas presentaron las tasas de fotosíntesis total más altas, seguida por la orientación oriente-interior, mientras que las plantas en la orientación poniente-exterior manifestaron los niveles más bajos.

El efecto de la orientación en la fotosíntesis total de las plantas que conformaron los diferentes tratamientos fue estadísticamente diferente ( $P \geq 0.05$ ) en las dos últimas fechas de muestreo, excepto a las 12:45 y 10: 45 horas del segundo y tercer muestreo respectivamente; mientras que en la primera fecha de medición la orientación provocó en los tratamientos efectos no significativos (Apéndice 1). Por otro lado, el factor altura generalmente produjo efectos significativos en la respuesta de los tratamientos, no así en los muestreos realizados a las 12:45 y 14:45 horas de la primera fecha de muestreo. La interacción fue significativa en las mediciones realizadas en las dos últimas de medición de fotosíntesis.

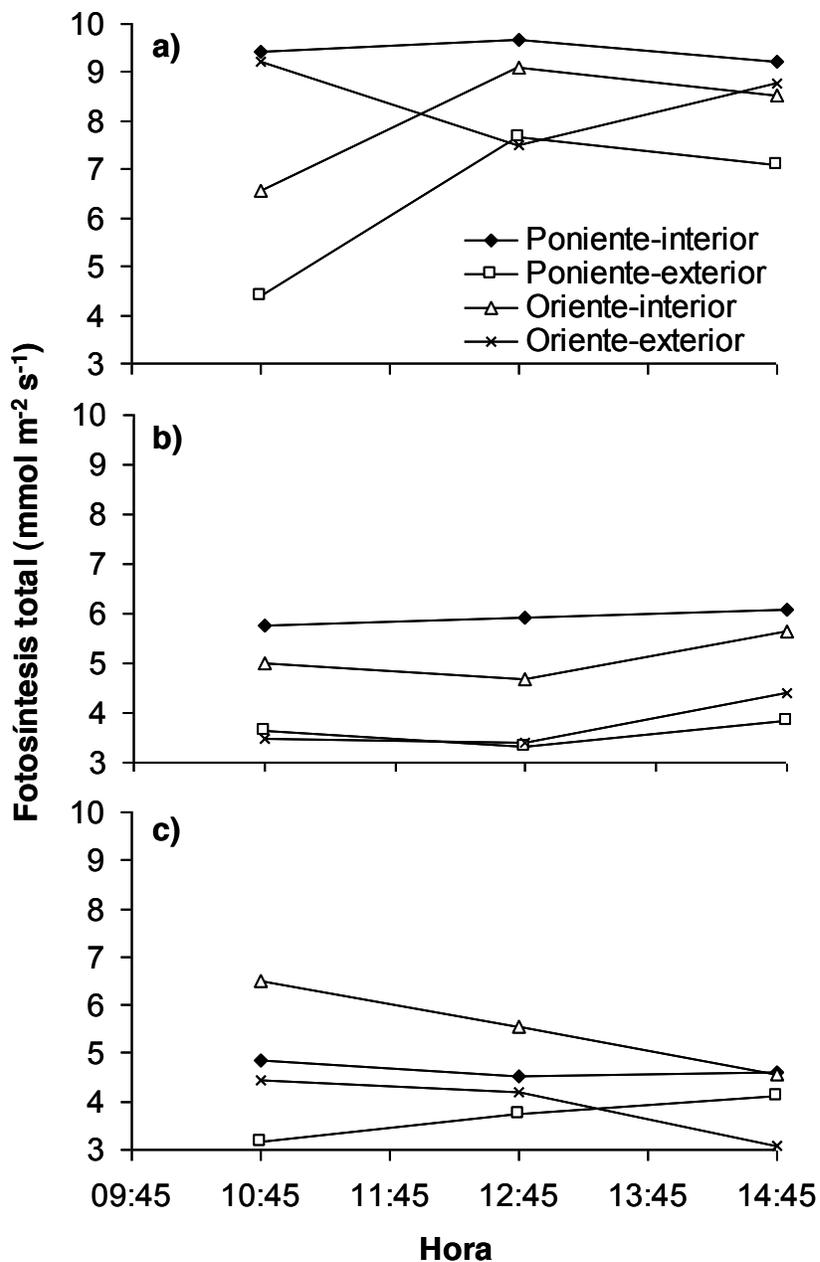


Figura 17. Fotosíntesis total de hojas de fresa cultivada en el modelo de producción intensivo “Raíces 150”, medida a cuatro orientaciones durante: a) Crecimiento vegetativo (5 de abril); b) Floración (26 de mayo); c) Fructificación (16 de agosto). Primavera-verano 2006, Montecillo, México.

La dinámica de la fotosíntesis total fue similar en las tres mediciones, siendo a las 12:45 horas cuando obtuvo el mayor valor, incrementando 13.6, 25.3 y 3.1% en la primera,

segunda y tercera fecha de muestreo respectivamente en comparación a la lectura anterior (10:45 horas). Posteriormente la fotosíntesis total disminuyó 2.0, 12.4 y 7.0 % en la primera, segunda y tercera fecha de muestreo respectivamente.

Al comparar la fotosíntesis total de las plantas expuestas en diferentes orientaciones en las dos últimas fechas de muestreo, se encontró que generalmente las plantas ubicadas en las orientaciones poniente y oriente exterior (orientación 2 y 4) presentaron los valores más altos ( $P \geq 0.05$ ), mientras que las plantas situadas en la orientación poniente interior presentaron los valores estadísticamente más bajos (Cuadro 11). En lo que respecta a las plantas situadas en la parte oriente interior del modelo de producción, generalmente presentaron valores intermedios de fotosíntesis respecto al presentado por las plantas en las orientaciones anteriormente indicadas.

Cuadro 9. Fotosíntesis total ( $\text{mmol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) en tres fechas de muestreo y a tres horas

| Orientación | 5 de abril de 2006 |         |        | 26 de mayo de 2006 |          |          | 16 de agosto de 2006 |          |          |
|-------------|--------------------|---------|--------|--------------------|----------|----------|----------------------|----------|----------|
|             | 10: 45             | 12: 45  | 14:45  | 10: 45             | 12: 45   | 14:45    | 10: 45               | 12: 45   | 14:45    |
| 1           | 9.21 a             | 7.99 a  | 7.12 a | 3.66 b             | 4.16 b   | 3.79 b   | 3.41 b               | 3.73 b   | 4.09 a b |
| 2           | 5.64 a             | 10.00 a | 9.92 a | 5.55 a             | 6.61 a   | 5.30 a b | 5.53 a               | 5.44 a   | 4.79 a   |
| 3           | 7.86 a             | 7.81 a  | 8.78 a | 3.46 b             | 5.58 a b | 4.65 a b | 4.45 a b             | 4.18 a b | 3.15 b   |
| 4           | 8.11 a             | 9.23 a  | 8.44 a | 5.31 a b           | 6.22 a b | 6.04 a   | 4.67 a b             | 5.28 a   | 5.15 a   |

Cada valor representa la media de 6 repeticiones. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales dentro de columnas (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

Orientación 1: Poniente interior (Tratamientos 1, 2 y 3); Orientación 2: Poniente exterior (Tratamientos 4, 5, 6); Orientación 3: Oriente interior (Tratamientos 7, 8 y 9); Orientación 4: Oriente exterior (Tratamientos 10, 11, 12)

#### 4.2.7 Fotosíntesis neta

Si se considera positiva la acumulación de sustancias orgánicas resultantes de la fotosíntesis, llamadas genéricamente fotoasimilados, y negativa su pérdida (debido a los fotoasimilados consumidos en la fotorrespiración y respiración mitocondrial), se puede definir el intercambio neto de carbono con el ambiente como:

$$FN = FB - (FR + RM)$$

donde FB o fotosíntesis total representa la cantidad total de fotoasimilados producida, FR representa la cantidad consumida por fotorrespiración y RM representa las pérdidas debidas a respiración mitocondrial. El balance puede expresarse como la cantidad de fotoasimilados resultante de ganancias y pérdidas o fotosíntesis neta (FN). La fotosíntesis neta es adecuada para evaluar el efecto del ambiente y para determinar el ambiente de producción intensivo más adecuado (<http://www.euita.upv.es/varios/biología/Temas/tema11.htm>) (2006).

La tasa de fotosíntesis neta fue entre 1 y 7.8 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (Figura 18), y decreció proporcionalmente con la altura en las tres etapas. La fotosíntesis es un proceso biológico complejo (involucra más de 100 reacciones químicas) que consiste en la absorción de la energía radiante por moléculas de clorofila y otros pigmentos, seguida de la conversión de esta energía en energía química para la reducción del CO<sub>2</sub> de la atmósfera, hasta la formación de glucosa y otros carbohidratos similares (Bidwell, 2002). La radiación solar en la banda fotosintética se usa directamente en la fotosíntesis y algunos otros procesos como la formación de clorofilas y la activación de algunas enzimas. Es por esto que las plantas cultivadas en el modelo de producción intensivo a 185 cm produjeron mayor fotosíntesis neta, ya que son las que reciben mayor cantidad de radiación.

Por otra parte la orientación oriente-interior con respecto al testigo (cultivado en bolsas a nivel del suelo) presentó en promedio un nivel más alto en la etapa 1 (7.36 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-2</sup>), mientras que para la etapa 2 y 3 el testigo fue el que se comportó con los niveles más altos en lo que respecta a fotosíntesis neta (9.96 y 6.12 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-2</sup> respectivamente),

esto debido principalmente a que son dos sistemas diferentes de producción, lo cual hace que se tengan diferencias en el ambiente en el que se desarrollan principalmente por la altura, orientación o ubicación en los que se establecen los dos sistemas de producción.

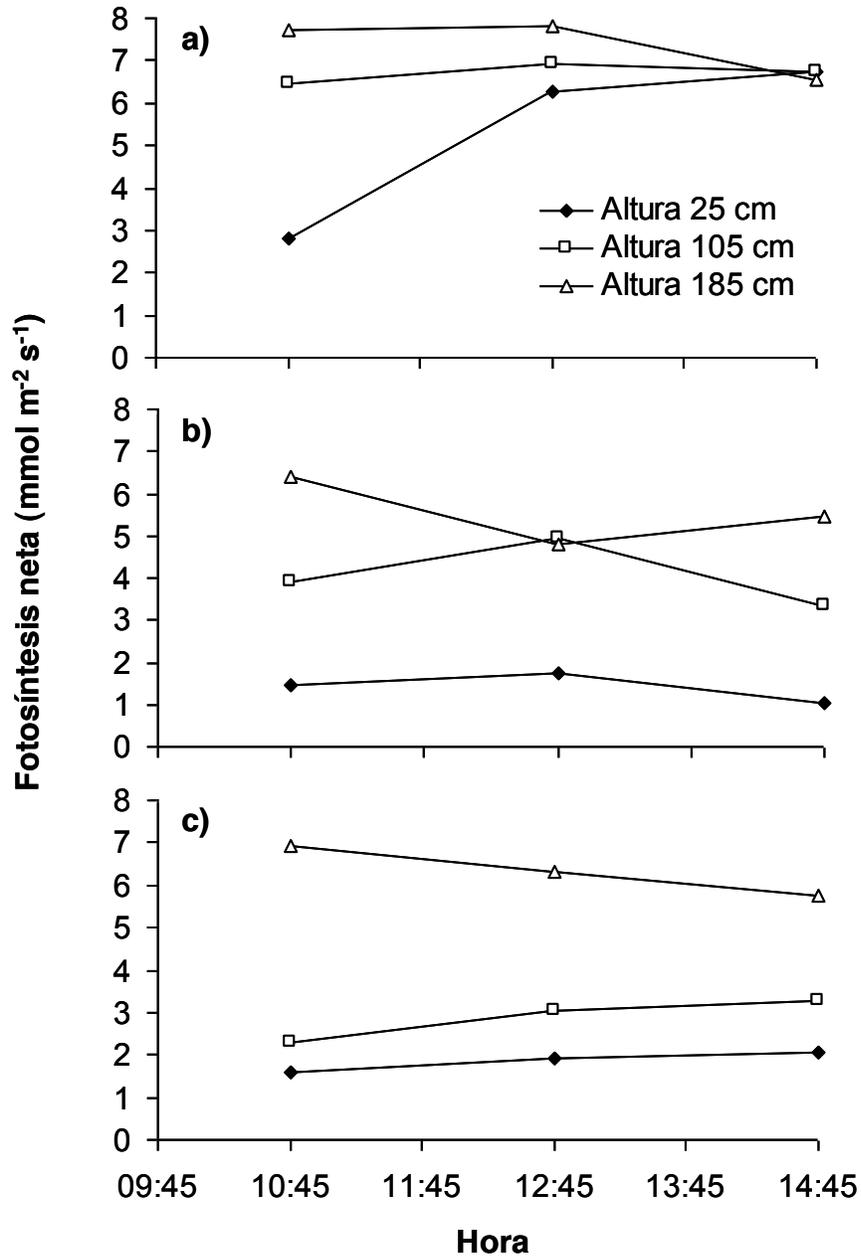


Figura 18. Fotosíntesis neta de hojas de fresa cultivada en el modelo de producción intensivo “Raíces 150”, medida a tres alturas durante: a) Crecimiento vegetativo (5 de abril); b) Floración (26 de mayo); c) Fructificación (16 de agosto). Primavera-verano 2006, Montecillo, México.

Las plantas cultivadas en la orientación oriente-interior del modelo de producción presentaron las tasas de fotosíntesis neta más altas en todas las etapas, mientras que las cultivadas al poniente-exterior fueron las que tuvieron las tasas más bajas (Figura 19). Además es muy importante mencionar que no existe una consistencia marcada en el comportamiento por orientación como se puede observar en las Figuras 19a y 19b, en cambio en la Figura 19c está mejor definido que la orientación Oriente-interior fue la que presentó una mayor fotosíntesis neta, con respecto a las demás orientaciones.

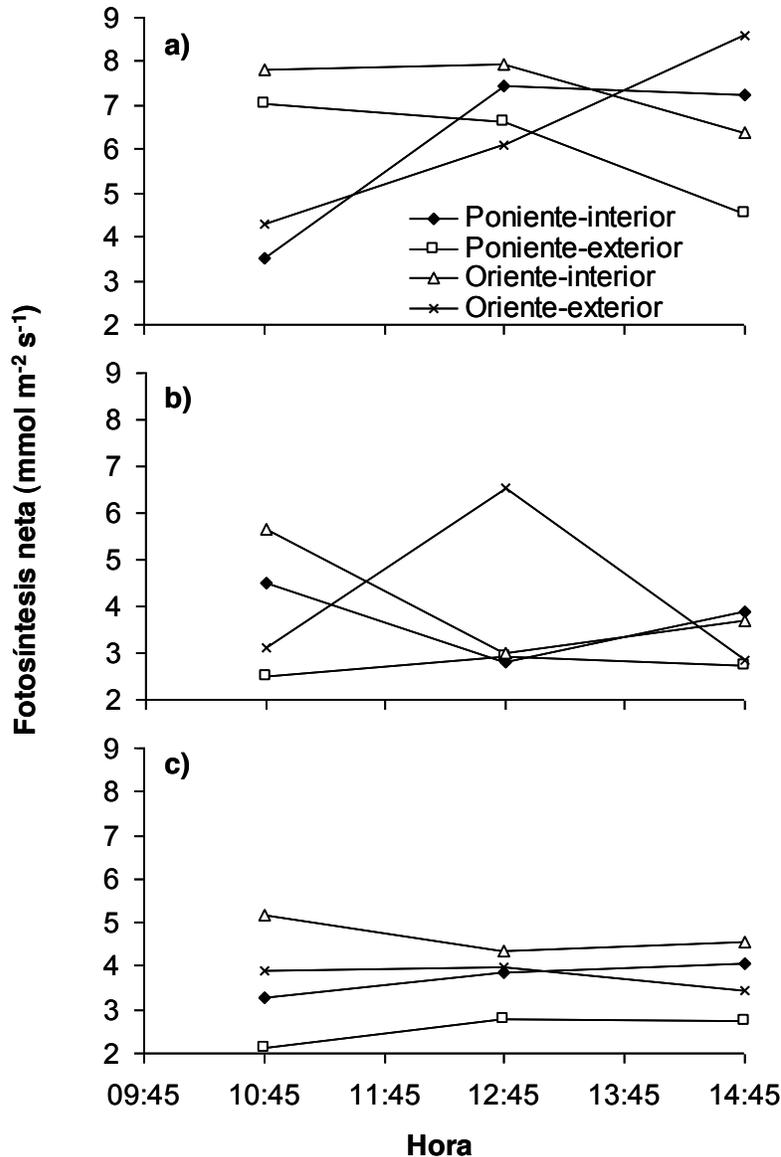


Figura 19. Fotosíntesis neta de hojas de fresa cultivada en el modelo de producción intensivo “Raíces 150”, medida a cuatro orientaciones durante: a) Crecimiento vegetativo (5 de abril); b) Floración (26 de mayo); c) Fructificación (16 de agosto). Primavera-verano 2006, Montecillo, México.

#### 4.2.8 Número de hojas

Al inicio del experimento las plantas utilizadas para esta evaluación tenían características similares por lo tanto era de esperarse que no hubiera diferencias en el número de hojas. A partir de los 25 días posteriores al trasplante se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos ( $P \leq 0.05$ ) por efecto de la orientación, donde en general los tratamientos ubicados al poniente (exterior e interior) presentaron valores más altos que los tratamientos de la orientación oriente tanto en el interior como en el exterior. Aun en los tratamientos que estuvieron en la orientación oriente, las plantas que estuvieron colocadas en el interior fueron las que presentaron los valores más altos (Cuadro 10).

Cuadro 10. Comparación de medias del efecto de la orientación en el número de hojas de plantas de fresa cultivadas en el modelo de producción intensivo “Raíces 150”.

| Orientación | Descripción       | Días después del trasplante (DDT) |        |        |          |           |
|-------------|-------------------|-----------------------------------|--------|--------|----------|-----------|
|             |                   | 0                                 | 25     | 60     | 85       | 113       |
| 1           | Poniente-interior | 3.11 a                            | 5.11 a | 7.33 a | 9.78 a   | 13.00a    |
| 2           | Poniente-exterior | 3.33 a                            | 4.89 a | 6.78 a | 8.56 a b | 10.89 a b |
| 3           | Oriente-interior  | 2.56 a                            | 3.67 b | 4.78 b | 6.33 c   | 8.33 b    |
| 4           | Oriente-exterior  | 3.22 a                            | 3.89 b | 5.44 b | 7.67 b c | 9.89 b    |

Valores con la misma letra por columna son iguales ( $n = 8$ ; Tukey,  $P < 0.05$ ).  
 Orientación 1: Tratamientos 1, 2 y 3; Orientación 2: Tratamientos 4, 5, 6;  
 Orientación 3: Tratamientos 7, 8 y 9; Orientación 4: Tratamientos 10, 11, 12.

Respecto al efecto de la altura sobre el número de hojas en las plantas de fresa, sobresale que las plantas colocadas a 185 cm del nivel del suelo fueron las que tuvieron el menor número de hojas, mientras que las plantas colocadas a 25 y 105 cm desarrollaron más hojas ( $P \leq 0.05$ ; Cuadro 11).

Cuadro 11. Comparación de medias del efecto de la altura de la canaleta en el número de hojas de plantas de fresa cultivadas en el modelo de producción intensivo “Raíces 150”.

| Altura | Altura sobre el suelo | Días después del trasplante |       |       |       |        |
|--------|-----------------------|-----------------------------|-------|-------|-------|--------|
|        |                       | 0                           | 25    | 60    | 85    | 113    |
| 1      | 25 cm                 | 3.08a                       | 4.92a | 7.08a | 9.83a | 12.67a |
| 2      | 105 cm                | 3.33a                       | 4.67a | 6.25a | 7.67b | 9.50b  |
| 3      | 185 cm                | 2.75a                       | 3.58b | 4.92b | 6.75b | 9.42b  |

Valores con la misma letra en u columna son estadísticamente iguales (n=12; Tukey,  $P < 0.05$ ).

#### 4.2.9 Concentración de clorofila (lecturas SPAD)

La concentración de clorofila en las hojas de plantas de fresa, medida de manera indirecta y expresada en lecturas SPAD, fue significativamente diferente en las cuatro orientaciones del modelo de producción intensivo “Raíces 150” ( $P \leq 0.05$ ). En el lado oriente del modelo se registraron las lecturas más altas en comparación con las plantas que estuvieron ubicadas al poniente. Por otro lado, las plantas del exterior de cada orientación (poniente y oriente) tuvieron los valores SPAD más altos que los de las plantas colocadas en el interior de las orientaciones poniente y oriente (Cuadro 12).

Cuadro 12. Comparación de medias del efecto de la orientación de la canaleta en las lecturas SPAD de hojas de plantas de fresa cultivadas en el modelo de producción intensivo “Raíces 150”.

| Orientación | Descripción       | Días después del trasplante |     |     |     |     |
|-------------|-------------------|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|
|             |                   | 45                          | 75  | 105 | 135 | 164 |
| 1           | Poniente-interior | 2d                          | 2d  | 2d  | 2d  | 2d  |
| 2           | Poniente-exterior | 5c                          | 5c  | 5c  | 5c  | 5c  |
| 3           | Oriente-interior  | 8b                          | 8b  | 8b  | 8b  | 8b  |
| 4           | Oriente-exterior  | 11a                         | 11a | 11a | 11a | 11a |

Valores con la misma letra en columna son iguales (n = 8; Tukey,  $P < 0.05$ ).

Orientación 1: Tratamientos 1, 2 y 3; Orientación 2: Tratamientos 4, 5, 6; Orientación 3: Tratamientos 7, 8 y 9; Orientación 4: Tratamientos 10, 11, 12.

La altura, al igual que el factor orientación, afectó las lecturas SPAD en las hojas de las plantas de fresa ( $P \leq 0.05$ ; Cuadro 13). En los diferentes tiempos de muestreo los valores SPAD más altos se registraron en las plantas colocadas a 185 cm de altura y descendieron conforme disminuía la altura a la que se colocaron las plantas, por lo tanto en las plantas ubicadas a 25 cm presentaron las lecturas más bajas.

Cuadro 13. Comparación de medias del efecto de la altura de la canaleta en las lecturas SPAD de hojas de plantas de fresa cultivadas en el modelo de producción intensivo “Raíces 150”.

| Altura | Descripción | Días después del trasplante |      |      |      |      |
|--------|-------------|-----------------------------|------|------|------|------|
|        |             | 45                          | 75   | 105  | 135  | 164  |
| 1      | 25 cm       | 5.5c                        | 5.5c | 5.5c | 5.5c | 5.5c |
| 2      | 105 cm      | 6.5b                        | 6.5b | 6.5b | 6.5b | 6.5b |
| 3      | 185 cm      | 7.5a                        | 7.5a | 7.5a | 7.5a | 7.5a |

Valores con la misma letra en columna son estadísticamente iguales (n = 12; Tukey,  $P < 0.05$ ).

### 4.3 Variables del fruto

Para el factor orientación, se encontraron diferencias ( $P \leq 0.05$ ) en el número de frutos de primera calidad, número total de frutos, peso en fresco del fruto y en la acidez titulable, mientras que la altura afectó a casi todas las variables de calidad excepto en el número de frutos de tercera calidad, pH y luminosidad (L) (Cuadro 14). Se observó también una interacción entre orientación y altura en algunas variables como número de frutos de primera y segunda calidad, número total de frutos, acidez titulable, pH, y el ángulo °Hue con relación al color del fruto, que coinciden con las diferencias encontradas en respuesta al menos para la altura, excepto la biomasa fresca de fruto (afectado por orientación y altura pero no por la interacción). En cambio, se observó que el pH del fruto de fresa no fue afectado por la orientación ni por la altura, en cambio se encontró efecto de la interacción.

Como puede observarse en el Cuadro 15, en la orientación poniente-exterior fue en la que se presentó el mayor número de frutos de primera calidad ( $P \leq 0.05$ ), número de frutos totales y biomasa fresca de fruto, y fue diferente con respecto a la orientación poniente-interior, en donde se tuvieron los niveles más bajos en la mayoría de estas variables respuesta. Las orientaciones hacia el interior del sistema de producción (1 y 3) produjeron menos ( $P \leq 0.05$ ) frutos que las orientaciones hacia el exterior (2 y 4). También, ambas orientaciones hacia el interior del sistema de producción, tuvieron rendimientos mayores (peso en fresco de fruto por planta) que la orientación poniente-interior.

Con el factor altura de canaletas, a 185 cm se tuvo el mayor ( $P \leq 0.05$ ) número de frutos de primera calidad, peso en fresco de fruto, firmeza y sólidos solubles totales. En cambio, en las canaletas a 25 cm se produjeron el menor número de frutos de primera calidad, peso en fresco de fruto, firmeza y sólidos solubles totales, y por el contrario se obtuvo la mayor cantidad de frutos de segunda calidad. Entonces la altura de la canaleta no afectó el número total de frutos, pero sí la cantidad de frutos en cada categoría de calidad. También los frutos producidos a 25 cm de altura tuvieron mayor ángulo °Hue y croma, lo cual implica que estos frutos fueron menos coloreados y con matices más puros y vívidos (Cuadro 16).

En el testigo por el contrario, se obtuvo mayor número de frutos de primera calidad (12.8 frutos planta<sup>-1</sup>), segunda calidad (8.8 frutos planta<sup>-1</sup>), tercera calidad (4.2 frutos planta<sup>-1</sup>), número total de frutos (25.8 frutos planta<sup>-1</sup>), biomasa fresca de fruto (262.6 g planta<sup>-1</sup>) y firmeza que en cualquiera de las plantas producidas en el sistema de producción intensivo. En cambio obtuvo comparablemente menor acidez titulable (0.0009% de ácido cítrico) y un valor alto de ángulo °Hue.

Con respecto a la productividad, el modelo de producción intensivo “Raíces 150” con 3 x 1.52 m, 1 m de separación a lo ancho entre cada modelo, y 1 m entre cada cinco modelos de producción, soportaría cultivar fresa a una densidad de 250,000 plantas ha<sup>-1</sup>, y produciría 39.5 ton ha<sup>-1</sup> de fruto fresco cada dos meses, de acuerdo con los resultados de la evaluación de la producción de noviembre a diciembre 2006, si se considera un rendimiento promedio de 158.19 g planta<sup>-1</sup>. En cambio, con el sistema de producción en macetas (testigo), podrían plantarse 41,250 plantas ha<sup>-1</sup> (Sandoval, 2004), y obtenerse 10.8 ton ha<sup>-1</sup> de fruto fresco cada dos meses, si se considera un rendimiento promedio de 262.6 g planta<sup>-1</sup>. Esto significa que el sistema de producción intensivo “Raíces 150” es 3.7 veces más productivo que el testigo.

**Cuadro 14. Análisis de varianza de las variables calidad de fruto, número de frutos, peso del fruto, firmeza, pH, SST, °Hue, Cromo y luminosidad.**

| FV               | GL | Calidad (Número de frutos) |                |                | No. total<br>de frutos | Peso en<br>fruto (g<br>planta <sup>-1</sup> ) | Firmeza<br>(kg/F) | Acidez<br>(% ácido<br>cítrico) | pH    | SST<br>(° Brix) | Hue<br>(°) | C      | L     |
|------------------|----|----------------------------|----------------|----------------|------------------------|---|-------------------|--------------------------------|-------|-----------------|------------|--------|-------|
|                  |    | 1 <sup>a</sup>             | 2 <sup>a</sup> | 3 <sup>a</sup> |                        |   |                   |                                |       |                 |            |        |       |
| O                | 3  | 4.27*                      | 2.67           | 0.36           | 4.78*                  | 7.08*   | 1.23              | 3.32*                          | 1.67  | 2.53            | 1.85       | 2.13   | 0.97  |
| A                | 2  | 41.12*                     | 9.02*          | 0.12           | 8.62*                  | 21.44*  | 19.26 *           | 35.53*                         | 1.81  | 241.55*         | 5.51*      | 5.03*  | 2.98  |
| O*A              | 6  | 2.90*                      | 2.61*          | 1.17           | 3.18*                  | 1.14  | 0.50              | 13.84*                         | 5.69* | 0.41            | 2.36*      | 1.48   | 0.93  |
| CME              | 60 | 3.39                       | 2.61           | 1.47           | 5.222                  | 1126.25                                       | 0.01              | 0.000007                       | 0.004 | 0.04            | 3.81       | 8.10   | 2.85  |
| Media<br>general |    | 7.72                       | 6.11           | 1.64           | 15.4722                | 158.19  | 0.75              | 0.0013                         | 3.56  | 7.62            | 29.44      | 118.40 | 33.41 |
| CV               |    | 23.84                      | 26.41          | 74.04          | 14.769                 | 21.22   | 9.97              | 19.501                         | 1.78  | 2.54            | 6.63       | 7.55   | 5.05  |

FV: Fuente de variación; O: Orientación; A: Altura; GL: Grados de libertad; SST: Sólidos solubles totales; C: Cromo; L: Luminosidad; CME: Cuadrado medio del error; CV: Coeficiente de variación. Cada valor indica el valor del estadístico F. Valores seguidos por el símbolo (\*) indican que las diferencias de los tratamientos que conformaron esa fuente de variación son significativas ( $P \leq 0.05$ ).

Cuadro 15. Calidad, número, peso, firmeza, acidez titulable, pH, SST y componentes de color (°Hue, Chroma y Luminosidad) del fruto de fresa producidos en un sistema de cultivo con diferentes orientaciones.

| Orientación | Calidad (número de frutos) |                |                | No. de frutos | Peso en fresco de fruto (g planta <sup>-1</sup> ) | Firmeza (kg/F) | Acidez (% ácido cítrico) | pH    | SST (° Brix) | Hue (°) | Chroma (0-60) | Luminosidad (0-100) |
|-------------|----------------------------|----------------|----------------|---------------|---|----------------|--------------------------|-------|--------------|---------|---------------|---------------------|
|             | 1 <sup>a</sup>             | 2 <sup>a</sup> | 3 <sup>a</sup> |               |   |                |                          |       |              |         |               |                     |
| 1           | 6.8 b c                    | 6.3 a          | 1.7 a          | 14.9 b        | 133.5 c   | 0.75 a         | 0.00140 a                | 3.5 a | 7.5 b        | 29.2 a  | 37.6 a        | 32.9 a              |
| 2           | 8.7 a                      | 6.9 a          | 1.4 a          | 17.1 a        | 181.0 a   | 0.73 a         | 0.00133 a b              | 3.6 a | 7.7 a        | 29.5 a  | 38.4 a        | 33.7 a              |
| 3           | 7.1 a b                    | 5.7 a          | 1.6 a          | 14.3 b        | 149.3 b c   | 0.77 a         | 0.00131 a b              | 3.6 a | 7.6 a b      | 30.3 a  | 38.4 a        | 33.8 a              |
| 4           | 8.2 a b                    | 5.6 a          | 1.8 a          | 15.6 a        | 169.0 a b   | 0.73 a         | 0.00114 b                | 3.6 a | 7.6 a b      | 28.8 a  | 36.3 a        | 33.3 a              |

SST: Sólidos solubles totales; C: Croma; L: Luminosidad. Cada valor representa la media de 6 repeticiones. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). Orientación 1: Poniente interior (Tratamientos 1, 2 y 3); Orientación 2: Poniente exterior (Tratamientos 4, 5, 6); Orientación 3: Oriente interior (Tratamientos 7, 8 y 9); Orientación 4: Oriente exterior (Tratamientos 10, 11, 12).

Cuadro 16. Calidad, número, peso, firmeza, acidez titulable, pH, SST y componentes de color (°Hue, Chroma y Luminosidad) del fruto de fresa producidos en un sistema de cultivo denominado "Raíces" con diferentes alturas.

| Altura | Calidad (número de frutos) |                |                | No. de frutos | Peso en fresco de fruto (g planta <sup>-1</sup> ) | Firmeza (kg/F) | Acidez (% ácido cítrico) | pH    | SST (° Brix) | Hue (°) | Chroma (0-60) | Luminosidad (0-100) |
|--------|----------------------------|----------------|----------------|---------------|---|----------------|--------------------------|-------|--------------|---------|---------------|---------------------|
|        | 1 <sup>a</sup>             | 2 <sup>a</sup> | 3 <sup>a</sup> |               |   |                |                          |       |              |         |               |                     |
| 1      | 5.0 c                      | 7.3 a          | 1.7 a          | 14.0 a        | 122.1 b   | 0.689 b        | 0.00165 a                | 3.6 a | 7.2 b        | 30.5 a  | 39.0 a        | 34.0 a              |
| 2      | 8.4 b                      | 5.6 b          | 1.7 a          | 15.7 a        | 170.6 a   | 0.728 b        | 0.00108 b                | 3.5 a | 7.3 b        | 29.1 b  | 37.7 a b      | 33.4 a b            |
| 3      | 9.7 a                      | 5.5 b          | 1.5 a          | 16.7 a        | 181.9 a   | 0.819 a        | 0.00116 a                | 3.6 a | 8.3 a        | 28.7 b  | 36.4 b        | 32.8 a              |

SST: Sólidos solubles totales; C: Croma; L: Luminosidad. Cada valor representa la media de 6 repeticiones. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). Altura 1: 25 cm; Altura 2: 105 cm; Altura 3: 185 cm.

## 5 DISCUSIÓN GENERAL

La fresa es un cultivo con alta capacidad de adaptación a ambientes diversos (Chloupek y Hrstkova, 2005) en los cuales variables tales como la temperatura y la radiación solar, entre otras, afectan el intercambio de CO<sub>2</sub>, el crecimiento y rendimiento de las plantas (Chabot, 1978; Jurik *et al.*, 1982).

En esta investigación, tanto la temperatura del aire como la radiación solar fueron diferentes para las alturas de las canaletas y en algunos tratamientos por la orientación de éstas, lo cual afectó el comportamiento fisiológico, rendimiento y calidad de fruto de fresa cultivada en el modelo de producción intensivo “Raíces-150”, aunque se esperaba contar con un sistema de producción uniforme.

Se encontró que la orientación de la canaleta afectó la mayoría de las variables estudiadas, excepto la temperatura (del aire y de la hoja), irradiancia fotosintética (incidente y absorbida), lecturas SPAD, algunas variables de calidad (firmeza, pH y sólidos solubles totales) y el color del fruto. La orientación poniente exterior fue la que produjo los valores más altos en la mayoría de las variables medidas.

Respecto a la altura de cultivo sobre el suelo, las plantas de fresa a 185 cm presentaron los valores más altos en la mayoría de las variables respuesta, aunque fueron las plantas con el menor número de hojas. En este aspecto es conveniente señalar que las plantas colocadas a 25 cm de altura tuvieron el mayor número de hojas pero los valores SPAD más bajos, lo cual fue inverso a lo observado en plantas a 185 cm.

En cuanto a la calidad del fruto, también se observaron diferencias en el número, peso y color del fruto de fresa. Las plantas a 185 cm de altura tuvieron el mayor número de frutos de primera calidad y el menor número de frutos de segunda calidad, pero tuvieron los valores más bajos de °Hue y croma. En contraste, las plantas a 25 cm produjeron menor número de frutos de primera calidad pero mayor número de frutos de segunda calidad, menos frutos por planta y por lo tanto menor rendimiento; los frutos cosechados a esta altura presentaron los valores más altos de °Hue y croma, mientras que la luminosidad de los frutos fue igual en las tres alturas.

La temperatura del aire y de las hojas no fue diferente entre tratamientos por efecto de la orientación y la altura posiblemente debido a que el flujo convectivo del aire durante el día en un espacio relativamente cerrado y pequeño en sus dimensiones, originaron uniformidad en las capas de aire en cuanto a la temperatura, humedad relativa y déficit de presión de vapor. Sin embargo, es posible que con la configuración del IRGA como sistema abierto, no se haya detectado diferencias de temperatura conforme se incrementó la altura debido a que el aire en la cámara provenía de una fuente externa al invernadero. Esto permitió tener condiciones uniformes para evaluar la capacidad del aparato fotosintético de las plantas de fresa, pero en cambio las variables ambientales se modificaron con respecto a las que tenían las hojas.

A pesar que no se detectaron diferencias en la temperatura de la hoja y aire conforme se incrementó la altura de la planta, los niveles de transpiración y conductancia estomática de las hojas fueron mayores a 185 cm y 105 cm, que a 25 cm, lo cual indica un mayor flujo de calor latente debido posiblemente a una mayor exposición de las hojas a la radiación solar, que después de ser absorbida por los tejidos de las hojas, incrementó la pérdida de calor mediante esta vía. Sin embargo, no se descarta la posibilidad de que la instrumentación o la metodología utilizada no permitiera detectar diferencias en la temperatura de la hoja, que hubiera sido posible con un teletermómetro infrarrojo. En este sentido, las plantas no estuvieron estresadas hídricamente y esto se advierte al encontrar que la temperatura de las hojas fue 1 a 2 °C menor que la temperatura del aire. Es claro que antes de pintar el plástico del invernadero, la temperatura del aire en el interior del invernadero alcanzó hasta 39 °C en promedio, mientras que después de esta práctica, la temperatura del aire fue 31 °C en promedio durante las horas de medición. Esto tiene implicaciones ya que temperaturas de 40/35 °C (día/noche) reducen considerablemente la tasa de asimilación neta de CO<sub>2</sub>, se presentan daños irreversibles al fotosistema II, lo que disminuye la acumulación de biomasa, área foliar, y el rendimiento de fruto; pero aún con 30/25 °C (día/noche) por dos semanas puede ser en detrimento para el desarrollo floral. En cambio, con temperaturas de 20/15 °C (día/noche) se alcanzan los rendimientos de fruto más altos de 9.2 g planta<sup>-1</sup> para el cultivar Chandler quizá porque a esa temperatura se tiene una mejor relación fuente/demanda (Kadir, Sidhu, Al-Khatib, 2006).

Sin embargo, está práctica para reducir la temperatura del aire, tuvo consecuencias desfavorables. Antes de que se pintara el plástico, se tenía 70% de transmisión de la radiación en la banda fotosintética, pero después, se redujo entre 55% y 60% el nivel de transmisión. Las plantas a 185 cm recibieron de 67 a 84% más irradiancia fotosintética que las plantas a 25 cm; éstas recibieron antes 49 a 88 W m<sup>-2</sup> y después 14 a 29 W m<sup>-2</sup> de pintar el plástico en el horario de 11:40 a 15:40 h.

Chabot (1978) indica que niveles de irradiancia bajos (4.7 W m<sup>2</sup>) reducen el crecimiento de plantas de fresa, y no se produce desarrollo reproductivo, mientras que un régimen de iluminación más alto (32 a 141 W m<sup>-2</sup>) favorece la floración y producción de estolones. Las plantas de fresa colocadas a 25 cm de altura con los valores más bajos de irradiancia fotosintética (incidente y absorbida) tuvieron el mayor número de hojas, pero presentaron el menor rendimiento, mientras que las plantas a 185 cm tuvieron el mayor rendimiento como consecuencia del desarrollo de las estructuras reproductivas de las plantas y fueron expuestas a los mayores niveles de irradiancia fotosintética. Plantas de fresa (*Fragaria virginiana* Duchesne) que crecieron con y sin fertilización a una irradiancia en la banda fotosintética de 88 W m<sup>-2</sup> produjeron hojas más gruesas, tuvieron la tasa de intercambio neto de CO<sub>2</sub> más alta, y hojas de tamaño más grande que plantas cultivadas a 17.3 W m<sup>-2</sup>.

Las fresas silvestres expuestas a altos niveles de iluminación producen hojas más grandes que plantas que crecen en hábitat sombreado (Jurik *et al.*, 1982).

En este sentido, se recomendaría inclusive el cultivo de fresa en este sistema intensivo a la intemperie, en donde se esperaría tener niveles de radiación solar más altos en todos los niveles lo que permitiría mayor intensidad luminosa en las plantas de fresa de las canaletas a menor altura y de esta forma incrementar posiblemente el rendimiento. Sólo habría que cuidar que el nivel de radiación solar en los estratos superiores no produjera fotosaturación, que ocurre con niveles de 86 a 130 W m<sup>-2</sup> en un rango que depende de la aclimatación (Chabot, 1978), donde además puede ocurrir que la máxima eficiencia fotoquímica del fotosistema II, la máxima fluorescencia, la cantidad de centros de reacción inactivos del fotosistema, y la tasa de reducción de los transportadores de electrones disminuyan bajo luz fuerte durante la subsiguiente recuperación obscura en plantas de fresa (Kai *et al.*, 2005). Bajo estas condiciones también se debe proteger a las plantas de

fresa para que las temperaturas invernales no afecten las flores, lo que ocurre con temperaturas inferiores a 0 °C (Tesi, 1980; Bianchi, 1986), aunque las plantas de fresa pueden sobrevivir a temperaturas bajas (Kikas y Libek, 2005).

Estos niveles de temperatura e irradiancia fotosintética produjeron que a 25 cm, la tasa de fotosíntesis total fuera de 5.7 mmol CO<sub>2</sub>.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> en promedio en cambio a 185 cm, ésta fue de 7.1 mmol CO<sub>2</sub>.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> en promedio, lo cual está en relación con el rendimiento de fruto que se incrementó conforme aumentó la altura, es decir conforme incrementó el nivel de iluminación. Cuando el cultivar de fresa Everest se evaluó en el rango de temperaturas 15-27 °C y en dos ambientes de iluminación (a ambiente y a 50 % de sombra), el rendimiento más alto fue obtenido en plantas sin sombra que crecieron a 23 °C, pero la temperatura óptima para el crecimiento vegetativo fue 15 °C. Conforme incrementó la temperatura, el número de frutos aumentó, pero el peso del fruto disminuyó. El peso del fruto también se redujo significativamente bajo sombra, y a pesar de que Everest mostró un grado de tolerancia a la sombra durante el crecimiento vegetativo, se redujo consistentemente el rendimiento bajo condiciones de sombra (Wagstaffe y Battey, 2004).

Con respecto al rendimiento en el sistema de producción intensivo “Raíces 150” fue 3.7 veces más productivo que el cultivo en macetas con 39 ton ha<sup>-1</sup> en dos meses de evaluación. En general, sistemas que incrementen la densidad de población, también incrementan el crecimiento del cultivo en etapas avanzadas de desarrollo y el rendimiento. El crecimiento de la planta y el rendimiento por planta aumentó conforme el espaciado de 20 a 30 cm tanto en los cultivares Elsanta y Bolero de fresa, pero el mayor índice de cosecha y rendimiento por metro cuadrado se obtuvo con espaciados más cerrados. Con el aumento en el espaciado entre plantas se aumenta el área foliar y el índice de área foliar por planta. Sin embargo, la luz es utilizada menos eficientemente lo que resulta en bajas eficiencias en el uso de la radiación solar (EUR) e índices de cosecha (Camacaro *et al.*, 2004). Además, el cultivo bajo protección puede dar ventajas en condiciones de baja temperatura ya que se obtienen mayor número de hojas, mayor área foliar, biomasa, rendimientos, y calidad de fruto que en condiciones de campo, e inicia la floración más pronto (Kadir, Carey, Ennahli, 2006).

El sistema de producción intensivo “Raíces 150” incrementa la densidad de plantación y por consiguiente el rendimiento. Además, bajo invernadero se asegura la protección de las plantas y los frutos, por lo que se puede esperar mejorar su calidad. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que al reducir el nivel de radiación al interior de un invernadero para bajar la temperatura, causa que la radiación solar incidente sobre las plantas en los estratos inferiores del sistema sea un factor limitante para un nivel apropiado de producción. Por otro lado, para obtener el máximo beneficio de este sistema de producción intensivo se requiere encontrar el nivel óptimo de radiación solar y temperatura del aire, además de considerar que se presenta un gradiente de las variables atmosféricas. Aún así, el sistema de producción intensivo “Raíces 150” es prometedor y podría incrementar sustancialmente la productividad de esta especie. Sin embargo, se requiere llevar a cabo el estudio económico.

## **6 CONCLUSIONES**

El sistema de producción intensivo “Raíces 150” produjo gradientes en las variables atmosféricas que ocasionaron cambios fisiológicos, de rendimiento y calidad del fruto de fresa. Por lo tanto, el sistema no proporciona uniformidad a las plantas. Esto indica que se requiere optimizar la iluminación y temperatura para alcanzar potencial productivo.

## 7 LITERATURA CITADA

- Albregts, E. E., C. M. Howard, and C. K. Chandler. 1991. Strawberry responses to K rate on a fine sand soil. *Hortscience* 26:135-138.
- AOAC. 1984. *Official Methods of Analysis*. 14<sup>th</sup> ed. Edited by Association of Official Analytical Chemist. Arlington, Virginia. USA. 200 p.
- ASERCA. 2002. Descripción de los sectores agroalimentario, pesquero y características del medio rural. *Claridades agropecuarias* No. 180. SAGARPA. 92 p.
- Ayala G., O. J. 1995. Estudio micrometeorológico del cultivo de Trigo (*Triticum aestivum* L). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México. 84 p.
- Bianchi, P.G. 1986. *Guía Completa del Cultivo de Fresas*. 1<sup>a</sup> ed. Editorial De Vecchi, España. 57 p.
- Bianchi, P.G. 1999. *Guía Completa del Cultivo de Fresas*. 2<sup>a</sup> ed. Editorial De Vecchi, España, 94 p.
- Bidwell, R.G. S. 2002. *Fisiología Vegetal*. AGT editor. S.A. México, D.F. 784 p.
- Camacaro, G. J., P. Hadley, M. D. Dennett, N. H. Battey, and J. G. Carew. 2004. Effect of plant density and initial crown size on growth, development and yield in strawberry cultivars Elsanta and Bolero. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 79: 739-746.
- Campos, M., L. 2000. *Fertirriego y micorriza en frambuesa (Rubus idaeus cv. Malling Autumn Bliss) cultivada en tepetate de mina*. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México, México. 111 p.

- Chabot, B. F. 1978. Environmental influences on photosynthesis and growth in *Fragaria vesca*. *New Phytol.* 80: 87-98.
- Chloupek, O., and P. Hrstkova. 2005. Adaptation of crops to environment. *Theoretical and Applied Genetics* 111: 1316-1321.
- Coombs, J., D. O. Hall, S. P. Long, y J. M. O. Scurlock. (Editores). 1988. Técnicas en Fotosíntesis y Bioproductividad. UNEP-Colegio de Postgraduados. Ed. Futura. Texcoco, Edo. de México. México. 258 p.
- Díaz M., D. H. 2002. Fisiología de Árboles Frutales. 1a ed. AGT editor, S.A. México. 390 p.
- Dirección General de Desarrollo Económico de Irapuato. 2003. Panorama de la fresa en el entorno mundial, nacional y local. 47 p.
- Durner, E. F., J. A. Barden, D. G. Himelrick, and E. B. Poling. 1984. Photoperiod and temperature effects on flower and runner development in day-neutral, junebearing, and everbearing strawberries. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 109: 396-400.
- Folquer, F. 1986. La Frutilla o Fresa. Estudio de la Planta y su Producción Comercial. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina.
- García, E. 1973. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koopen para Adaptarlo a las Condiciones de la República Mexicana. Instituto de Geografía de la UNAM. México.
- Gil, M. F. 1995. Elementos de Fisiología Vegetal: Relaciones Hídricas, Nutrición Mineral, Transporte, Metabolismo. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Hancock, J. F. 1999. Strawberries. CABI Publishings. Michigan. USDA.
- Hellickson, M. A. and J. N. Walter. 1983. Ventilation of Agricultural Structures.

INFOASERCA. 2008. Reporte diario de precios observados en diversas centrales de abasto.

Juárez R., C. R. 2005. Comparación de tres sistemas de producción de Fresa. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Instituto de Recursos Naturales. Programa en Edafología. Estado de México. 78 p.

Jurik, T. W., J. F. Chabot, and B. F. Chabot. 1982. Effects of light and nutrients on leaf size, CO<sub>2</sub> exchange, and anatomy in wild strawberry (*Fragaria virginiana*). *Plant Physiol.* 70: 1044-1048.

Kadir, S., E. Carey, and S. Ennahli. 2006. Influence of high tunnel and field conditions on strawberry growth and development. *Hortscience* 41: 329-335.

Kadir, S., G. Sidhu, and K. Al-Khatib. 2006. Strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) growth and productivity as affected by temperature. *Hortscience* 41: 1423-1430.

Kai, X., G. Yanping, Z. Shanglong, Z. Huifen, and Z. Yi. 2005. Response of strawberry leaves photosynthesis to strong light and its mechanism. *Yingyong Shengtai Xuebao* 16: 73-78.

Kikas, A., and A. Libek. 2005. Influence of temperature sums on growth and fruit mass and yield of strawberry. *European Journal of Horticultural Science* 70: 85-88.

Larson, D. K. 2000. Comportamiento y manejo de la fresa: desarrollo de programas para máxima calidad y rendimiento en México. In: Memoria del Simposio Internacional de Fresa. J. Z. Castellanos y F. Guerra O Hart. (Editores). Zamora, Michoacán, México..

Maas, J. L. 1998. Compendium of Strawberry Diseases. 2a ed. American Phytopathological Society. St. Paul, MN, USDA, USA.

- Maroto, J. V., B. Pascual, J. Alagarda, y S. López G. 1983. Influencia de dos tipos de cobertura plástica en cultivo semiforzado del fresón (*Fragaria x ananassa* Duch.). Comunicaciones al I Congreso Nacional de la Sociedad Española de Ciencias Hortícolas. 177-185 p.
- Maroto, J. V., B. Pascual, J. Alagarda, y S. López Galarza. 1986. Mejora de la precocidad del cultivo del fresón (*Fragaria x ananassa* Duch. Cv Pájaro) mediante aplicaciones invernales de ácido giberélico. ITEA 63: 36-38.
- Maroto, J. V. 1989. Cultivo de fresas y fresones. Agrogúías Mundi-Prensa. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Méndez, G. T. 2002. Formación de doseles escaleriformes con hileras de plantas de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) orientadas en dirección este-oeste. Editorial UACH. Tesis de Maestría. Instituto de Horticultura, Departamento de Fitotecnia. Chapingo, México. 136 p.
- Morgan, L. 2002. Producción intensiva de fresa. Productores de hortalizas. 14-17 p.
- Nunes M. C. N., A. M. M. B. Morais, J. K. Brecht, and S. A. Sargent. 2002. Fruit maturity and storage temperature influence response of strawberries to controlled atmospheres. Journal American Hortscience 127:836-842.
- Palmer, J. 1986. Seasonal variation of light saturated photosynthetic rate of Golden Delicious apple leaves as influenced by leaf type and crop load. In: Procc. Conf. Regulation of Photosynthetic Efficiency in Fruti Trees. Lasko, A., F. Lenz (eds.). NY State Agr. Expt. Sta., Geneva. pp. 30-33.
- Resh, H. M. 1992. Cultivos Hidropónicos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 369 p.
- Rodríguez, M. Ma. De las N., G. G. Alcántar, A. Aguilar S., B. J. Etchevers, y J. A. R. Santizo. 1998. Estimación de la concentración de nitrógeno y clorofila en tomate mediante un medidor portátil de clorofila. Terra 16:135-141.

- Rojas, G. M. 1984. Fisiología Vegetal Aplicada. 2a ed. Editorial Mc Graw-Hill. México, D.F. 262 p.
- Rosenberg, N. J., B. L. Blas, and S. B. Verma. 1983. Microclimate; the Biological Environment. 2a ed. USA. 495 p.
- Sánchez del C, F. 2002. Apuntes del Curso de Horticultura. Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Sánchez del C, F., y E. R. Escalante R. 1988. Hidroponía. Editorial Universidad Autónoma Chapingo. 3a ed. Chapingo, México. 194 p.
- Sandoval V., M. 2004. Producción de fresa en hidroponía. Informe de proyecto de colaboración Colegio de Postgraduados y Fundación Produce D.F., Montecillo, México.
- Sandoval V., M., y B. Brizuela A. P. 2002. Horticultura intensiva de invernaderos. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, Estado de México, México.
- Salisbury, B. F., and C. Ross W. 2000. Fisiología de las Plantas: Bioquímica Vegetal. Vol. 2. 1a ed. Editorial Paraninfo. Madrid, España.
- SAS Institute Inc. 1999-2000. SAS/STAT Guide for Personal Computers. Versión 8.1 SAS Institute N. C. USA. 890 p.
- Tesi, R. 1980. Colture protette. Edagricole. Bologna.
- USDA. 1997. Normas de clasificación para la fresa en Estados Unidos. Servicios de comercialización de productos agrícolas, división de frutas y hortalizas. *In*: Memoria del Simposio Internacional de Fresa. Zamora 2000.

Vázquez G., G. 1992. Relaciones fuente-demanda en fresa (*Fragaria x ananassa* Duch. Var. Fern) en respuesta a prácticas de manejo. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, México. 100 p.

Wagstaffe, A., and N. H. Battey. 2004. Analysis of shade and temperature effects on assimilate partitioning in the everbearing strawberry 'Everest' as the basis for optimized long-season fruit production. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 79: 917-922.

Wang, S. Y., and M. J. Camp. 2000. Temperatures after bloom affect plant growth and fruit quality of strawberry. *Scientia Horticulturae* 85: 183-199.

X-RITE. 2002. Guía para Entender la Comunicación del Color. X-RITE Inc.

**Consulta en internet:**

Fotosíntesis:

[http://www.euita.upv.es/variados/biología/Temas/tema\\_11.htm](http://www.euita.upv.es/variados/biología/Temas/tema_11.htm) (15 octubre de 2006).

## 8 APÉNDICE

**Apéndice 1. Análisis de varianza de la fotosíntesis total ( $\text{mmol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) en tres fechas de muestreo y a tres horas.**

| FV            | GL | 5 de abril de 2006 |          |         | 26 de mayo de 2006 |          |         | 16 de agosto de 2006 |          |         |
|---------------|----|--------------------|----------|---------|--------------------|----------|---------|----------------------|----------|---------|
|               |    | 10: 45 h           | 12: 45 h | 14:45 h | 10: 45 h           | 12: 45 h | 14:45 h | 10: 45 h             | 12: 45 h | 14:45 h |
| O             | 3  | 2.19               | 1.77     | 2.54    | 5.14 *             | 2.94     | 4.78 *  | 2.74                 | 5.98 *   | 7.86 *  |
| A             | 2  | 3.47 *             | 0.08     | 1.95    | 7.81 *             | 10.73 *  | 19.35 * | 16.28 *              | 35.11 *  | 22.78 * |
| O*A           | 6  | 0.56               | 0.64     | 1.85    | 6.15 *             | 4.49 *   | 4.35 *  | 5.90 *               | 23.53 *  | 15.44 * |
| CME           | 24 | 9.16               | 5.56     | 4.90    | 2.07               | 3.53     | 1.72    | 2.50                 | 1.05     | 0.89    |
| Media general |    | 7.71               | 8.76     | 8.58    | 4.50               | 5.64     | 4.94    | 4.52                 | 4.66     | 4.30    |
| CV            |    | 39.27              | 36.93    | 25.79   | 31.99              | 33.31    | 26.54   | 35.02                | 21.97    | 21.91   |

FV: Fuente de variación; O: Orientación; A: Altura; GL: Grados de libertad; CME: Cuadrado medio del error; CV: Coeficiente de variación. Cada valor indica el valor del estadístico F. Valores seguidos por el símbolo (\*) indican que las diferencias de los tratamientos que conformaron esa fuente de variación son estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ).

Apéndice 2. Imagen del sistema de producción intensivo “Raíces-150”.



Apéndice 3. Vista de las canaletas del sistema de producción intensivo “Raíces-150”.

