



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE EDAFOLOGÍA

**SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE FRESA  
DE ALTAS DENSIDADES**

**HUMBERTO RAMÍREZ GÓMEZ**

**T E S I S**

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

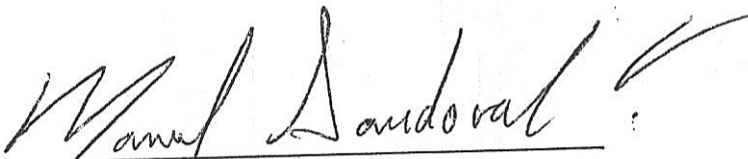
MONTECILLO, TÉXCOCO, EDO. MÉXICO

2011


La presente tesis titulada: **SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE FRESA DE ALTAS DENSIDADES**, realizada por el alumno: **HUMBERTO RAMÍREZ GÓMEZ**, 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  
EDAFOLOGÍA**

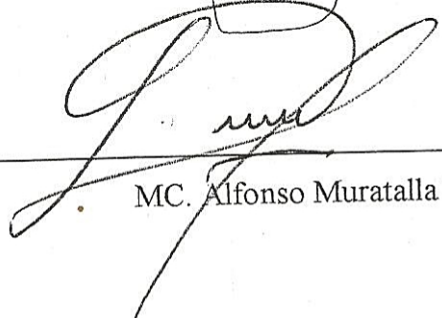
**CONSEJO PARTICULAR**

CONSEJERO: 

Dr. Manuel Sandoval Villa

ASESOR: 

Dr. José Alfredo Carrillo Salazar

ASESOR: 

MC. Alfonso Muratalla Lúa

Montecillo, Texcoco, Edo. México, septiembrede 2011

# SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE FRESA DE ALTAS DENSIDADES

Humberto Ramírez Gómez, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2011

En México se produce fresa con alta tecnología pero existe escasa investigación sobre la productividad de la fresa en sistemas hidropónicos con altas densidades. El presente estudio se realizó con la finalidad de evaluar la fisiología, rendimiento, calidad y rentabilidad de la fresa de altas densidades en cuatro sistemas hidropónicos. Los tratamientos estudiados fueron: bolsas individuales (BI), vertical con tres tubos (V3T), vertical con cuatro tubos (V4T) y vertical con macetas hidropónicas (VMH) de 42, 90, 120 y 180 plantas por módulo respectivamente. El experimento se llevó a cabo en un invernadero tipo túnel en el Colegio de Postgraduados, en Montecillo Estado de México. Para conducir el estudio los tratamientos se alojaron en un diseño experimental de bloques completamente al azar con tres repeticiones. Se utilizaron plantas de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) del cultivar Camino real de fotoperiodo corto obtenidas en Irapuato, Guanajuato, regadas por goteo y cultivadas en tezontle rojo (diámetro menor a 1 cm) como sustrato para el sostén de las plantas. Para la nutrición mineral se utilizó la solución nutritiva universal de Steiner al 50% de su composición normal ajustando cada semana el pH entre 5.8 y 6.0 con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Las variables fisiológicas y ambientales evaluadas fueron: lecturas SPAD, fluorescencia de clorofila, irradiancia fotosintética incidente, temperatura de hoja y sustrato. Se registró el rendimiento de fruto acumulado de los sistemas hidropónicos. Dentro de las variables de calidad fueron evaluados: °Brix, tamaño y grados de calidad de la fruta. Mediante indicadores económicos se determinó en qué sistema hidropónico es más rentable la producción de fresa. En las lecturas SPAD no se encontraron diferencias significativas de todas las lecturas realizadas en los tratamientos. Las temperaturas bajas y heladas intensas afectaron la función del fotosistema II de los tratamientos en la primera fecha de lectura (8 de diciembre de 2010), porque se observaron diferencias significativas para fluorescencia de clorofila entre los tratamientos. El sistema vertical con cuatro tubos presentó los máximos valores de los parámetros de fluorescencia de clorofila. El sistema de bolsas individuales registró la mayor cantidad de irradiancia fotosintética media incidente (117.10 W m<sup>-2</sup>) debido a que no tuvo efecto de auto-sombra. Al aumentar la altura de la planta en los sistemas hidropónicos se incrementó la temperatura de hoja y sustrato con correlación significativa ( $R^2 = 0.67$  hoja y  $R^2 = 0.60$  sustrato). Se concluyó que a mayor número de plantas por unidad de superficie, mayor rendimiento acumulado y el mejor tratamiento fue el sistema vertical con macetas hidropónicas. Conforme aumentó la altura de los sistemas también se incrementaron los grados Brix en fruto;  $R^2 = 0.75$ . Asimismo, se encontró una correlación entre la temperatura de la hoja y el porcentaje de °Brix ( $R^2 = 0.83$ ). Con los sistemas vertical con cuatro tubos y vertical con macetas hidropónicas se obtuvieron frutos de mejor calidad (tamaño y grados de calidad). El sistema vertical con macetas hidropónicas resultó ser más rentable para la producción de fresa.

**Palabras clave:** *Fragaria x ananassa* Duch; sistemas hidropónicos; variables fisiológicas; rendimiento; calidad y rentabilidad.

# PRODUCTION SYSTEMS OF STRAWBERRY AT HIGH DENSITIES

Humberto Ramírez Gómez, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2011

In Mexico strawberry production systems produces strawberry with high-tech, but there is little research on the productivity of strawberries in hydroponic systems with high density. The present study was conducted with the objective of assessing the physiology, yield, quality and profitability of strawberry at high densities in four hydroponic systems. The systems studied were: individual bags (IB), vertical with three pipes (V3T), vertical with four pipes (V4T) and vertical with hydroponic pots (VMH) 42, 90, 120 and 180 plants by module, respectively. The experiment was carried out in a greenhouse type tunnel in the Colegio de Postgraduados, Montecillo, Mexico State. To conduct the study treatments were arranged in an experimental design of blocks completely randomly with three replications. We utilized strawberry plants (*Fragaria x ananassa* Duch.) cultivar “Camino real” of short photoperiod from Irapuato, Guanajuato, Mexico. Drip irrigation and red volcano gravel (less than 1 cm diameter) as a substrate to support plants were used. Mineral nutrition was provided by using the Steiner universal nutrient solution at 50% of its original ion strength and pH was weekly adjusted between 5.8 and 6.0 with H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. The physiological variables assessed were: SPAD readings, fluorescence of chlorophyll, photosynthetic incident irradiance, temperature of leaves and substrate. The cumulative yield of hydroponic systems was registered. Quality variables evaluated were: °Brix, size and degree of quality of fruit. Through economic indicators were used to find which hydroponic system was more profitable for the production of strawberry. There were no significant differences for SPAD readings through season. Low temperatures and intense frosts affected the photosystem II in the first reading carried out (December 8<sup>th</sup>, 2010); because significant differences were observed for fluorescence of chlorophyll among treatments. The vertical system with four pipes presented the maximum chlorophyll fluorescence parameters. The system of individual bags recorded the greatest incident photosynthetic irradiance (117.10 W m<sup>-2</sup>), since this had no auto-shadow effect. As height of the hydroponic systems increased so did leaf temperature and substrate with significant correlation ( $R^2 = 0.67$  and  $R^2 = 0.60$ , respectively). It was concluded that as the number of plants increases also did cumulative yield; being the vertical system with hydroponic pots the best of all. Fruit located high in a system had greater °Brix in fruit;  $R^2 = 0.75$ . We also found a correlation between leaf temperature and °Brix with an  $R^2 = 0.83$ . With vertical system with four tubes and vertical with hydroponic pots systems fruits reached better quality (size and degrees of quality). The vertical system with hydroponic pots turned out to be more profitable for the production of strawberry.

**Key words:** *Fragaria x ananassa* Duch; hydroponic systems; physiological variables; yield; quality and profitability.

## AGRADECIMIENTOS

A ti **Jesús**, mi mejor amigo, fiel, manso, humilde, sabio, bueno. Gracias por estar conmigo en momentos de angustia y de lucha; gracias por depositarme el gozo que anhelaba mi corazón. Gracias por tu perdón, por tu misericordia, por tu gracia, por tu favor, por tu amor infinito y por aceptarme de nuevo tal y como soy. Estar cerca de ti es lo que anhela mi alma, te pido mi amigo que no me sueltes jamás, por favor. Gracias por ser el ejemplo claro y vivo, te amo mi Dios...

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología**, por el apoyo económico para concluir mis estudios de postgrado.

Al **Colegio de Postgraduados y al programa de Edafología (Nutrición Vegetal)**, por darme la oportunidad de estudiar en una institución de excelencia y calidad.

A mi consejero **Dr. Manuel Sandoval Villa**, por ser un gran ser humano, gracias por permitirme conocerlo como amigo. Gracias por su calidad profesional y por su motivación para poder concluir este trabajo. Mil gracias...

Al **Dr. José Alfredo Carrillo Salazar**, por las sugerencias y dedicación que enriquecieron este trabajo. Muchas gracias...

Al **M.C. Alfonso Muratalla Lúa**, por su amistad, por su sencillez y dedicación a este trabajo. Gracias por su calidad humana.

A **mis amigos (as)**: Aarón León, Aracely Gastellum, Carolina Vargas, César Tucuch, Daniel Gallegos, Dalila Flores, Diego y familia, Erika Villanueva, Felipe San Juan, Lauro Soto y familia, Luis Pineda, Michelle Martínez, Nadia Jiménez, Pablo Juárez y familia, Ramiro Maldonado... *“La verdadera amistad es como la fosforescencia, resplandece mejor cuando todo se ha oscurecido”*. Rabindranath Tagore (1861-1941) Filósofo y escritor indio.

---

## DEDICATORIA

### *Especialmente a mi familia:*

*A mis padres: Nicolás Ramírez Gómez y Andrea Gómez Hernández; gracias papá por instruirme, gracias mamá por dirigirme al camino correcto que es hacia Jesús. Gracias a ustedes por enseñarme los valores, principios, el esfuerzo para alcanzar las metas, el trabajo y la constancia. Los amo con todo mi corazón...*

*A mis hermanos: Francisco Javier. Gracias por ser el ejemplo a seguir, por tu apoyo incondicional y por ser una bendición a mi vida. Más que un hermano eres un amigo para mí: noble, sencillo, humilde y esforzado. Luis Jacobo, Jesús y Santos. Gracias por su confianza, su amor, y por estar conmigo cuando los necesitaba. Dejen que Dios toque sus corazones para que puedan ver la buena voluntad que tiene para ustedes. Dios los bendiga.*

*A mis angelitos: Lupita, Paquito, Miky, Lizeth y a la bebé. Ustedes son los seres más lindos enviados por Dios, que llegaron en el momento justo para alegrar nuestras vidas. Dios mío esta nueva generación será esforzado, valiente y temeroso de ti, amén.*

*Así también, a María y a Patricia, por ser las compañeras de mis hermanos: Javier y Jacobo, que trajeron felicidad y amor a sus vidas.*

<sup>3</sup> Si clamares a la inteligencia, Y a la prudencia dieres tu voz; <sup>4</sup> Si como a la plata la buscarés, Y la escudriñares como a tesoros, <sup>5</sup> Entonces entenderás el temor de Jehová, Y hallarás el conocimiento de Dios. <sup>6</sup> Porque Jehová da la sabiduría, Y de su boca viene el conocimiento y la inteligencia... <sup>13</sup> Bienaventurado el hombre que halla la sabiduría, Y que obtiene la inteligencia.

*Proverbios 2:3-6; 3:13*

---

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Página</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....	2
2.1. Producción mundial y nacional de la fresa.....	2
2.2. Indicadores fisiológicos.....	2
2.2.1. Aspectos fisiológicos de la fresa .....	2
2.2.2. Fluorescencia de clorofila.....	3
2.2.3. Lecturas SPAD.....	4
2.2.4. Irradiancia fotosintética .....	5
2.3. Nutrición mineral de la fresa .....	5
2.4. Sistema vertical de cultivos hidropónicos de la fresa.....	7
2.5. Desórdenes fisiológicos en la fruta.....	7
2.6. Indicadores de calidad de fruto.....	8
2.7. Nivel tecnológico para la producción de fresa .....	10
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	12
3.1. Objetivo General.....	12
3.2. Objetivos Particulares.....	12
<b>4. HIPÓTESIS</b> .....	12
4.1. Hipótesis General .....	12
4.2. Hipótesis Particulares .....	12
<b>5. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	13
5.1. Localización.....	13
5.2. Material Vegetal .....	13
5.3. Riego y Sustrato.....	13
5.4. Diseño Experimental .....	13
5.5. Indicadores Fisiológicos.....	15
5.5.1. Lecturas SPAD.....	15
5.5.2. Fluorescencia de clorofila de hojas.....	16
5.5.3. Temperatura de hoja y sustrato (°C).....	17
5.5.4. Irradiancia fotosintética incidente ( $W m^{-2}$ ).....	17

5.6.	Indicadores Agronómicos.....	17
5.6.1.	Rendimiento acumulado ( $\text{g m}^{-2}$ ) .....	17
5.7.	Indicadores de Calidad de Fruta .....	17
5.7.1.	Tamaño de la fruta .....	17
5.7.2.	Grados de calidad de la fruta .....	18
5.7.3.	Grados Brix.....	19
5.8.	Rentabilidad de los Sistemas Hidropónicos .....	19
5.8.1.	Indicadores económicos.....	19
5.8.2.	Periodo de recuperación (PR).....	20
5.8.3.	Valor actual neto (VAN).....	20
5.8.4.	Tasa interna de retorno (TIR) .....	20
5.8.5.	Relación beneficio costo (B/C).....	21
5.9.	Variables Micrometeorológicas dentro del Invernadero .....	21
5.9.1.	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) y humedad relativa del aire (%).....	21
5.10.	Análisis Estadístico.....	21
<b>6.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>22</b>
6.1.	Indicadores Fisiológicos .....	22
6.1.1.	Lecturas SPAD.....	22
6.1.2.	Variables relacionadas con la fluorescencia de clorofila .....	22
6.1.2.1.	Variables micrometeorológicas dentro del invernadero .....	22
6.1.2.2.	Parámetros de fluorescencia de clorofila.....	23
6.1.3.	Irradiancia fotosintética media incidente .....	26
6.1.4.	Temperatura de la hoja y sustrato .....	27
6.2.	Indicadores Agronómicos.....	29
6.2.1.	Rendimiento acumulado ( $\text{g/m}^{-2}$ ) .....	29
6.3.	Indicadores de Calidad .....	30
6.3.1.	Grados Brix (%).....	30
6.3.2.	Total de frutos y su clasificación por tamaño .....	32
6.3.3.	Total de frutos y su clasificación por grados de calidad.....	33
6.4.	Evaluación Económica de los Sistemas Hidropónicos.....	33
6.4.1.	Periodo de recuperación.....	33



6.4.2. Valor actual neto, tasa interna de retorno y relación beneficio/costo .....	34
<b>7. CONCLUSIONES</b> .....	<b>36</b>
<b>8. LITERATURA CITADA</b> .....	<b>37</b>
<b>9. APÉNDICE A</b> .....	<b>45</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
<b>Figura 1.</b> Distribución de los tratamientos dentro de cada bloque.....	13
<b>Figura 2.</b> Sistemas de producción de fresa de altas densidades. <b>(a)</b> bolsas individuales (BI); <b>(b)</b> vertical con tres tubos (V3T); <b>(c)</b> vertical con cuatro tubos (V4T) y <b>(d)</b> vertical con macetas hidropónicas (VMH).....	14
<b>Figura 3.</b> Principio de la fluorescencia de clorofila con el Handy PEA (Hansatech Instruments, Reino Unido).....	16
<b>Figura 4.</b> Medición de la fruta en su diámetro ecuatorial con el vernier TRUPER digital estándar y milimétrico de 6" (150 mm).....	18
<b>Figura 5.</b> Variables relacionadas con la fluorescencia de clorofila de las plantas de los tratamientos: BI: bolsas individuales; V3T: vertical con tres tubos; VMH: vertical con macetas hidropónicas; V4T: vertical con cuatro tubos. Medias con letra(s) distinta(s) son estadísticamente diferentes (Tukey $P \leq 0.05$ ). ns: no significancia.....	25
<b>Figura 6.</b> Relación entre la altura sobre la superficie del suelo y la temperatura de hoja de plantas de fresa cultivadas en diferentes sistemas hidropónicos en un invernadero, en Montecillo, Texcoco, México. 2011.....	28
<b>Figura 7.</b> Relación entre la altura sobre la superficie del suelo y la temperatura de sustrato en plantas de fresa cultivadas en diferentes sistemas hidropónicos en un invernadero, en Montecillo, Texcoco, México. 2011.....	28
<b>Figura 8.</b> Rendimiento acumulado ( $\text{g m}^{-2}$ ) de los sistemas hidropónicos para la producción de fresa. Medias con letra(s) distinta(s) son estadísticamente diferentes (Tukey $P \leq 0.05$ ).....	29
<b>Figura 9.</b> Relación entre la altura sobre la superficie del suelo y los grados Brix en plantas de fresa cultivadas en diferentes sistemas hidropónicos en un invernadero, en Montecillo, Texcoco, México. 2011.....	31
<b>Figura 10.</b> Relación entre la temperatura de hoja y °Brix (%) en los niveles de los sistemas hidropónicos en plantas de fresa cultivadas en un invernadero, en Montecillo, Texcoco, México. 2011.....	31

## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
<b>Cuadro 1.</b> Rangos de suficiencia nutrimental en hojas recientemente maduras de fresa (Ellis <i>et al</i> , 2006).....	6
<b>Cuadro 2.</b> Clasificación de invernaderos según su nivel tecnológico (Bastida, 2008).....	10
<b>Cuadro 3.</b> Descripción de tratamientos o sistemas hidropónicos para la producción de fresa.....	15
<b>Cuadro 4.</b> Tamaño de los frutos según la Norma NMX-FF-062-SCFI-2002 para productos alimenticios no industrializados para consumo humano - fruta fresca - fresa ( <i>Fragaria x ananassa</i> Duch.).....	18
<b>Cuadro 5.</b> Grados de calidad según la Norma NMX-FF-062-SCFI-2002, para fresa.....	19
<b>Cuadro 6.</b> Agrupación de medias de lecturas SPAD en los tratamientos.....	22
<b>Cuadro 7.</b> Irradiancia fotosintética media incidente en los tratamientos.....	26
<b>Cuadro 8.</b> Irradiancia fotosintética incidente media a diferentes niveles sobre la superficie del suelo.....	26
<b>Cuadro 9.</b> Total de frutos de fresa por m <sup>2</sup> clasificados por tamaño de acuerdo con la norma NMX-FF-062-SCFI-2002 en los tratamientos.....	32
<b>Cuadro 10.</b> Total de frutos de fresa por m <sup>2</sup> clasificados por calidad de acuerdo con la norma NMX-FF-062-SCFI-2002 en los tratamientos.....	33
<b>Cuadro 11.</b> Periodo de recuperación de los sistemas hidropónicos para la producción de fresa en invernadero, en Montecillo, Texcoco, México. 2011.....	34
<b>Cuadro 12.</b> Indicadores económicos en los sistemas hidropónicos para la producción de fresa en invernadero, en Montecillo, Texcoco, México. 2011.....	35

## 1. INTRODUCCIÓN

La fresa es una fuente de vitaminas y minerales y tiene agradable aroma y sabor. Es una de las frutas de baya (berries) más valoradas (Kumar y Dey, 2011) y consumidas en el mundo (Tulipani *et al.*, 2011). Además, es una de las frutas más populares y con mayor demanda a nivel mundial (Ojeda *et al.*, 2008). El tamaño, la forma, el color, la firmeza, la acidez, la dulzura y el sabor hace que la fresa sea una de las frutas más populares y consumidas en primavera (Roussos, 2009). La exportación de frutos de fresa es una fuente de divisas importante para México, cuyo principal productor es Michoacán (Martínez *et al.*, 2008). La fresa en Michoacán es un cultivo que demanda, por la delicadeza del proceso del cultivo incluyendo cosecha y empaque, un gran trabajo humano. Esta demanda enorme de mano de obra obliga a los productores a buscar medios y tecnologías para reducir costos de mano de obra y producción. En los últimos años se ha registrado baja rentabilidad del cultivo, y la pérdida de más de mil jornales anuales por cada hectárea que se dejan de cultivar (Berdegué y Sanclemente, 2007).

En México se requieren cultivares más económicos, productivos y con mayor calidad de frutos (Barrera y Sánchez, 2003). Actualmente en México se produce fresa con alta tecnología. Sin embargo, son pocas las unidades comerciales en donde se cultive con sistemas de producción hidropónicos de alta densidad (López *et al.*, 2005). El cultivo hidropónico permite a los agricultores controlar fácilmente el suministro de nutrientes, mediante el ajuste de la concentración de la solución nutritiva (Caruso *et al.*, 2011). Recientemente, se han llevado a cabo numerosas investigaciones a nivel mundial para mejorar la productividad de fresas en invernadero en sistemas hidropónicos (Al-Raisy *et al.*, 2010). Las fresas en tales condiciones consumen menos agua, requieren pocas aplicaciones de herbicidas, la fruta se mantiene limpia, aumenta su tamaño, incrementa el rendimiento, y mejora su precocidad y calidad (Yuan y Sun, 2004).

Por eso, es necesario buscar alternativas que permitan que los cultivares sean más productivos y con mayor calidad, sanidad e inocuidad de los frutos. El objetivo de esta investigación fue comparar cuatro sistemas hidropónicos para la producción de fresa de altas densidades y determinar en qué condición las plantas se desarrollaban mejor, se obtienen mayores rendimientos, mejor calidad y demostrar en qué sistema es más rentable.

## **2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Producción mundial y nacional de la fresa**

La fresa representa un importante cultivo comercial con áreas de siembra cada vez mayores en el mundo y su consumo va en aumento (Keutgen y Pawelzik, 2008). La fresa se cultiva en más de 60 países del mundo; el principal productor es Estados Unidos con un millón 115 mil t al año; le siguen Rusia (324 mil t) y España (263 mil 900 t). México ocupa el noveno lugar, con 160 mil t. España es la nación que encabeza la lista de exportadores de fresa en el mundo, con 207 mil 974 t; seguida de Estados Unidos (103 mil 953 t); y México, con un total de 70 mil 970 t al año (Santoyo y Martínez, 2010).

México registró en 2009 una superficie cosechada de fresa de 6 678. 20 ha, se obtuvo una producción de 233 041.30 t, por lo que alcanzó un rendimiento promedio de 34.9 t ha<sup>-1</sup> (SAGARPA-SIAP, 2009). Aunque son varios los estados productores de fresa en México, solamente tres tienen producción significativa: Michoacán, Baja California y Guanajuato.

El cultivo de la fresa es el segundo en importancia económica entre las frutas que se cultivan en Michoacán. La fresa es un cultivo estratégico en el estado de Michoacán, ya que es generador de empleos y de divisas (SEDAGRO, 2005). En el año 2009 el estado de Michoacán se ubicó en primer lugar con una producción de 114 784.00 t, con un rendimiento promedio de 32.23 t ha<sup>-1</sup>. Baja California alcanzó el segundo sitio con una producción de 82 087.60 t, con un rendimiento promedio de 53.20 t ha<sup>-1</sup>. Y el tercer lugar fue para el estado de Guanajuato con 20 527.30 t, con un rendimiento promedio de 19.99 t ha<sup>-1</sup>.

### **2.2. Indicadores fisiológicos**

#### **2.2.1. Aspectos fisiológicos de la fresa**

La fresa es una especie de tipo fotosintético C<sub>3</sub>. El nombre de fotosíntesis C<sub>3</sub> se deriva a que el primer producto estable formado en la fase oscura de la fotosíntesis es un compuesto de tres carbonos. Las plantas que utilizan esta vía fotosintética absorben el dióxido de carbono por medio de estomas durante el día y lo utilizan en la fase oscura para formar glucosa. Las plantas con este tipo de metabolismo fotosíntesis desarrollan mejor bajo condiciones frías, dado que la

temperatura óptima para la fotosíntesis es relativamente baja (Gliessman, 2002). Durante periodos de calor y sequía es afectada la tasa fotosintética debido al cierre parcial de estomas para impedir la pérdida de vapor de agua, pero al mismo tiempo se limita la captura de dióxido de carbono y aumenta la fotorespiración.

La tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> en *Fragaria x ananassa* Duch. Es de 15 a 25  $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$  en campo (Hancock *et al.*, 1989). En cambio, es baja para un progenitor (*Fragaria virginiana*, 7-15  $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ ) y alta para otro de los progenitores *Fragaria chiloensis*, (20-30  $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ ) de la fresa comercial, aunque las tres especies no se han comparado en un ambiente común (Cameron y Hartley, 1990).

La respiración celular y la fotosíntesis se encuentran en estrecha interconexión. En tanto la fotosíntesis es el punto de captura de energía para las plantas y de casi la totalidad de los seres vivos, la respiración es los sistemas mediante el cual todos los seres vivos consumen la energía almacenada en los enlaces químicos. Por ello, para que las plantas puedan crecer la fotosíntesis debe exceder la velocidad de la respiración (Curtis *et al.*, 2006).

La tasa respiratoria de la planta y sus órganos puede ser afectada por diversos factores, entre los que están las especies y el hábitat de crecimiento, el tipo y la edad del órgano en concreto y variaciones ambientales tales como la concentración externa de oxígeno, temperatura, nutrientes y disponibilidad de agua (Taiz y Zeiger, 2006).

### **2.2.2. Fluorescencia de clorofila**

La medición de la fluorescencia de la clorofila se considerada una herramienta útil para distinguir los efectos estomáticos y no estomáticos en la limitación de la fotosíntesis (Maxwell y Jonhson, 2000). La fluorescencia de clorofila es la producción de luz que acompaña a la disminución rápida de la energía de los electrones que se encuentran en estado excitado de la clorofila (Pérez *et al.*, 2007).

La medición de la fluorescencia de clorofila es una de las técnicas más recientes para evaluar el efecto de una variable independiente estresante en la actividad fisiológica de la planta, en la eficiencia del funcionamiento del fotosistema II (DeEll y Toivonen, 2003; Ledent, 2002). El estrés puede ser físico o químico como son temperatura alta, heladas, sequía, cambios en la

intensidad luminosa, salinidad, deficiencias nutricionales, presencia de metales pesados, detergentes, herbicidas y ozono entre otros, estos factores afectan directa o indirectamente la función del fotosistema II y esto modifica la magnitud de la emisión de la fluorescencia (González *et al.*, 2008). Algunos de los factores más comunes, sobre todo en el trópico, que producen estrés en las plantas (por deficiencia o exceso) son el nitrógeno y la irradiancia lumínica. El estrés lumínico no resulta de una intensa irradiancia por sí misma, sino más bien de una absorción excesiva de luz en comparación con la utilizada en la fotosíntesis. Si tanto los límites de tolerancia como la capacidad adaptativa son excedidos, el estrés puede ocasionar daños permanentes e incluso la muerte de la planta (Peña, 2004). La exposición de las plantas a altos niveles de irradiancia, mayores a las del punto de saturación lumínica, produce varios efectos, incluyendo la adaptación del aparato fotosintético, conocidas como plantas resistentes al sol, las cuales exhiben características adaptativas tales como, la depoxidación de violaxantina a zeaxantina, el incremento en la emisión de calor y la fotoinhibición del aparato fotosintético (Cechin y De Fátima, 2004).

### **2.2.3. Lecturas SPAD**

Los métodos no destructivos de diagnóstico nutrimental son la alternativa a los métodos convencionales ya que nos permiten conocer el estado nutrimental del cultivo instantáneamente. Si se conoce el estado nutrimental, se pueden hacer correcciones en tiempo real del déficit nutricional de las plantas. Uno de estos métodos considera la correlación entre el contenido de nitrógeno (Scharf *et al.*, 2006) y lecturas de un instrumento portátil llamado SPAD 502 Minolta (Soil-Plant Analysis Development). Este equipo cuantifica la intensidad del color verde de las hojas (Pagani *et al.*, 2010) mediante la medición de la luz transmitida por la hoja a 650 nm y 949 nm de longitud de onda. Es decir, calcula indirectamente, a través de un índice de verdor, la concentración de clorofila ya que el nitrógeno es constituyente de la molécula de clorofila.

Las lecturas SPAD se basan en el principio de que parte de la luz que llega a la hoja es absorbida por la clorofila y el resto que se refleja entra en contacto con la celda detectora del SPAD y es convertida en una señal eléctrica.

La cantidad de luz captada por la celda es inversamente proporcional a la cantidad de luz utilizada por la clorofila, la señal es procesada, y la absorbancia es cuantificada en valores

adimensionales que van de 0 a 199, sin embargo, valores por arriba de 60 no son confiables (Rodríguez, 2005).

#### **2.2.4. Irradiancia fotosintética**

En las plantas, la máxima fijación de CO<sub>2</sub> es al mediodía (sin condiciones limitantes), cuando la irradiancia está en su punto más elevado, pero disminuye durante el día cuando las plantas se exponen a sombra de corta duración producida por nubes. La irradiancia total del sol incidente sobre la atmósfera terrestre es 1,360 W m<sup>-2</sup> (constante solar), en longitudes de onda entre 0.15 a 4 µm, que incluye las bandas ultravioleta e infrarrojo. Este valor varía aproximadamente ±2 %, debido a la órbita un tanto elíptica de la Tierra. La energía solar disminuye cuando atraviesa la atmósfera por absorción y dispersión producidas por vapor de agua, polvo, CO<sub>2</sub> y ozono, y sólo 900 W m<sup>-2</sup> inciden sobre las plantas, dependiendo de la hora del día, la época del año, la elevación, la latitud, las condiciones atmosféricas y otros factores (Salisbury y Ross, 2000). Pero no sólo cambia la cantidad de radiación, sino que la atmósfera absorbe selectivamente ciertas longitudes de onda, particularmente en el ultravioleta, por lo que la radiación total que incide sobre el dosel de los cultivos tiene un intervalo de longitud de onda de 0.380 a 4.00 µm; para la fotosíntesis las plantas utilizan solo la radiación de 0.400 a 0.700 µm, definida como la radiación fotosintéticamente activa (RFA), y corresponde aproximadamente a 48% de la radiación solar total incidente (Nobel, 1991; Jones, 1992).

Las cubiertas plásticas o de vidrio utilizada en la agricultura protegida reduce la intensidad de radiación solar que penetra en el invernadero; el nivel de reducción depende del tipo de cubierta (generalmente plástico), edad y limpieza del mismo. La cubierta del invernadero modifica la cantidad y calidad de la radiación solar, por lo tanto, influye en el microclima en el interior y con ello en la respuesta de los cultivos (Muñoz, 2008).

### **2.3. Nutrición mineral de la fresa**

Los suministros de agua para las fresas hidropónicas tienen que ser de buena calidad. Las fresas son intolerantes a niveles altos de sodio en el agua. Niveles superiores a 50 mg L<sup>-1</sup> (partes por millón; ppm) de sodio reducen el rendimiento y la salud de plantas. pH de 5.5 a 5.8 es ideal para fresas en hidroponía (Peckenpaugh, 2004).



El nitrógeno (N) es el nutrimento más importante sobre el rendimiento y calidad de la fresa; el manejo de la fertilización es de vital importancia (Güler *et al.*, 2006). La fuente de N modifica el crecimiento, rendimiento, calidad de la fruta, y composición química de los tejidos de la planta de fresa, entre otras plantas (Tabatabaei *et al.*, 2008). En hidroponía normalmente se utiliza NO<sub>3</sub> para suministrar N, pero se ha visto que al aplicarlo en pequeños porcentajes de nitrato de amonio a la solución nutritiva, particularmente bajo condiciones de poca luz, beneficia en el crecimiento y rendimientos de las fresas hidropónicas (Morgan, 2005).

El fósforo (P) es importante en el cultivo de fresa, ya que fortalece el sistema radicular, previene el achaparramiento de la planta y coadyuva a la obtención de un rendimiento óptimo (Martínez y León, 2004).

Las fresas requieren de altos niveles de potasio para un buen tamaño, sabor, rendimiento y calidad de conservación de la fruta. Cuando la fruta está en desarrollo en la planta, se recomienda una relación K/N de 1 a 4. En general, una conductividad eléctrica (CE) de 2.0 a 3.0 mS cm<sup>-1</sup> en verano y 2.5 a 3.0 mS cm<sup>-1</sup> en invierno asegura un buen rendimiento y fruta de alta calidad (Morgan, 2000).

Las plantas de fresa con frecuencia muestran deficiencia de Ca. Los síntomas de deficiencia comienzan en las hojas en donde se observan quemaduras en bordes y ápice. La deficiencia severa produce hojas amarillentas y abscisión.

Las plantas cultivadas en condiciones de baja temperatura son susceptibles a la deficiencia de hierro, que se traduce en clorosis de las hojas una vez que los niveles foliares caen por debajo de 30 mg L<sup>-1</sup>. El rendimiento y el número de frutos por planta y el cuajado se afectan por la deficiencia de hierro.

**Cuadro 1.** Rangos de suficiencia nutrimental en hojas recientemente maduras de fresa (Ellis *et al.*, 2006).

Macronutrientes (%)					
N	P	K	Ca	Mg	S
3.0 - 4.0	0.2 - 0.4	1.1 - 2.5	0.5 - 1.5	0.25 - 0.45	0.15 - 0.40
Micronutrientes (ppm)					
Fe	Mn	Zn	Cu	B	
50 - 300	30 - 300	15 - 60	42064	25 - 50	

#### **2.4. Sistema vertical de cultivos hidropónicos de la fresa**

El cultivo de plantas en columnas verticales se desarrolló en Europa, principalmente en Italia y España (Resh, 2006). Verti-Gro de Florida, USA desarrolló recientemente las macetas Styrofoam diseñado exclusivamente para el cultivo de la fresa en columna para altas densidades. Hoy en día, se cultivan plantas de porte pequeño como lechuga, hierbas y espinaca en estas macetas.

Recientemente, numerosas investigaciones se han llevado a cabo a nivel mundial para mejorar la productividad de fresas en invernadero en sistemas hidropónicos. El sistema vertical de cultivos hidropónicos para cultivos de alto valor comercial se practica en EUA, Japón, Australia e Italia (Al-Raisy *et al.*, 2010), ya que éste contribuye a una mejor utilización de la energía y a un uso más eficiente de los espacios de los invernaderos que resulta en mayores rendimientos por unidad de área (Paraskevopoulou *et al.*, 1995). Las fresas que crecen en tales condiciones reduce el consumo de agua, requieren menos herbicidas, la fruta se mantiene limpia, se aumenta el tamaño de las frutas y el rendimiento y, se gana en precocidad y calidad de la fruta (Yuan y Sun, 2004). Cuando la densidad de las plantas aumenta, es evidente la competencia por la luz y por lo tanto, la planta presenta menor crecimiento (Paranjpe, 2007).

#### **2.5. Desórdenes fisiológicos en la fruta**

**Temperatura.** Temperaturas extremas pueden dañar los órganos florales, interfieren en la formación de polen, reducir la tasa de liberación de polen, así como la viabilidad del polen (Strand, 2008). Altas temperaturas (24 – 32 °C) reducen la formación de flores de fresa y la calidad de la fruta (Klamkowski y Treder, 2008). Es conocido que las altas temperaturas reducen el tamaño y peso de los frutos de fresa, pero existe información insuficiente sobre diferentes cultivares en la respuesta al estrés por alta temperatura durante la etapa reproductiva hasta la inflorescencia (Ledesma *et al.*, 2008).

Aunque las hojas de la fresa resisten el frío invernal, las flores pueden dañarse principalmente las que se encuentran cerca del suelo donde la temperatura es más baja. La temperatura óptima de crecimiento de la fresa es entre 10 y 26 °C (Ledesma *et al.*, 2004). Por su parte, Benton (2005) menciona que la temperatura del aire óptima para el crecimiento de las fresas es entre 18 y 25 °C, mientras que las temperaturas del aire por encima de los 30 °C, tanto en la zona de la raíz y

el medio ambiente aéreo, tienden a reducir severamente el crecimiento de plantas y la producción.

**Deficiencia de boro y calcio.** La deficiencia de boro puede interferir en el proceso de la polinización y como resultado la malformación de las frutas. Incluso las prácticas culturales, tales como la aplicación de fungicidas y otros productos químicos, puede inhibir la germinación del polen y producir frutas deformes. La aplicación foliar de calcio y boro durante la precosecha, reduce la incidencia de desórdenes fisiológicos, como el albinismo, malformación del fruto y las enfermedades; y por lo tanto, aumentan el rendimiento de frutos comerciales y la firmeza (Singh *et al.*, 2007).

**Humedad relativa.** Con alta humedad relativa dentro del invernadero se interrumpe la autopolinización debido a que los granos de polen se apelmazan (Muñoz *et al.*, 2005). En jitomate producido en condiciones protegidas se ha visto que la polinización se dificulta en invierno y durante largos periodos húmedos y nublados (Muñoz, 2008). Asimismo, la ausencia de movimiento de la flor genera una pobre polinización. La humedad relativa no debe sobrepasar 94 % para que se lleve a cabo una buena polinización en el cultivo de fresa (Pérez, 1979).

## **2.6. Indicadores de calidad de fruto**

La fresa es una fruta no climatérica y debe ser cosechada en plena madurez para lograr la máxima calidad en relación con el sabor y color (Cordenunsi *et al.*, 2003). Se cosechan cuando la fruta toma color rosa (3/4 de maduración) o verde (1/2 de maduración) esto con el fin de evitar pérdidas de postcosecha. La cosecha y postcosecha son algunos de los factores que pueden conducir cambios en la calidad sensorial y nutricional de fruto de fresa (Pineli *et al.*, 2011). La calidad de la fresa es el resultado del manejo de factores presentes en precosecha (cultivar, suministro de nutrimentos, temperatura, luminosidad, polinización), cosecha (estado de desarrollo, hora de cosecha) y postcosecha (manejo en frigoríficos, humedad relativa, almacenamiento), los cuales influyen en la conservación de la calidad del fruto (Juárez *et al.*, 2007).

El genotipo y las condiciones ambientales influyen en las características físicas y químicas de las fresas (Pinto *et al.*, 2008). Las fresas son conocidos por sus altos niveles de micronutrientes y compuestos fitoquímicos (Tulipani *et al.*, 2008). La calidad de la fresa en el mercado se centra en

las cualidades físicas, tales como tamaño, color, firmeza, acidez, dulzura y aroma (Azodanlou *et al.*, 2003).

**Color.** Las antocianinas son los principales compuestos que contribuyen al color rojo brillante de la fresa (Bodelón *et al.*, 2010) y están asociadas con una fuerte actividad antioxidante (Wang y Lin, 2000). El color y la apariencia son los aspectos críticos de calidad para los compradores a la hora de seleccionar las frutas y hortalizas frescas (Ragaert *et al.*, 2004). El atractivo color rojo de jugo de fresa es una propiedad de valor comercial (Rodrigo, *at al.*, 2007).

**Grados Brix.** Los azúcares principales en el fruto de fresa son sacarosa, glucosa y fructosa, que representa más del 99 % del total de los azúcares de las frutas maduras (Strum *et al.*, 2003). También, en las frutas de fresa están presentes la ribosa, arabinosa, xilosa, manosa y galactosa (Ojeda *et al.*, 2008).

**Acidez titulable.** El ácido cítrico es el ácido orgánico principal en el fruto de la fresa y el ácido ascórbico es la forma predominante de la vitamina C (Lee y Kader, 2000), su concentración varía entre 9.15 y 20.27 g kg<sup>-1</sup> en la etapa madura del fruto (Cordenunsi *et al.*, 2002; Kafkas y Paydaş, 2007). La concentración de ácido ascórbico es generalmente más alta en frutos maduros (Olsson *et al.*, 2004). Kafkas *et al.*, (2007) añaden que la acumulación de ácidos orgánicos, ácido ascórbico y azúcares solubles depende de los genotipos. Las fresas son aceptables con un contenido de sólidos solubles mínimo de 7 grados Brix y una acidez titulable de 0.8 % como máximo (Mitcham *et al.*, 2002).

**Sólidos solubles totales.** Cuando las frutas maduran cambia la concentración de sólidos solubles en el jugo, que en su mayor parte son azúcares (Siller y Báez, 2009). La concentración de sólidos solubles, acidez y color de la fresa son afectados por factores ambientales (Vlachonasios *et al.*, 1995). Temperatura superior a los 25 °C puede reducir los sólidos solubles en la fruta de fresa (Morgan, 2006). Se ha observado que la disminución en los sólidos solubles en el fruto de fresa produce una menor aceptación de los consumidores al producto (Keutgen y Pawelzik, 2007).

**Tamaño.** La disponibilidad de agua, las temperaturas nocturnas y diurnas, y la intensidad de la luz del día están relacionadas con el tamaño del fruto de la fresa (Avgdori-Avidov, 1986).

**Firmeza.** Los consumidores prefieren frutas de alta firmeza con un sabor superior. Se ha demostrado que la firmeza de la fruta de fresa depende de la época de cosecha, variedad y condiciones de crecimiento (Krüger *et al.*, 2002). Así también, la temperatura afecta el rendimiento y calidad de la fruta, particularmente el sabor y la firmeza (Morgan, 2000).

## 2.7. Nivel tecnológico para la producción de fresa

En los últimos años, la agricultura se ha visto afectada por cambios importantes en el clima, como lluvias fuera de temporada, heladas tempranas o tardías que han limitado la producción de fresa y otros cultivos (Vega, 2008). Esto ha originado que los agricultores estén constantemente buscando métodos nuevos y materiales funcionales y económicos, con el único propósito de incrementar la productividad de los cultivos bajo una agricultura protegida que les haga seguir en los mercados de consumidores cada día más exigentes.

**Cuadro 2.** Clasificación de invernaderos según su nivel tecnológico (Bastida, 2008).

Nivel	Manejo	Estructura y equipo
Baja	Manual	Rústica, sin equipo.
Medio	Mecánico	Equipadas con dispositivo mecánico y motores.
Alto	Automatizado	Equipadas con sensores y actuadores automatizados ya sea en suelo o sustrato.
Muy alto	Computarizado	Dispositivos controlados por computadora con programas inteligentes que permiten el control ambiental, uso de CO <sub>2</sub> y agua para calefacción.

Para la producción de fresa en México, existen tres sistemas de nivel tecnológico. Sistema tradicional; con riego rodado y sin uso de cubiertas plásticas. Sistema de producción de mediana tecnología; utilizando riego por goteo con y sin uso de acolchado y sistema de producción de alta tecnología, con riego por goteo, uso de acolchado y macrotúnel (Pimentel, 2008).

De acuerdo con estudios realizados por USDA (United States Department of Agriculture) los costos de producción varían significativamente dependiendo de la región donde se establece el cultivo y el nivel tecnológico utilizado. El costo de producción para establecer una ha de fresas en Michoacán es aproximadamente de 8,695 USD ha<sup>-1</sup> para un productor tradicional; 10,092 a 10,734 USD ha<sup>-1</sup> con tecnología media; y alrededor de 11,560 a 11,927 USD ha<sup>-1</sup> con tecnología

avanzada (Berdegué y Sanclemente, 2007). Mientras que Lundy (2007), menciona que el costo de inversión para un sistema tradicional va de \$90 000 a \$ 180 000 ha<sup>-1</sup>, con un rendimiento variante de 20 a 30 Mg ha<sup>-1</sup> y un costo de producción de 4.50 a 7. 90 \$ kg<sup>-1</sup>. Para el sistema de tecnología intermedia la inversión es de \$130 000 a \$208 874 ha<sup>-1</sup>, con un rendimiento de 40 Mg ha<sup>-1</sup>, con un costo de producción de 3.25 a 5.25 \$ kg<sup>-1</sup> y el sistema de tecnología avanzada el costo es de \$408 607 a \$450 000 ha<sup>-1</sup>, con un rendimiento de 60 a 90 Mg ha<sup>-1</sup> y un costo de producción de 4.54 a 7.50 \$ kg<sup>-1</sup>. Los periodos de producción para el sistema tradicional y de mediana tecnología va de noviembre a mayo, mientras que el sistema de alta tecnología es de noviembre a agosto (Pimentel, 2008).

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo General**

Evaluar la fisiología, rendimiento, calidad y rentabilidad de la fresa en sistemas hidropónicos de altas densidades.

#### **3.2. Objetivos Particulares**

- a) Comparar la actividad fisiológica de la fresa en los sistemas hidropónicos a través de la evaluación de: lecturas SPAD, fluorescencia de clorofila, irradiancia fotosintética incidente, temperatura de hoja y sustrato.
- b) Comparar el rendimiento de la fresa en sistemas hidropónicos de alta densidad.
- c) Evaluar la calidad de los frutos obtenidos en los sistemas hidropónicos de alta densidad mediante la determinación de °Brix, tamaño y grados de calidad de la fresa.
- d) Comparar la rentabilidad de los sistemas hidropónicos de alta densidad.

### **4. HIPÓTESIS**

#### **4.1. Hipótesis General**

El uso de los sistemas hidropónicos vertical con tres y cuatro tubos de PVC incrementa la producción y calidad de fresa.

#### **4.2. Hipótesis Particulares**

- a) Los diferentes sistemas hidropónicos no afectan la actividad fotosintética de la fresa.
- b) A mayor número de plantas por unidad de superficie mayor rendimiento.
- c) Los sistemas hidropónicos verticales con tres y cuatro tubos presentan los frutos de mejor calidad.
- d) El sistema hidropónico vertical con cuatro tubos presenta mayor rentabilidad que los demás sistemas.

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1. Localización

El experimento se llevó a cabo en un invernadero tipo túnel del Colegio de Postgraduados, en el área de Nutrición Vegetal en Montecillo, Texcoco, México. Dicho estudio se llevó a cabo a partir de 15 de octubre de 2010 a 15 de marzo de 2011.

### 5.2. Material Vegetal

El cultivar de fresa estudiado fue Camino Real de fotoperiodo corto adquirida en Irapuato, Guanajuato. Es una planta compacta con poco follaje que permite mayores densidades de plantación. La fruta es de buen sabor, aceptada para mercado en fresco e industrial.

### 5.3. Riego y Sustrato

Se utilizó riego por goteo, en donde cada planta contó con un gotero (riego localizado). Para la nutrición mineral se utilizó la solución nutritiva universal Steiner al 50 % de su concentración original. Cada semana se ajustó el pH entre 5.8 y 6.0 con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Después del trasplante, se aplicaron cinco riegos diarios de 5 minutos cada uno, en intervalos de 1.5 horas. Después se disminuyó a tres riegos diarios con una duración de 6 minutos cuando las plantas ya tenían raíces desarrolladas. Se utilizó tezontle rojo tipo sello como sustrato (diámetro menor de 1 cm).

### 5.4. Diseño Experimental

Las plantas se arreglaron con un diseño experimental de bloques completos con tratamientos aleatorizados con 3 repeticiones. La parcela útil fue el total de plantas de cada tratamiento. Se evaluaron cuatro sistemas hidropónicos de producción de fresa: bolsas individuales (BI), vertical con tres tubos (V3T), vertical con cuatro tubos (V4T) y vertical con macetas hidropónicas (VMH) con 42, 90, 120 y 180 plantas, respectivamente.

BLOQUE I	BLOQUE II	BLOQUE III
BI	VMH	V3T
V3T	V4T	BI
VMH	V3T	V4T
V4T	BI	VMH

**Figura 1.** Distribución de los tratamientos dentro de cada bloque.





**Figura 2.** Sistemas de producción de fresa de altas densidades. **(a)** bolsas individuales (BI); **(b)** vertical con tres tubos (V3T); **(c)** vertical con cuatro tubos (V4T) y **(d)** vertical con macetas hidropónicas (VMH).

**Cuadro 3.** Descripción de tratamientos o sistemas hidropónicos para la producción de fresa.

<b>Sistemas hidropónicos</b>	<b>Descripción</b>
<b>Bolsas individuales (BI)</b>	Para el caso de BI se utilizaron bolsas de polietileno color negro de 35 X 36 cm. Se colocó una planta por bolsa a 30 cm de separación, acomodadas a dos hileras.
<b>Vertical con tres tubos (V3T)</b>	El sistema V3T se constituyó con tres tubos de PVC de 6” de diámetro, con una longitud de 2 m, distribuidas en forma escalonada, separadas a 30 cm y con una pendiente de 1 % que permitió escurrir el exceso de solución. Cada tubo se cortó longitudinalmente de 12 cm de perímetro. Las plantas se colocaron a una separación de 20 cm (10 plantas por tubo). El soporte de este sistema fue una estructura metálica (cuadrado metálico de ¾” calibre 20).
<b>Vertical con cuatro tubos (V4T)</b>	El sistema V4T fue similar al sistema vertical con tres tubos, sólo que con un tubo adicional.
<b>Vertical con macetas hidropónicas (VMH)</b>	En el sistema VMH, se utilizaron cinco macetas de poliestireno con capacidad de 13 L, colocadas una encima de la otra y cambiando su orientación a 45 grados para formar una torre. El trasplante se realizó en las esquinas de cada maceta y así se obtuvieron 20 plantas por torre. Las macetas se perforaron (cuatro orificios) en el fondo para drenar el exceso de solución nutritiva hacia la maceta inmediata inferior. En este sistema se contaba con tres torres por bloque. Para el riego y la nutrición se colocaron 4 goteros en la parte superior de cada torre y 4 en las macetas situadas en el nivel tres, de esta manera la solución nutritiva circulaba en todas las macetas. Las torres estaban separadas a 80 cm de centro a centro.

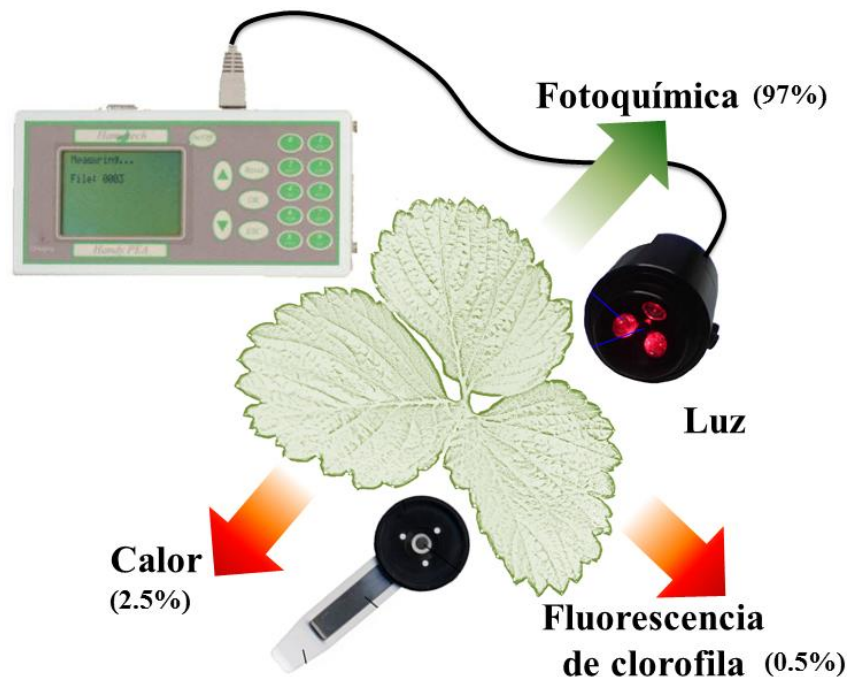
## **5.5. Indicadores Fisiológicos**

### **5.5.1. Lecturas SPAD**

Con el medidor portátil SPAD-502 Minolta, se determinó el índice de verdor de las hojas. La primera medición se realizó 75 días después del trasplante en la época de floración y posteriormente a los 105 y 135 días respectivamente cuando el cultivo se encontraba en etapa de fructificación. En cada fecha de medición se eligió una hoja recientemente madura de ocho plantas por tratamiento; en cada hoja se realizaron tres lecturas SPAD y se calculó el promedio.

### 5.5.2. Fluorescencia de clorofila de hojas

Con un fluorómetro Handy PEA (Hansatech Instruments, Reino Unido) se determinó la fluorescencia de clorofila de 9 folíolos de fresa por tratamiento, de hojas completamente expandidas (hojas recientes). Las pinzas se colocaron en la parte media del folíolo central de la hoja sin incluir las nervaduras primaria y secundaria en el área de medición, para luego cerrarlas y adaptar el área de medición a la oscuridad durante 30 minutos para permitir la oxidación completa de los centros de reacción del fotosistema II. Posteriormente, se emitió un haz luminoso de 650 nm de longitud de onda con una intensidad de  $3000 \mu\text{moles}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  durante un segundo. El equipo registró las siguientes variables:  $F_0$ , nivel de fluorescencia cuando el aceptor de electrones de la plastoquinona está completamente oxidado “valor mínimo”;  $F_m$ , fluorescencia máxima de la clorofila cuando el aceptor de electrones de la plastoquinona está completamente reducido;  $F_v$ , fluorescencia variable ( $F_m - F_0$ );  $F_v/F_m$ , eficiencia cuántica máxima del fotosistema II;  $T_{fm}$ , tiempo en que alcanzó el valor de la  $F_m$ ; y área bajo la curva entre  $F_0$  y  $F_m$  relacionada con la cantidad de aceptores en transporte de electrones del fotosistema II.



**Figura 3.** Principio de la fluorescencia de clorofila con el Handy PEA (Hansatech Instruments, Reino Unido).

### **5.5.3. Temperatura de hoja y sustrato (°C)**

La temperatura de la hoja y del sustrato se registraron con un teletermómetro (ThermaTwin TN408LC) en cada nivel de los tratamientos, excepto en el tratamiento de bolsas individuales en donde sólo había un nivel. Se seleccionó al azar una planta y a la vez una hoja sana recientemente madura, realizando únicamente una lectura por tratamiento y nivel. Las lecturas se efectuaron el 8 de diciembre de 2010 y se hicieron cerca del mediodía, a 20 cm de distancia del teletermómetro a la hoja.

### **5.5.4. Irradiancia fotosintética incidente ( $W m^{-2}$ )**

La irradiancia fotosintética incidente se midió en cada nivel de los tratamientos, excepto en el tratamiento con bolsas individuales en donde sólo había un nivel, así como al exterior del invernadero, con un radiómetro lineal LI-191SE (LI-COR). Las lecturas se efectuaron alrededor del mediodía.

## **5.6. Indicadores Agronómicos**

### **5.6.1. Rendimiento acumulado ( $g m^{-2}$ )**

La cosecha se realizó cada semana y en total se efectuaron nueve cortes de fruto a partir de 15 de enero al 15 de marzo de 2011. La parcela útil fue el total de plantas en cada tratamiento. El peso de los frutos se realizó con una balanza analítica Marca OHAUS® Scout Pro de 2000 g.

## **5.7. Indicadores de Calidad de Fruta**

### **5.7.1. Tamaño de la fruta**

Con base en la Norma NMX-FF-062-SCFI-2002, se determinó el tamaño de los frutos de fresa tomando en cuenta el diámetro ecuatorial (valor más alto del fruto medido horizontalmente). Las mediciones se realizaron con un vernier TRUPER digital estándar y milimétrico de 6" (150 mm).

**Cuadro 4.** Tamaño de los frutos según la Norma NMX-FF-062-SCFI-2002 para productos alimenticios no industrializados para consumo humano - fruta fresca - fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.).

Tamaño	Intervalo de diámetro ecuatorial (cm)
A	3.2 o más
B	2.6 a 3.1
C	2.0 a 2.5
D	1.6 a 1.9



**Figura 4.** Medición de la fruta en su diámetro ecuatorial con el vernier TRUPER digital estándar y milimétrico de 6" (150 mm).

### 5.7.2. Grados de calidad de la fruta

Según la Norma NMX-FF-062-SCFI-2002, los frutos se clasifican con base en los grados de calidad. En el Cuadro 5 se describen cada una de las categorías.

**Cuadro 5.** Grados de calidad según la Norma NMX-FF-062-SCFI-2002, para fresa.

<b>Grados de Calidad</b>	<b>Descripción</b>
<b>Extra (México 1)</b>	Las fresas de este grado deben ser de calidad superior y presentar la forma y desarrollo típicos o propios de la variedad. Deben ser uniformes en cuanto a coloración y tamaño. No deben tener defectos, salvo aquellos superficiales muy leves siempre y cuando no afecten el aspecto general del producto, calidad, conservación y presentación en el envase.
<b>Primera (México 2)</b>	Las fresas de esta categoría deben presentar la forma, desarrollo y coloración típica o propia de la variedad. Se permiten defectos leves, siempre y cuando no afecten el aspecto general del producto, su calidad, conservación y presentación en el envase. Se permiten los defectos para esta categoría.
<b>Segunda (México 3)</b>	Esta categoría comprende las fresas que no pueden clasificarse en las categorías superiores, pero que satisfacen las especificaciones mínimas de acuerdo a la norma.

### **5.7.3. Grados Brix**

Se determinó con un refractómetro de mano Marca ATAGO N-1E. Se seleccionaron frutos completamente rojos por nivel de cada tratamiento, excepto en el tratamiento de bolsas individuales en donde sólo había un nivel. Los frutos se cortaron a un tercio y se tomaron únicamente las partes apicales de las mismas, se exprimieron y se colocaron unas gotas de jugo sobre la celda del aparato.

## **5.8. Rentabilidad de los Sistemas Hidropónicos**

### **5.8.1. Indicadores económicos**

Desde la perspectiva económica, el proyecto se valoró según los siguientes indicadores: Periodo de Recuperación (PR), Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y la relación Beneficio Costo (B/C). Estos indicadores mostraron la rentabilidad de cada sistema de hidropónico. El horizonte del proyecto considerado es de ocho años (vida útil del proyecto).

### 5.8.2. Periodo de recuperación (PR)

Tiempo que tardará en recuperarse la inversión total inicial y se calculó a partir de los flujos de efectivo (entradas de efectivo menos salidas de efectivo).

### 5.8.3. Valor actual neto (VAN)

Representa la ganancia acumulada neta que se generará en cada sistema hidropónico. Este indicador se calculó restando la inversión inicial de cada sistema del valor presente de los flujos de efectivo esperados (FEN), descontados a una tasa de actualización del 16%.

$$VAN = -I_0 + \frac{FE_1}{(1 + TA)^1} + \dots + \frac{FE_N}{(1 + TA)^N}$$

Donde:

$I_0$ =Inversión inicial. Por considerar un desembolso se registra con signo negativo.

$FE_N$ =Flujos de efectivo esperados o ingresos futuros netos esperados. Son los flujos de fondos esperados del proyecto.

$TA$ =Tasa de actualización.

### 5.8.4. Tasa interna de retorno (TIR)

La tasa interna de retorno (%) se calculó mediante la fórmula de interpolación lineal. Esta forma consistió en hallar un VAN positivo (tasa de descuento baja) y otro negativo (tasa de descuento alta).

$$TIR = r_1 + \left[ \frac{VAN_i(r_2 - r_1)}{(VAN_i + VAN_j)} \right]$$

Donde:

$VAN_i$ =valor actual neto positivo.

$VAN_j$ =valor actual neto negativo.

$r_1$ =tasa de actualización baja.

$r_2$ =tasa de actualización alta.

$(r_2-r_1)$ =diferencia entre las tasas de actualización.

### **5.8.5. Relación beneficio costo (B/C)**

La relación B/C se obtuvo dividiendo el valor actual de los flujos de efectivo esperados (actualizado) entre el costo total de la inversión inicial.

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{Valor actual de los flujos de efectivo esperados}}{\text{Inversión total inicial}}$$

## **5.9. Variables Micrometeorológicas dentro del Invernadero**

### **5.9.1. Temperatura (°C) y humedad relativa del aire (%)**

La temperatura del aire y la humedad relativa se registraron con un HOBO® Data Logger modelo U12-012 a 1.5 m de altura dentro del invernadero. Los registros fueron cada hora, del 15 de octubre de 2010 al 21 de febrero de 2011.

## **5.10. Análisis Estadístico**

Se hicieron análisis de varianza y prueba de comparación de medias con el método de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) de las variables respuesta, con el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS, Institute, 2002; Cary, NC, USA).



## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1. Indicadores Fisiológicos

#### 6.1.1. Lecturas SPAD

De acuerdo con el análisis de varianza las lecturas SPAD fueron iguales en los tratamientos en las tres fechas de medición (Cuadro 1A). Según Güler *et al.* (2006) el N en la hoja de fresa muestra una gran variabilidad dependiendo de la temporada de cultivo y las variedades. Dicho elemento llega a su nivel más alto en las etapas de floración y fructificación, y su valor más bajo al final de la cosecha. En la primera fecha de medición, las plantas se encontraban en la etapa de floración y en las dos siguientes en fructificación. Con base en lo anterior, las lecturas SPAD no fueron diferentes entre tratamientos debido a la etapa fenológica en que se encontraba el cultivo. Lo cual implica que no hubo diferencias en el verdor o contenido de clorofila en las hojas entre tratamientos y por consiguiente, tampoco en el contenido de nitrógeno en las hojas (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Agrupación de medias de lecturas SPAD en los tratamientos.

Tratamientos	Lecturas SPAD		
	75 ddt	105 ddt	135 ddt
Bolsas individuales	54.68 ns	56.07 ns	56.15 ns
Vertical con tres tubos	54.68 ns	55.63 ns	55.60 ns
Vertical con cuatro tubos	54.91 ns	55.07 ns	55.74 ns
Vertical con macetas hidropónicas	54.40 ns	56.02 ns	56.05 ns

Medias con letra(s) distinta(s) por columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

ns: no significancia.

ddt: días después del trasplante.

#### 6.1.2. Variables relacionadas con la fluorescencia de clorofila

##### 6.1.2.1. Variables micrometeorológicas dentro del invernadero

En la fresa son varios los factores que tienen un efecto significativo en la respuesta fotosintética, incluyendo los niveles de luz, temperatura, disponibilidad de nutrientes y la concentración de CO<sub>2</sub> (Hancock, 1999). Benton (2005) añade que la temperatura alta y baja del aire, el movimiento del aire sobre la superficie de las hojas y la calidad de la luz afecta la tasa de fotosíntesis de las plantas. La cubierta plástica del invernadero permitió pasar únicamente el 40%

de la irradiancia en la banda fotosintética. El promedio de esta irradiancia durante un mes antes de la primera lectura de fluorescencia fue  $5.94 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , similar a la segunda fecha con  $5.79 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ . En tanto la irradiancia en la banda fotosintética promedio durante el periodo del experimento fue de  $6.09 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ . Durante el estudio, el promedio de temperatura mínima mensual registrada antes de la primera lectura de fluorescencia (8 de diciembre de 2010) fue  $3.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , con presencia de heladas hasta  $-2.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Durante este tiempo se registraron cuatro heladas y bajas temperaturas. Mientras que en la segunda lectura (27 de enero de 2011) aunque se registró el menor promedio de temperatura mínima mensual de  $2.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , se presentó sólo una helada de  $-1.41 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (Cuadro 18A). El daño por frío en algunas plantas está asociado por el aparato fotosintético (disminución en la fluidez de las membranas, cambios en la actividad de los procesos mediados por enzimas asociada a membrana y pérdida de la actividad de enzimas sensibles al frío, entre otros) mientras que el daño por congelamiento ( $< 0^{\circ}\text{C}$ ) está asociado principalmente por daño y rompimiento de las membranas celulares al formarse cristales de hielo (Varela, 2010). Las temperaturas bajas y las heladas intensas afectaron la función del fotosistema II en la primera lectura realizada; lo cual modificó la emisión de la fluorescencia de clorofila y de esta manera se presentaron diferencias significativas de los parámetros de fluorescencia de clorofila en los sistemas hidropónicos (Cuadro 2A-7A).

#### 6.1.2.2. Parámetros de fluorescencia de clorofila

**Fluorescencia inicial ( $F_0$ ).** De acuerdo con el análisis de varianza hubo diferencias significativas en  $F_0$  sólo en la primera fecha (Cuadro 2A), lo cual no es común encontrar dichas diferencias, pero si han reportado diferencias estadísticas como los resultados obtenidos por López *et al.* (2007) en hojas de frijol silvestre y domesticado. En este parámetro se encontró que los tratamientos vertical con cuatro tubos (V4T), vertical con tres tubos (V3T) y vertical con macetas hidropónicas (VMH) fueron similares estadísticamente (Tukey,  $P \leq 0.05$ ), no así con el tratamiento testigo (BI) que se ubicó en el segundo grupo estadístico (Figura 5a).

**Eficiencia cuántica máxima del fotosistema II ( $F_v/F_m$ ).** Se ha demostrado que  $F_v/F_m$  es proporcional al rendimiento cuántico de las reacciones fotoquímicas, en condiciones normales. La mayoría de las plantas sanas poseen  $F_v/F_m$  óptimo cercano a 0.83, y puede variar de 0.70 a 0.85 (Björkman y Demming, 1987; Maxwell y Johnson, 2000; Rizza *et al.*, 2001). Cualquier estrés puede disminuir  $F_v/F_m$  (Öquist, 1987). Razavi *et al.* (2008) mencionan que la planta de

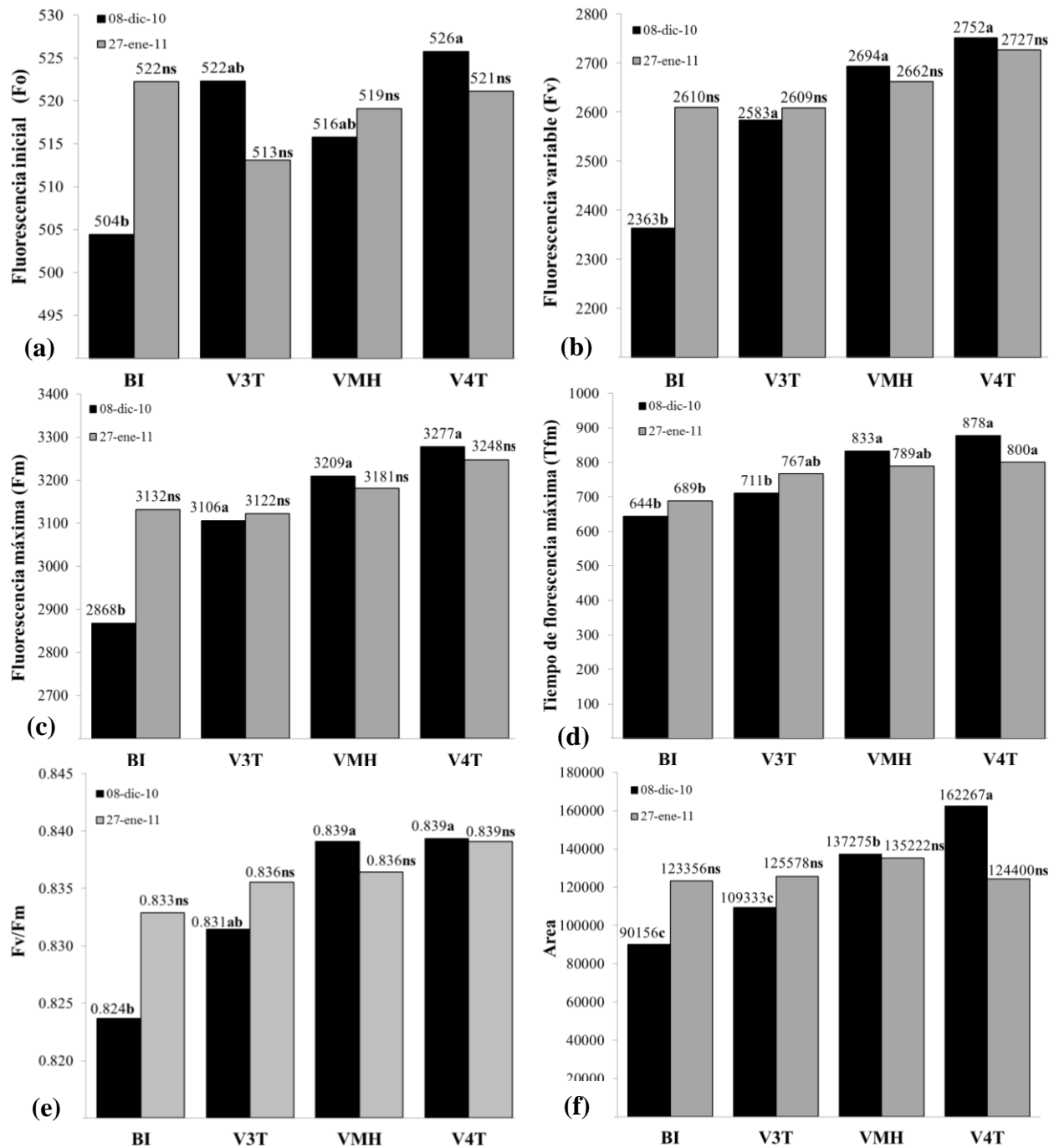
fresa bajo condiciones de baja irradiancia y estrés por sequía inducen cambios en el potencial hídrico foliar, parámetros fotosintéticos, el contenido de azúcar, así como adaptaciones morfológicas. Con base en lo anterior, podemos decir que las plantas de ninguno de los sistemas hidropónicos sufrieron estrés (plantas sanas) ya que los resultados de  $F_v/F_m$  fueron en el rango óptimo (Figura 5e). Los tratamientos vertical con cuatro tubos (V4T), vertical con macetas hidropónicas (VMH) y vertical con tres tubos fueron similares según la comparación de medias (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). De nuevo el tratamiento bolsas individuales (BI) mostró el menor valor de  $F_o$  de todos ubicándose en el segundo grupo estadístico (Figura 5e).

**Fluorescencia variable ( $F_v$ ).** También, se encontró diferencias significativas en  $F_v$  en los tratamientos evaluados (Cuadro 4A). La  $F_v$  es equivalente a la diferencia de  $(F_m - F_o)$ , relacionada con la capacidad del PSII para reducir químicamente QA (el primer aceptor de electrones de la cadena fotosintética). Los tratamientos vertical con cuatro tubos (V4T), vertical con macetas hidropónicas (VMH) y vertical con tres tubos (V3T) mostraron las mayores  $F_v$  (Figura 5b), mientras que las bolsas individuales tuvieron la menor  $F_v$  (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

**Fluorescencia máxima ( $F_m$ ).** La fluorescencia máxima de los sistemas fue significativa en la primera lectura según el análisis de varianza (Cuadro 6A). Los tratamientos vertical con cuatro tubos (V4T), vertical con macetas hidropónicas (VMH) y vertical con tres tubos (V3T) pertenecieron al primer grupo estadístico (Tukey  $P \leq 0.05$ ), mientras que el tratamiento de bolsas individuales (BI) tuvo la menor  $F_m$  (Figura 5c).

**Tiempo de fluorescencia máxima ( $T_{fm}$ ).** Se encontraron diferencias significativas en  $T_{fm}$  en las dos fechas realizadas (Cuadro 6A). Los tratamientos vertical con cuatro tubos (V4T) y vertical con macetas hidropónicas (VMH) registraron el mayor  $T_{fm}$  en la primera fecha (Figura 5d). En la segunda fecha nuevamente los tratamientos vertical con cuatro tubos (V4T) y vertical con macetas hidropónicas (VMH) mostraron mayor  $T_{fm}$  junto con el tratamiento vertical con tres tubos (V3T).

**Área.** Sólo se encontraron diferencias significativas en la primera fecha de registro (Cuadro A). El tratamiento vertical con cuatro tubos registró la mayor área, seguida por el tratamiento vertical con macetas hidropónicas y finalmente con las menores áreas fueron los tratamientos vertical con tres tubos y bolsas individuales (Figura 5f).



**Figura 5.** Variables relacionadas con la fluorescencia de clorofila de las plantas de los tratamientos: BI: bolsas individuales; V3T: vertical con tres tubos; VMH: vertical con macetas hidropónicas; V4T: vertical con cuatro tubos. Medias con letra(s) distinta(s) son estadísticamente diferentes (Tukey  $P \leq 0.05$ ). ns: no significancia.

### 6.1.3. Irradiancia fotosintética media incidente

La irradiación fotosintética media incidente fue afectada significativamente por los tratamientos (Cuadro 8A). Según la prueba de comparación de medias (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) y como era de esperarse, el tratamiento de bolsas individuales tuvo la irradiación fotosintética media incidente más alta ( $117.10 \text{ W m}^{-2}$ ) (Cuadro 7). Los otros tratamientos fueron iguales entre sí en esta variable, y tuvieron menor irradiación fotosintética media incidente debido a que se producían auto-sombra por la propia estructura y por las plantas en estratos superiores. Sólo los estratos superiores de estos tratamientos obtuvieron el mismo nivel de irradiación fotosintética media incidente que el tratamiento con bolsas individuales (Cuadro 8).

**Cuadro 7.** Irradiancia fotosintética media incidente en los tratamientos.

Tratamientos	$\text{W m}^{-2}$
Bolsas individuales	117.10 a
Vertical con tres tubos	91.94 b
Vertical con cuatro tubos	83.92 b
Vertical con macetas hidropónicas	89.41 b

Medias con letra(s) distinta(s) son estadísticamente diferentes Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

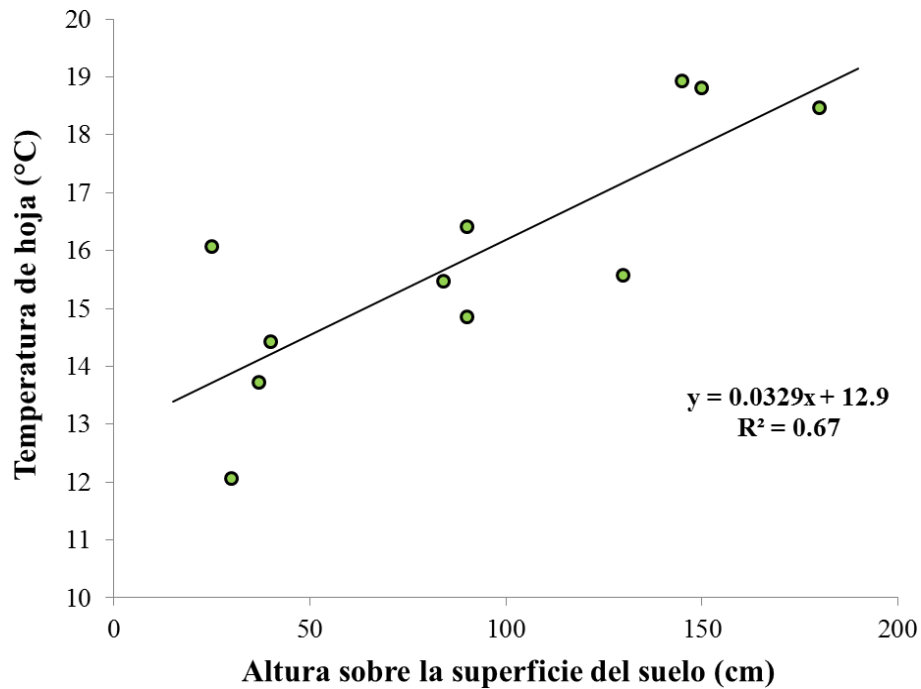
**Cuadro 8.** Irradiancia fotosintética incidente media a diferentes niveles sobre la superficie del suelo.

Nivel de sistemas hidropónicas	Altura (cm)	Irradiancia fotosintética incidente ( $\text{W m}^{-2}$ )
Bolsas individuales	25	117.10 a
Vertical con tres tubos nivel uno	40	71.67 b
Vertical con tres tubos nivel dos	90	75.47 b
Vertical con tres tubos nivel tres	145	128.67 a
Vertical con cuatro tubos nivel uno	37	68.03 b
Vertical con cuatro tubos nivel dos	84	70.23 b
Vertical con cuatro tubos nivel tres	130	80.40 b
Vertical con cuatro tubos nivel cuatro	180	117.00 a
Vertical con macetas hidropónicas estrato inferior	30	70.07 b
Vertical con macetas hidropónicas estrato medio	60	80.40 b
Vertical con macetas hidropónicas estrato superior	90	117.77 a

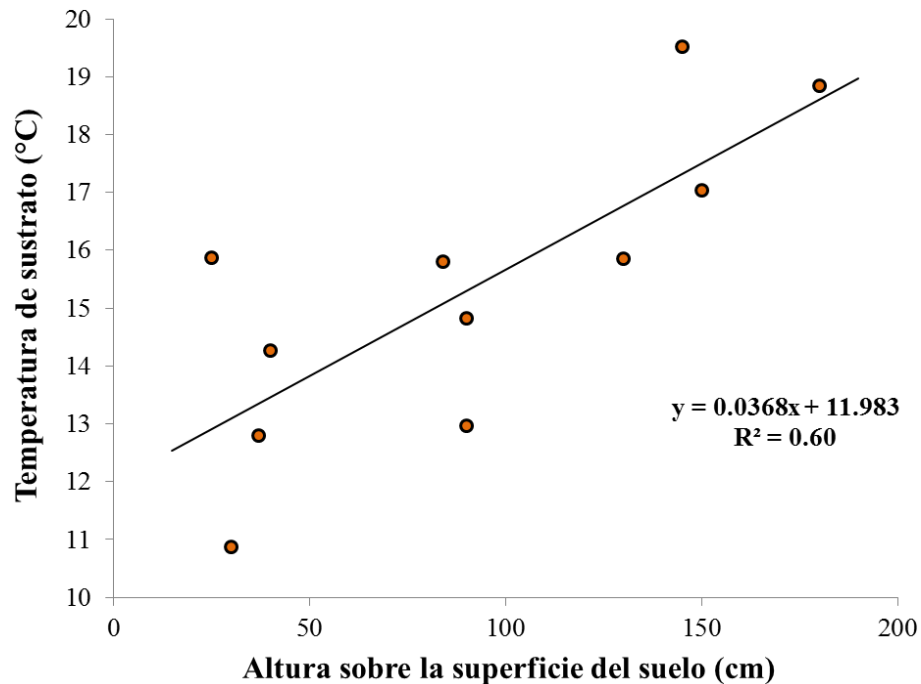
Medias con letra(s) distinta(s) son estadísticamente diferentes Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

#### 6.1.4. Temperatura de la hoja y sustrato

El análisis de varianza de la temperatura de hoja y sustrato cuando se consideraron los niveles de los sistemas hidropónicos presentaron diferencias significativas (Cuadro 9A). El nivel tres del tratamiento vertical tres tubos (V3N3), nivel superior del tratamiento vertical con macetas hidropónicas y nivel cuatro del tratamiento vertical con cuatro tubos fueron similares estadísticamente al presentar los mayores valores de temperatura de hoja (Figura 3). La menor temperatura (12.1 °C) de todos los niveles de los sistemas fue registrada en el nivel inferior del sistema vertical con macetas hidropónicas (VMHNI). Aunque el tratamiento de bolsas individuales (BI) fue el que se encontró más cerca de la superficie del suelo (25 cm) no fue el que registró la menor temperatura de hoja, debido a que estas plantas estuvieron expuestas al máximo nivel de irradiancia dentro del invernadero sin estar bajo sombra producida por la estructura u otras plantas en estratos superiores, como es el caso de los otros tratamientos. Se encontró correlación entre la altura sobre el suelo de los niveles de los tratamientos con la temperatura de hoja  $R^2 = 0.67$  (Figura 6). Similar a los registros de temperatura de la hoja, el nivel tres del tratamiento vertical con tres tubos (V3N3) junto con el nivel cuatro del tratamiento vertical con cuatro tubos (V4N4) fueron iguales estadísticamente arrojando los máximos valores de temperatura de sustrato de todos los niveles de los tratamientos. Asimismo, el nivel superior del tratamiento vertical con macetas hidropónicas (VMHNS) registró una de las temperaturas más altas de suelo (17.0 °C). Se observó que los niveles superiores de los tratamientos registraron las temperaturas más altas de hoja y sustrato debido posiblemente a que recibieron el total de radiación transmitida por la cubierta del invernadero y no recibieron sombra de otras plantas o de la estructura. Nuevamente, se encontró correlación entre la altura de los niveles de los tratamientos con la temperatura del sustrato ( $R^2 = 0.60$ ) (Figura 7). Entonces, conforme aumentó la altura del nivel de los tratamientos, aumentó la temperatura de hoja y sustrato. Este comportamiento fue debido a que el aire caliente durante el día es menos denso lo cual tiende a subir, mientras que el aire frío es más pesado baja a los estratos inferiores en un volumen cerrado como lo es en un invernadero tipo túnel (sin ventila cenital), formando así un estrato térmico. Aunado también a que las hojas de las plantas ubicadas en el estrato superior de los tratamientos estuvieron expuestas a la radiación solar transmitida por la cubierta del invernadero. Esta energía absorbida se transforma a energía térmica que se intercambia con el microclima que la rodea mediante radiación, flujo de calor sensible y flujo de calor latente.



**Figura 6.** Relación entre la altura sobre la superficie del suelo y la temperatura de hoja de plantas de fresa cultivadas en diferentes sistemas hidropónicos en un invernadero, en Montecillo, Texcoco, México. 2011.

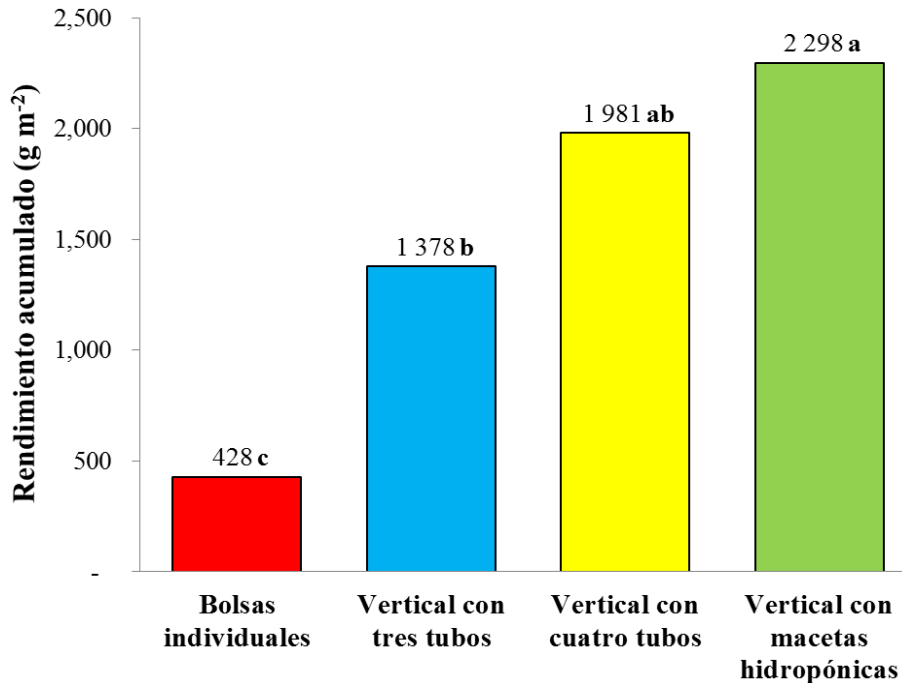


**Figura 7.** Relación entre la altura sobre la superficie del suelo y la temperatura de sustrato en plantas de fresa cultivadas en diferentes sistemas hidropónicos en un invernadero, en Montecillo, Texcoco, México. 2011.

## 6.2. Indicadores Agronómicos

### 6.2.1. Rendimiento acumulado ( $\text{g}/\text{m}^2$ )

Se observaron diferencias altamente significativas en el rendimiento acumulado entre tratamientos (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) y el sistema de bolsas individuales (BI) (Cuadro 10A). Con base en nueve cosechas durante dos meses (21 de enero al 15 de marzo de 2011), se observó que el tratamiento vertical con macetas hidropónicas (VMH) superó en rendimiento a los demás sistemas hidropónicos (Figura 8), mientras que el testigo (bolsas individuales) obtuvo el rendimiento más bajo. La diferencia significativa tan alta entre tratamientos es debida a la capacidad de estos sistemas intensivos hidropónicos de tener plantas a altas densidades. Estos resultados fueron similares a los reportados por Pérez *et al.* (2005) quienes demostraron que los mayores rendimientos por unidad de área se alcanzan con las mayores densidades de fresa. De igual manera, Paranjpe *et al.* (2008) mencionan que con camas colgantes y a altas densidades se reduce la sombra que producen los sistemas verticales y se obtienen altos rendimientos.



**Figura 8.** Rendimiento acumulado ( $\text{g m}^{-2}$ ) de los sistemas hidropónicos para la producción de fresa. Medias con letra(s) distinta(s) son estadísticamente diferentes (Tukey  $P \leq 0.05$ ).



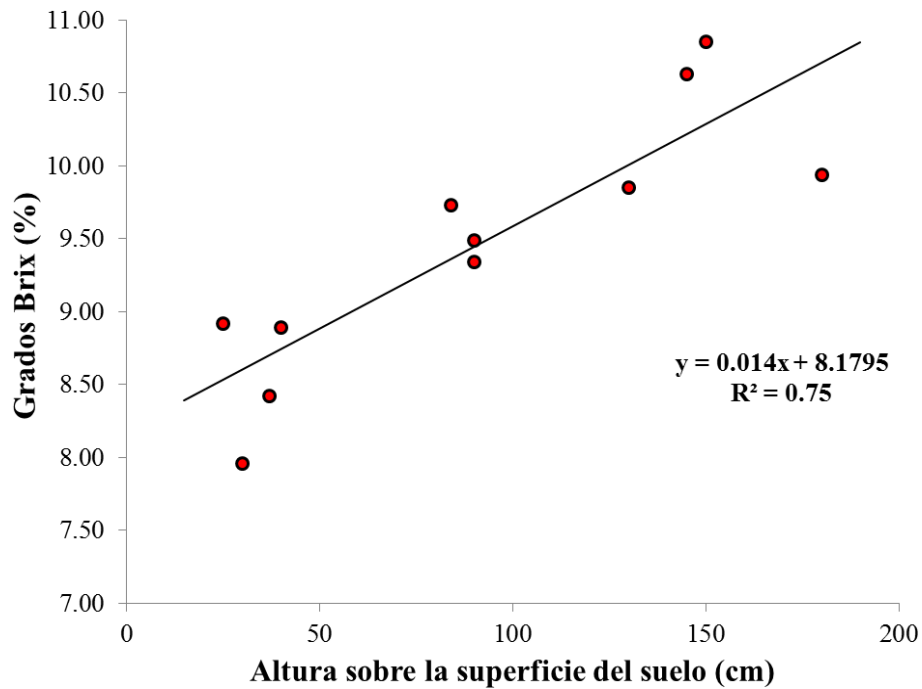
### **6.3. Indicadores de Calidad**

#### **6.3.1. Grados Brix (%)**

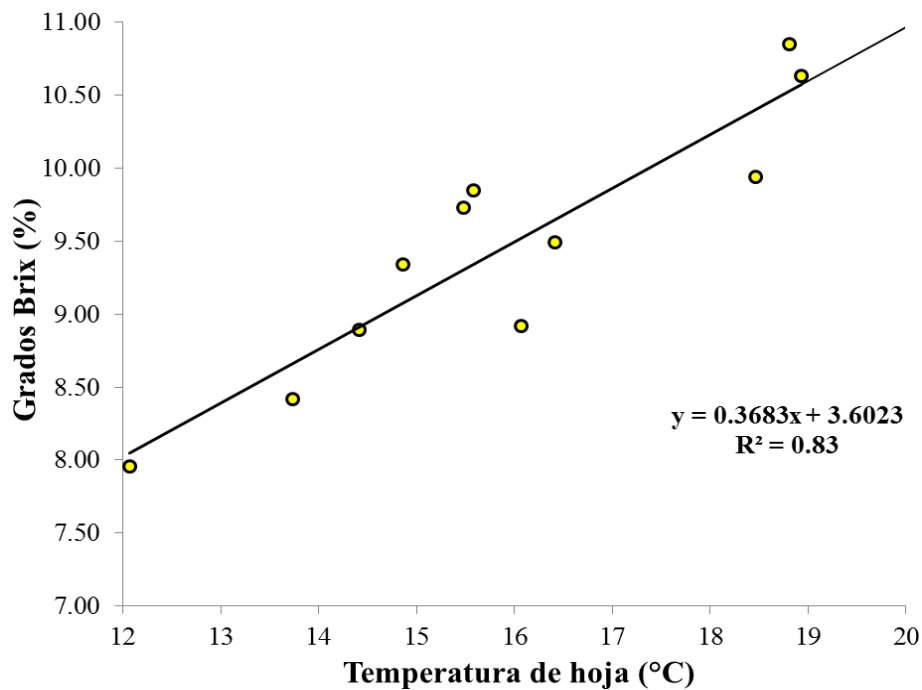
Se observaron diferencias significativas en los °Brix entre niveles de los sistemas hidropónicos (Cuadro 11A). También se observaron diferencias significativas entre bloques, debido a diferencias en la luminosidad en las repeticiones; la repetición uno siempre tuvo mayor incidencia de radiación solar durante las mañanas que las otras repeticiones. Los niveles ubicados a mayor altura sobre el suelo tuvieron los porcentajes más altos de frutos dulces, sobre 9.9 % de °Brix (Figura 9). Las plantas en los estratos superiores no fueron afectadas por sombra de la estructura hidropónica o por otras plantas, por lo que registraron las mayores temperaturas de hoja, sustrato e irradiancia fotosintética incidente.

El mejor nivel de todos los sistemas fue el nivel cinco del tratamiento vertical con macetas hidropónicas (VMH5) con 10.8 % de °Brix. Este nivel no fue el que estuvo a mayor altura sobre la superficie del suelo. Este valor alto puede explicarse por la distancia entre plantas (30 cm) que permitió recibir mayor cantidad de irradiancia fotosintética por planta. Se observó que en este nivel, las plantas fueron las más frondosas. Además fue uno de los niveles que registró mayor temperatura de hoja (18.8°C). Wang y Camp (2000) mencionan que el contenido de azúcares solubles es afectado por el estado de maduración, genotipo, origen geográfico y temperatura de crecimiento de la fresa.

Se calculó una correlación aceptable entre la altura sobre el suelo (niveles de los sistemas) y el contenido de °Brix. Conforme aumentó la altura (variable independiente), aumentaron los °Brix (variable dependiente). Según la regresión lineal se tiene una  $R^2=0.75$ . Asimismo, se observó correlación entre la temperatura de la hoja y el contenido de °Brix. Conforme incrementó la temperatura de hoja (variable independiente) aumentó el porcentaje de °Brix (variable dependiente) con  $R^2=0.83$  (Figura 10). Los frutos de fresa de nuestra investigación rebasan el índice de calidad según Mitcham y Col (2002) que deben tener un contenido de sólidos solubles mínimo de 7 °Brix.



**Figura 9.** Relación entre la altura sobre la superficie del suelo y los grados Brix en plantas de fresa cultivadas en diferentes sistemas hidropónicos en un invernadero, en Montecillo, Texcoco, México. 2011.



**Figura 10.** Relación entre la temperatura de hoja y °Brix (%) en los niveles de los sistemas hidropónicos en plantas de fresa cultivadas en un invernadero, en Montecillo, Texcoco, México. 2011.

### 6.3.2. Total de frutos y su clasificación por tamaño

Se encontraron diferencias altamente significativas en el total de frutos por unidad de superficie ( $\text{m}^{-2}$ ), clasificados por tamaño (Cuadro 12A). La prueba de medias presentó cuatro grupos estadísticos (Tukey  $P \leq 0.05$ ). El tratamiento vertical con macetas hidropónicas (VMH) produjo el mayor número total de frutos ( $85.5 \text{ frutos m}^{-2}$ ), mientras que el tratamiento de bolsas individuales (BI) produjo el menor número total de frutos ( $18.5 \text{ frutos m}^{-2}$ ) (Cuadro 9). La diferencia se explica por el número de plantas por tratamiento. También, se obtuvieron diferencias significativas en el número de frutos en las categorías A, B, y C (Cuadro 13A). En la categoría A (frutos con diámetro  $> 3.2 \text{ cm}$ ) los mejores tratamientos fueron el vertical con macetas hidropónicas (VMH) y vertical con cuatro tubos (V4T) con  $29.2$  y  $28.2 \text{ frutos m}^{-2}$ . En la categoría B (frutos de  $2.6$  a  $3.1 \text{ cm}$ ) el tratamiento vertical con macetas hidropónicas nuevamente produjo el mayor rendimiento en número de frutos ( $30.8 \text{ frutos m}^{-2}$ ), y le siguieron los tratamientos vertical con cuatro y tres tubos ( $20.3$  y  $13.7 \text{ frutos m}^{-2}$ ). En la categoría C (frutos de  $2.0$  a  $2.5 \text{ cm}$ ), el tratamiento vertical con macetas hidropónicas presentó la mayor cantidad de frutos pequeños ( $22.0 \text{ frutos m}^{-2}$ ). Lo que se puede observar es que el tratamiento vertical con macetas hidropónicas (VMH) registró los mayores números de frutos en todas las categorías.

Durante la cosecha, se registraron temperaturas muy altas hasta  $42 \text{ }^\circ\text{C}$ . Según Wang y Camp (2000) mencionan que a temperaturas por encima de  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  se reduce el tamaño de la fruta de la fresa. En este caso hubo pocos frutos muy pequeños (categoría D) pero si hubo cantidades apreciables de frutos categoría C, lo cual coincide con lo señalado por los autores arriba mencionados.

**Cuadro 9.** Total de frutos de fresa por  $\text{m}^2$  clasificados por tamaño de acuerdo con la norma NMX-FF-062-SCFI-2002 en los tratamientos.

Tratamientos	Total de frutos	Tamaño de la fruta por categoría			
		A ( $>3.2 \text{ cm}$ )	B ( $2.6$ a $3.1 \text{ cm}$ )	C ( $2.0$ a $2.5 \text{ cm}$ )	D ( $1.6$ a $1.9 \text{ cm}$ )
BI	18.5 d	5.3 b	4.0 c	7.5 b	1.7 ns
V3T	45.0 c	16.8 ab	13.7 b	10.7 ab	3.8 ns
V4T	63.7 b	28.2 a	20.3 b	12.5 ab	2.7 ns
VMH	85.5 a	29.2 a	30.8 a	22.0 a	3.5 ns

BI: bolsas individuales; V3T: vertical con tres tubos; V4T: vertical con cuatro tubos; VMH: vertical con macetas hidropónicas. Medias con letra(s) distinta(s) son estadísticamente diferentes (Tukey  $P \leq 0.05$ ). ns: no significancia.

### 6.3.3. Total de frutos y su clasificación por grados de calidad

El total de frutos por tratamiento referente a la calidad presentó diferencias altamente significativas (Cuadro 14A); de igual forma en calidad de la fruta clasificada por categoría (Cuadro 15A). Otra vez el tratamiento vertical con macetas hidropónicas (VMH) produjo el mayor número total de frutos en relación a la variable calidad (85 frutos m<sup>-2</sup>) y también en la calidad de la fruta por categoría (Cuadro 10). El tratamiento vertical con macetas hidropónicas (VMH), fue el mejor en todas las categorías, mientras que el peor tratamiento fue el testigo control (BI).

Aunque el tratamiento vertical con macetas hidropónicas (VMH) registró el mayor número de frutos de calidad extra, también presentó mayor número de frutos de calidad primera y segunda. Según Nuez (1995), una alta densidad de plantas aumenta la precocidad pero los frutos producidos de esta manera son de menor tamaño y calidad. Es cierto que a altas densidades de plantas aumenta el rendimiento pero también aumentan los frutos de menor calidad.

**Cuadro 10.** Total de frutos de fresa por m<sup>2</sup> clasificados por calidad de acuerdo con la norma NMX-FF-062-SCFI-2002 en los tratamientos.

Tratamientos	Total de frutos	Calidad de la fruta por categoría		
		Extra	Primera	Segunda
BI	18.8 d	07.0 c	07.5 c	04.3 b
V3T	44.3 c	15.5 b	15.3 bc	13.5 ab
V4T	62.8 b	27.2 a	21.0 b	14.7 ab
VMM	85.0 a	29.2 a	32.3 a	23.5 a

BI: bolsas individuales; V3T: vertical con tres tubos; V4T: vertical con cuatro tubos; VMH: vertical con macetas hidropónicas. Medias con letra(s) distinta(s) por columna son estadísticamente diferentes (Tukey  $P \leq 0.05$ ). ns: no significancia.

## 6.4. Evaluación Económica de los Sistemas Hidropónicos

### 6.4.1. Periodo de recuperación

Existe un criterio de decisión para aceptar o rechazar un proyecto. Si el periodo de recuperación (PR) es menor al periodo de recuperación máxima aceptable (PRMA), se acepta el proyecto, pero si  $PR > PRMA$  entonces se rechaza. El PRMA de los sistemas hidropónicos es de cuatro

años, es decir, 50 % de la vida útil (horizonte). En este caso, según el cuadro de flujo de efectivo, con el sistema de bolsas individuales no se tienen ganancias netas durante la vida útil, por lo que se rechaza este sistema como proyecto productivo viable (Cuadro 11). Aunque con los sistemas verticales con tres y cuatro tubos se recupera la inversión inicial, tampoco se aceptan como proyectos viables debido a que  $PR > PRMA$ , con PR de seis y cinco años, respectivamente. Finalmente, el sistema vertical con macetas hidropónicas es el único con PR (3 años) menor a PRMA por lo que es un proyecto aceptable.

**Cuadro 11.** Periodo de recuperación de los sistemas hidropónicos para la producción de fresa en invernadero, en Montecillo, Texcoco, México. 2011.

Bolsas individuales				Vertical con tres tubos			
Vida útil (años)	Inversión total inicial	Flujos de efectivo	Flujos de efectivo acumulados	Vida útil (años)	Inversión total inicial	Flujos de efectivo	Flujos de efectivo acumulados
0	1795941.13			0	1836026.13		
1		137552.46	137552.4584	1		-2092994.96	-2092994.99
2		238831.82	376384.28	2		869809.00	-1223185.99
3		72677.46	449061.74	3		738859.00	-484326.98
4		238831.82	687893.55	4		869809.00	385482.01
5		72677.46	760571.01	5		738859.00	1124341.02
6		238831.82	999402.83	<b>6</b>		<b>869809.00</b>	<b>1994150.03</b>
7		72677.46	1072080.29	7		738859.00	2733009.03
8		238831.82	1310912.11	8		869809.00	3602818.03
Vertical con cuatro tubos				Vertical con macetas hidropónicas			
Vida útil (años)	Inversión total inicial	Flujos de efectivo	Flujos de efectivo acumulados	Vida útil (años)	Inversión total inicial	Flujos de efectivo	Flujos de efectivo acumulados
0	1836026.13			0	1836026.13		
1		-2679345.62	-2679345.62	1		-594452.67	-594452.67
2		1269576.38	-1409769.23	2		1329747.32	735294.64
3		1102226.38	-307542.85	<b>3</b>		<b>1239747.32</b>	<b>1975041.96</b>
4		1269576.38	962033.53	4		1329747.32	3304789.28
<b>5</b>		<b>1104226.38</b>	<b>2066259.91</b>	5		-593252.67	2711536.60
6		1269576.38	3335836.30	6		1329747.32	4041283.92
7		1104226.38	4440062.68	7		1239747.32	5281031.24
8		1269576.38	5709639.06	8		1329747.32	6610778.56

#### 6.4.2. Valor actual neto, tasa interna de retorno y relación beneficio/costo

Con el sistema de bolsas individuales no se recomienda producir fresa en hidroponía ya que no se obtiene ninguna utilidad (Cuadro 12). El sistema vertical con tres tubos tiene una relación B/C aceptable (1.64), pero los dos tipos de VAN son negativos por lo que se rechaza esta opción. El

sistema vertical con cuatro tubos tiene una relación B/C aceptable (2.61), pero el VAN con tasa de actualización del 19 % indica pérdidas económicas por lo que también se rechaza el sistema como una opción.

Finalmente, con el sistema de vertical con macetas hidropónicas se recupera la inversión inicial en tres años, con ganancias en los dos tipos de VAN (16 y 19 % de tasa de actualización) y con una relación B/C superior al de los otros sistemas. Con un peso invertido en este sistema se genera una ganancia de 2.02 pesos. Con este sistema se cumplen todos los criterios para aceptar un proyecto.

**Cuadro 12.** Indicadores económicos en los sistemas hidropónicos para la producción de fresa en invernadero, en Montecillo, Texcoco, México. 2011.

Sistemas hidropónicos	Periodo de recuperación (Años)	VAN positivo (16%)	VAN negativo (19%)	TIR (%)	Relación B/C
Bolsas individuales	x	x	x	x	x
Vertical con tres tubos	6	-804648.16 (\$)	-1057567.32 (\$)	x	1.64
Vertical con cuatro tubos	5	29806.06 (\$)	-351606.73 (\$)	x	2.61
Vertical con macetas hidropónicas	3	1275989.77 (\$)	919434.09 (\$)	18	3.02

VAN: valor actual neto; TIR: tasa interna de retorno; Relación B/C: relación beneficio/costo.

## 7. CONCLUSIONES

- Con el tratamiento vertical con macetas hidropónicas (VMH) se tiene mejor calidad, mayor rendimiento y mejor rentabilidad.
- Los tratamientos evaluados afectan la actividad fotosintética en la fresa en comparación con el tratamiento de bolsas individuales de acuerdo a los parámetros de fluorescencia de clorofila. Las temperaturas bajas afectaron la emisión de la fluorescencia de clorofila en la primera fecha en todos los tratamientos. La estructura de los tratamientos afectaron la irradiancia media incidente siendo mayor en el tratamiento de bolsas individuales (BI) el cual no tuvo efecto de auto-sombra. También, en las alturas superiores de los tratamientos se presentaron mayores valores de irradiancia fotosintética media incidente, temperatura de hoja y de sustrato, estos resultados obtenidos fueron debido al fenómeno de estrato térmico producido por el invernadero y la mayor radiación transmitida por la cubierta.
- Con el tratamiento vertical con macetas hidropónicas (VMH) se obtienen mayores rendimientos por unidad de superficie. A mayores densidades de plantación de fresa en los sistemas hidropónicos mayores rendimientos.
- Con los tratamientos vertical con cuatro tubos (V4T) y vertical con macetas hidropónicas (VMH) se obtienen frutos de mejor calidad (tamaño y grados de calidad).
- El tratamiento vertical con macetas hidropónicas es el sistema hidropónico más rentable para la producción de fresa.

## 8. LITERATURA CITADA

- Al-Raysi, F.S., F. A. Al-Said, M. S. Al-Rawahi, I. A. Khan, S. M. Al-Makhamari, and M. M. Khan. 2010.** Effects of column sizes and media on yield and fruit quality of strawberry under hydroponic vertical system. *Eur. J. Sci. Res.* 43: 48-60.
- Avigdor-Avidov, H. 1986.** Strawberry. *In:* S. P. Monselise (ed.). Fruit set and development. CRS Press. Boca Raton, Mg, Florida. USA. pp: 419-448.
- Azodanlou, R., C. Darbellay., J. L. Luisier., J. C. Villettaz, and R. Amado. 2003.** Qualit assessment of strawberries (*Fragaria* species). *J. Agric. Food Chem.* 51: 715–721.
- Barrera C., G., C. Sánchez B. 2003.** Caracterización de la Cadena Agroalimentaria/Agroindustrial Nacional, identificación de sus demandas tecnológicas: Fresa. Morelia, Michoacán. México. 79 p.
- Bastida T., A. 2008.** Panorama de los invernaderos en México y en el mundo. *In:* Módulo II. Diseño Agronómico y Manejo de Invernaderos. Primer Curso de Especialización en Horticultura Protegida. U. A. Chapingo, Departamento de Fitotecnia. Chapingo, México.
- Benton, J. J. 2005.** Hydroponics a practical guide for the soilless grower. CRC Press. Boca Raton, FL, USA.
- Berdegú, A. J. y N. Sanclemente. 2007.** La fresa en Michoacán; los retos del mercado. Secretaría de Desarrollo Agropecuario. Morelia, Michoacán, México.
- Bodelón, G. O., M. Blanch, M.T. Sánchez B., M.I. Escribano, C. Merodio. 2010.** The effects of high CO<sub>2</sub> levels on anthocyanin composition, antioxidant activity and soluble sugar content of strawberries stored at low non-freezing temperature. *Food Chem.* 122: 673–678.
- Björkman, O. and B. Demming. 1987.** Photon yield of O<sub>2</sub> evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77K among vascular plants of diverse origins. *Plant* 170: 489-504.
- Cameron, J. S. and C. A. Hartley. 1990.** Gas exchange characteristics of *Fragaria chiloensis* germplasm. *HortScience* 25: 327-329.
- Caruso, G., G. Villari., G. Melchionna, and S. Conti. 2011.** Effects of cultural cycles and nutrient solutions on plant growth, yield and fruit quality of alpine strawberry (*Fragaria vesca* L.) grown in hydroponics. *Sci. Hortic.* 129: 479-485.



- Cechin, I. y T. De Fátima. 2004.** Effect of nitrogen supplied on growth and photosynthesis of sunflower plants grown in the greenhouse. *Plant Science* 166: 1379-1385.
- Cordenunsi, B. J. Oliveira., M. Genoves, and F. Lajolo. 2002.** Influence of cultivar on quality parameters and chemical composition of strawberry fruits grown in Brazil. *J. Agric. Food Chem.* 50: 2581-2586.
- Cordenunsi, B.R., J.R.O. Nascimento, and F.M. Lajolo. 2003.** Physico-chemical changes related to quality of five strawberry fruit cultivars during cool-storage. *Food Chem.* 83: 167-173.
- Curtis, H., A. Schnek y G. Flores. 2006.** Invitación a la biología. Editorial Médica Panamericana. Montevideo, Uruguay.
- DeEll, J. and P. Toivonen. 2003.** Practical applications of chlorophyll fluorescence in plant biology. Kluwer Academic. Boston, MA, USA.
- Ellis M. A. R., C. Funt, S. Wrigth., K. Demchak, E. Wahle, D. Doohan, C. Welty, R. N. Williams, and M. Brown. 2006.** Midwest strawberry production guide. Bulletin 926. The Ohio State University Extension. Columbus, OH, USA. 140p.
- Gliessman, R. S. 2002.** Agroecología: procesos ecológicos en la agricultura sostenible. Editorial AGRUCO-CATIE. Turrialba, Costa Rica. 359 p.
- González M., S., H. Perales V. y M. O. Salcedo A. 2008.** La fluorescencia de clorofila a como herramienta en la investigación de efectos tóxicos en el aparato fotosintético de plantas y algas. *Revista de Educación Bioquímica* 27: 119-129.
- Güler S., Macit, I., Koc, and A. Ibricki. 2006.** Estimating leaf nitrogen status of strawberry by using chlorophyll meter reading. *J. Bio. Sci.* 6: 1011-1016.
- Hancock, J. F. 1999.** Strawberries. CABI Publishing. Cambridge, UK.
- Hancock, J. F., J. A. Flore, and G. J. Galletta. 1989.** Gas exchange properties of strawberry species and their hybrids. *Sci. Hort.* 40: 139-144.
- Jones, G. H. 1992.** Plants and microclimate. A quantitative approach to environmental Plant Physiology. Cambridge University Press. Cambridge, Great Britain. 428 p.
- Juárez, R., C.R., M.N. Rodríguez., M. Sandoval V. y A. Muratalla L. 2007.** Comparación de tres sistemas de producción de fresa en invernadero. *Terra Latinoamericana* 25: 17-23.

- Kafkas, E. and S. Paydaş. 2007.** Evaluation and identification of volatile compounds of some promising strawberry genotypes using HS-SPME technique by GC/MS. *W. J. Agric. Sci.* 3: 191-195.
- Kafkas, E., M. Koşar, S. Paydaş, S. Kafkas, and K.H.C. Başer. 2007.** Quality characteristics of strawberry genotypes at different maturation stages. *Food Chem.* 100: 1229–1236.
- Klamkowski, K. and W. Treder. 2008.** Response to drought stress of three strawberry cultivars grown under greenhouse conditions. *J. Fruit Ornament. Plant Res.* 16: 179–188.
- Keutgen A. J. and E. Pawelzik. 2007.** Modifications of taste-relevant compounds in strawberry fruit under NaCl salinity. *Food Chem.* 105: 1487–1494.
- Keutgen A. J. and E. Pawelzik. 2008.** Quality and nutritional value of strawberry fruit under long term salt stress. *Food Chem.* 107: 1413-1420.
- Kumar S y P. Dey. 2011.** Effects of different mulches and irrigation methods on root growth, nutrient uptake, water-use efficiency and yield of strawberry. *Sci. Hort.* 127: 318–324.
- Krüger, E. G. Schmidt, and S. Rasim. 2002.** Effect of irrigation on yield, fruit size and firmness of strawberry cv. Elsanta. *Acta Hort.* 567: 471–474.
- Ledesma N.A., M. Nakata, and N. Sugiyama. 2008.** Effect of high temperature stress on the reproductive growth of strawberry cvs. ‘Nyoho’ and ‘Toyonoka’. *Sci.Hortic*, 116: 186–193.
- Ledesma N.A., S. Kawabata, and N. Sugiyama. 2004.** Effect of high temperature on protein expression in strawberry plants. *Biol. Plantarum* 48: 73-79.
- Ledent J. F. 2002.** Déficit hídrico y crecimiento de las plantas: respuestas al déficit hídrico. Comportamiento morfofisiológico/modelo de crecimiento de las plantas. Papa Andina. Cochabamba, Bolivia.
- Lee, S. K. and A. A. Kader. 2000.** Soil fumigation and runner plant production: A synthesis of four years of strawberry nursery field trials. *Sci.Hortic*, 35:642-646.
- López P., L., R. Cárdenas N., P. Lobit., O. Martínez C. y O. Escalante L. 2005.** Selección de un sustrato para el crecimiento de la fresa en hidroponía. *Fitotecnia Mexicana* 28: 171-174.
- López H, M., C. B. Peña V., J. R. Aguirre R., C. Trejo L. y A. L. López E. 2007.** Estudio comparativo de intercambio gaseoso y parámetros fotosintéticos en dos tipos de hojas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre y domesticado. *Revista UDO Agrícola* 7: 49-57.

- Lundy, M. 2007.** Análisis de sistema producto fresa en el valle de Zamora, Michoacán. México. InterCambios: 7:54-72.
- Martínez T., J. y G. H. León. 2004.** Producción de fresa en invernadero. *In:* Sánchez R., F.J., A. Moreno R., J.L. Puente M. y J. Araiza Ch. Memoria del IV Simposio de Horticultura. Invernaderos: Diseño, Manejo y Producción. Torreón, Coahuila, México. 123-134.
- Martínez B., M., D. Nieto A., D. Téliz O. J. Rodríguez A., Ma. T. Martínez D., H. Vaquera H. y O. Carrillo M. 2008.** Comparación cualitativa de fresas (*Fragaria x ananassa* Duch.) de cultivares mexicanos y estadounidenses. Revista Chapingo Serie Horticultura 14: 113-119.
- Maxwell, K. and N. Johnson G. 2000.** Chlorophyll fluorescence. A practical guide. J. Exp. Bot. 51: 659-668.
- Mitcham, E. J., Crisosto, C. H. y A. Kader A. 2002.** Fresa (frutilla): recomendaciones para mantener la calidad postcosecha. University of California, Davis. CA, USA. <http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/ProduceFacts/Espanol/Fresa.shtml>.
- Morgan, L. 2000.** Grow your own hydroponic strawberries. *In:* A. Knutson (ed). The best of the growing edge. Vol. 2. New Moon Publishing, Corvallis, OR, USA. pp.99-102.
- Morgan, L. 2005.** Hydroponics strawberries. *In:* T. Weller (ed). The best of the growing edge. Vol. 3. New Moon Publishing, Corvallis, OR, USA. pp. 34-42.
- Morgan, L. 2006.** Hydroponic strawberry production. A technical guide to the hydroponic production of strawberries. Suntec (NZ) Ltd, Tokomaru, New Zealand.
- Muñoz R., J. J. 2008.** Estructuras de los invernaderos y cubierta de protección. *In:* J. Z. Castellanos (ed). Manual de producción de tomate en invernadero. INTAGRY®. Celaya, Guanajuato. México. pp.19-44.
- Muñoz, R. A. F, M. Yuste, J. Labrador M. 2005.** Polinización de cultivos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 232 p.
- Nobel, P. S. 1991.** Physicochemical and environmental plant physiology. Academic Press. Los Angeles, CA, USA. 345-392.
- Nuez, F. 1995.** El cultivo de tomate. Mundi-Prensa. Madrid, España. pp:190-219.
- Ojeda, R., L. A., R. Cárdenas N., P. Lobit., O. Grageda C., E. Valencia C y L. Macías R. 2008.** Efecto de la nutrición nítrica y el sistema de riego en el sabor de la fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.).Revista Chapingo Serie Horticultura. 14: 61 -70.

- Olson, M. E., J. Ekwall, K. E. Gustavsson, J. Nilsson, D. Pillai, I. Sjöholm, U. Svensson, B. Akesson, and M. G. L. Nyman. 2004.** Antioxidants, low molecular weight carbohydrates, and antioxidant capacity in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.): effects of cultivar, ripening, and storage. *J. Agric. Food.* 52:2490-2498.
- Öquist, G. 1987.** Environmental stress and photosynthesis. *In:* J. Biggins (ed.). *Progress in photosynthesis research.* Vol IV. Martinus Nijhoff Publishers. Dordrecht, The Netherlands. 1-10 pp.
- Pagani, A., H. E. Echeverría, F. H. Andrade y H. R. Sainz R. 2010.** Es posible caracterizar el estatus nitrogenado en maíz con el medidor de clorofila si hay una deficiencia de azufre. *Informaciones Agronómicas* 47: 4-9.
- Paranjpe, A. 2007.** Winter strawberry production in greenhouses using soilless substrates: an alternative to methyl bromide soil fumigation. *Proceedings of the Florida State for Hortic. Sci.* 116: 98-105.
- Paranjpe, A. V, D. J. Cantliffe, P. J. Stoffella, E. M. Lamb, and C. A. Powell. 2008.** Relationship of plant density to fruit yield of ‘Sweet Charlie’ strawberry grown in a pine bark soilless medium in a high-roof passively ventilated greenhouse. *Sci. Hortic.* 115: 117–123.
- Paraskevopoulou, P.G., M. Grafiadellis, and E. Paresis. 1995.** Productivity, plant production and fruit quality of strawberry plants grown in soil and soilless culture. *Acta Hortic.* 408: 109-117.
- Peckenpaugh, D. 2004.** *Hydroponic solutions.* New Moon Publishing. Corvallis, OR, USA. Vol. 1. 121 P.
- Peña, E. J. 2004.** Ecofisiología de algas bénticas asociadas a manglar, En H. M. Cabrera (Ed) *Fisiología ecológica en plantas. Mecanismos y respuestas a estrés en los ecosistemas.* Pontificia Universidad de Valparaíso, Chile.
- Pérez C, M., J. Carew y N. Battey. 2005.** Efecto de la densidad de plantación sobre el crecimiento vegetativo y reproductivo de la fresa cv. elsanta. *Bioagro* 17: 11-15.
- Pérez A., J. M., E. J. Peña S y C. Torres G. 2007.** Efecto del nitrógeno y la irradiancia en la eficiencia fotosintética del anamú *Petiveria alliacea* (Phytolaccaceae). *Revista Académica Colombiana de la Ciencia.* 31(118): 49-55.
- Pérez A., J. L. 1979.** *Cultivo de fresa.* Ministerio de Agricultura. Madrid, España. 195 p.

- Pimentel E., J. L. 2008.** Impacto socioeconómico de las aguas superficiales y subterráneas en la cuenca del río Duero y su importancia en la producción de fresa. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Zamora, Michoacán. México.
- Pineli, L. O., C. Moretti L., M. S. Santos dos., A. B. Campos., A. V. Brasileiro., A. C. Cordova, and M. D. Chiarello. 2011.** Antioxidants and other chemical and physical characteristics of two strawberry cultivars at different ripeness stages. *J. Food Compos. Anal.* 24: 11–16.
- Pinto, M.S., F.M. Lajolo, and M.I. Genovese. 2008.** Bioactive compounds and quantification of total ellagic acid in strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Food Chem.*107: 1629–1635.
- Ragaert, P., W. Verbeke., F. Devlieghere, and J. Debevere. 2004.** Consumer perception and choice of minimally processed vegetables and packaged fruits. *Food Quality.* 15: 259–270.
- Razavi, F., B. Pollet, K. Steppe, and M.C. Van Labeke. 2008.** Chlorophyll fluorescence as a tool for evaluation of drought stress in strawberry. *Photosynthetica.* 46: 631-633.
- Resh, H. M. 2006.** Cultivos hidropónicos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 315-316 pp.
- Rizza, F., D. Pagani, A. M. Stanca, and L. Cattivelli. 2001.** Use of chlorophyll fluorescence to evaluate the cold acclimation and freezing tolerance of winter and oats. *Plant Breeding* 120: 389-396.
- Rodríguez A., J., O. Carrillo M. y R. V. del Río. 2009.** Generación de variedades de fresa adaptadas al subtrópico de México. 103-115. *In:* M. A. Velázquez y J. L. Pimentel E. (ed). *Agronomía de la fresa principios y nuevas tecnologías.* Instituto Politécnico Nacional. Zacatenco, México, DF. México.
- Rodríguez L., M. 2005.** Fertirrigación inorgánica y organomineral en el cultivo de la fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.cv Aromas) en invernadero. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, México, México.
- Rodrigo, D., Van Loey., A., and M. Hendrickx. 2007.** Combined thermal and high pressure colour degradation of tomato puree and strawberry juice. *J. Food Engin.* 79: 553–560.
- Roussos, P.A. N-K. Denaxa, and T. Damvakaris. 2009.** Strawberry fruit quality attributes after application of plant growth stimulating compounds. *Sci. Hort.* 119: 138–146.

- SAGARPA-SIAP. 2009.** Producción agrícola de la fresa. [http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=350](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350) 2 de mayo de 2011.
- Salisbury, F. B y C. W. Ross. 2000.** Fisiología de las plantas. Bioquímica vegetal. Paraninfo Thomson Learning. Madrid, España.
- Santoyo J., J. A. y C. O. Martínez A. 2010.** Paquete tecnológico para la producción de fresa. Fundación Produce Sinaloa. Culiacán, Sinaloa, México.
- Secretaría de Desarrollo Agropecuario de Michoacán. 2005.** Estadísticas agropecuarias de Michoacán. Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable. Morelia, Michoacán, México.
- Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2005.** Plan rector sistema nacional fresa. México, DF.
- Singh, R., R.R. Sharma, and R. K. Goyal, 2007.** Interactive effects of planting time and mulching on Chandler strawberry (*Fragaria H ananassa* Duch). *Sci. Hortic.* 111: 344-351.
- Scharf, P.C., S.M. Brouder, and R. G. Hoefft. 2006.** Chlorophyll meter readings can predict nitrogen need and yield response of corn in the North-central USA. *Agron. J.* 98:655-665.
- Siller C., J. H. y M. A. Báez S. 2009.** Recolección, empaque y manejo poscosecha. 409-426. *In:* J. Z. Castellanos (ed). Manual de producción de tomate en invernadero. INTAGRY® . Celaya, Guanajuato, México.
- Strand, L. 2008.** Integrated pest management for strawberries. University of California Agriculture and Natural Resources. Publication 3351. 176 p. Oakland, CA, USA.
- Strum, K., D. Koron, and F. Stampar. 2003.** The composition of fruit of different strawberry varieties depending on maturity stage. *Food Chem.* 83: 417-422.
- Tabatabaei, S.J., M. Yusefi, and J. Hajiloo. 2008.** Effect of shading and NO<sub>3</sub>:NH<sub>4</sub> ratio on yield, quality an N metabolism in strawberry. *Sci. Hortic.* 116: 264-272.
- Taiz, L. y E. Zeiger. 2006.** Fisiología vegetal. Universitat Jaume. Vol. 1. Castelló de la Planta, Espanya.

- Tulipani, s., J. M. Álvarez S., F. Busco., S. Bompadre., J. L. Quiles., B. Mezzetti, and M. Battino. 2011.** Strawberry consumption improves plasma antioxidant status and erythrocyte resistance to oxidative haemolysis in humans. *Food Chem.* 128: 180–186.
- Tulipani, S., B. Mezzetti., F. Capocasa., S. Bompadre., Ric de Vos. Beekwilder., J.C.H., E. Capanoglu., A. Bovy, and M. Battino. 2008.** Antioxidants, phenolic compounds, and nutritional quality of different strawberry genotypes. *J. Agric. Food Chem.* 56: 696–704.
- Varela S., A. 2010.** Aspectos básicos de la fisiología en respuesta a estrés y el clima como condicionamiento del mismo en las plantas. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires, Argentina.
- Vega D., R. 2008.** Manejo de la producción de fresa en hidroponía e invernadero. 141-159. *In:* M. A. Velázquez y J. L. Pimentel E (ed.). *Agronomía de la fresa principios y nuevas tecnologías.* Instituto Politécnico Nacional. Zacatenco, México, DF. México.
- Vlachonasios, C., M. Vasilakakis, C. Dogras, and M. Mastrokostas. 1995.** Out of season glasshouse strawberry production in North Greece. *Acta Hortic.* 379: 305–312.
- Wang, S. and M. Camp. 2000.** Temperatures after bloom affect plant growth and fruit quality of strawberry. *J. Hortic. Sci.* 85: 183–199.
- Wang, S. Y. and H. S. Lin. 2000.** Antioxidant activity in fruits and leaves of blackberry, raspberry, and strawberry varies with cultivar and development. *J. Agric. Food Chem.* 48: 140–146.
- Yuan, B.Z. and S. N. Sun. 2004.** Effect of drip irrigation on strawberry growth and yield inside a plastic greenhouse. *Biosystems Engineering.* 87: 237-245.

## 9. APÉNDICE A

**Cuadro 1A.** Análisis de varianza de las lecturas SPAD a los 75, 105 y 135 días después del trasplante en los sistemas hidropónicos.

<b>lecturas SPAD a los 75 días después del trasplante</b>					
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>Pr&gt;F</b>
Bloque	2	3.8349	1.9174	0.54	0.6064
Tratamiento	3	0.3920	0.1306	0.04	0.9895
Error	6	21.1378	3.5229		
Total	11	25.3648			
<b>lecturas SPAD a los 105 días después del trasplante</b>					
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>Pr&gt;F</b>
Bloque	2	0.4132	0.2066	0.23	0.7983
Tratamiento	3	1.9270	0.6423	0.73	0.572
Error	6	5.2995	0.8832		
Total	11	7.6398			
<b>lecturas SPAD a los 135 días después del trasplante</b>					
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>Pr&gt;F</b>
Bloque	2	3.3880	1.6940	2.20	0.1922
Tratamiento	3	0.6050	0.2016	0.26	0.8507
Error	6	4.6224	0.7704		
Total	11	8.6154			

FV: fuentes de variación; GL: grados de libertad; S.C: suma de cuadrados; C.M: cuadrado medio; F.C: F-calculada; Pr>F: probabilidad mayor que F.

**Cuadro 2A.** Análisis de varianza de fluorescencia inicial (Fo) a los 65 y 115 días después del trasplante en los sistemas hidropónicos.

<b>Fluorescencia inicial a los 65 días después del trasplante</b>					
<b>F.V</b>	<b>G.L.</b>	<b>S.C.</b>	<b>C.M.</b>	<b>F.C.</b>	<b>Pr&gt;F</b>
Bloque	2	202.6667	101.3333	0.46	0.6357
Tratamiento	3	2381.4167	793.8055	3.60	0.0247
Error	30	6610.6666	220.3555		
Total	35	9194.7500			
<b>Fluorescencia inicial a los 115 días después del trasplante</b>					
<b>F.V</b>	<b>G.L.</b>	<b>S.C.</b>	<b>C.M.</b>	<b>F.C.</b>	<b>Pr&gt;F</b>
Bloque	2	246.0555	123.0277	0.46	0.6327
Tratamiento	3	445.3333	148.4444	0.56	0.645
Error	30	7940.1666	264.6722		
Total	35	8631.5555			

F.V: Fuentes de variación; GL: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: cuadrado medio; FC: f-calculada; Pr>F: probabilidad mayor que F.



**Cuadro 3A.** Análisis de varianza de fluorescencia máxima (Fm) a los 65 y 115 días después del trasplante en los sistemas hidropónicos.

<b>Fluorescencia máxima a los 65 días después del trasplante</b>					
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>Pr&gt;F</b>
Bloque	2	47503.167	23751.583	0.89	0.4226
Tratamiento	3	868624.75	289541.58	10.81	<.0001
Error	30	803638.83	26787.961		
Total	35	1719766.8			
<b>Fluorescencia máxima a los 115 días después del trasplante</b>					
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>Pr&gt;F</b>
Bloque	2	85361.167	42680.583	1.52	0.2341
Tratamiento	3	89038.306	29679.435	1.06	0.3807
Error	30	839909.28	27996.976		
Total	35	1014308.8			

FV: fuentes de variación; GL: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: cuadrado medio; FC: f-calculada; Pr>F: probabilidad mayor que F.

**Cuadro 4A.** Análisis de varianza de fluorescencia variable (Fv) a los 65 y 115 días después del trasplante en los sistemas hidropónicos.

<b>Fluorescencia variable a los 65 días después del trasplante</b>					
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>Pr&gt;F</b>
Bloque	2	42030.222	21015.111	0.88	0.4244
Tratamiento	3	792250.75	264083.58	11.08	<.0001
Error	30	714788	23826.267		
Total	35	1549069			
<b>Fluorescencia variable a los 115 días después del trasplante</b>					
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>Pr&gt;F</b>
Bloque	2	87848.722	43924.361	1.63	0.2137
Tratamiento	3	83631.639	27877.213	1.03	0.3926
Error	30	810647.94	27021.598		
Total	35	982128.31			

FV: fuentes de variación; GL: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: cuadrado medio; FC: f-calculada; Pr>F: probabilidad mayor que F.

**Cuadro 5A.** Análisis de varianza de la relación Fv/Fm (eficiencia cuántica máxima del fotosistema II) a los 65 y 115 días después del trasplante en los sistemas hidropónicos.

<b>Relación Fv/Fm a los 65 días después del trasplante</b>					
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>Pr&gt;F</b>
Bloque	2	0.0001	0.0001	0.72	0.4951
Tratamiento	3	0.0015	0.0005	9.93	0.0001
Error	30	0.0015	0.0001		
Total	35	0.0031			
<b>Relación Fv/Fm a los 115 días después del trasplante</b>					
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>Pr&gt;F</b>
Bloque	2	0.0003	0.0001	1.73	0.1941
Tratamiento	3	0.0002	0.0001	0.74	0.5391
Error	30	0.0024	0.0001		
Total	35	0.0028			

FV: fuentes de variación; GL: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: cuadrado medio; FC: f-calculada; Pr>F: probabilidad mayor que F.

**Cuadro 6A.** Análisis de varianza del tiempo de fluorescencia máxima (Tfm) a los 65 y 115 días después del trasplante en los sistemas hidropónicos.

<b>Tiempo de la Fm a los 65 días después del trasplante</b>					
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>Pr&gt;F</b>
Bloque	2	5000.0000	2500.0000	0.46	0.6333
Tratamiento	3	313333.3300	104444.4400	19.38	<.0001
Error	30	161666.6700	5388.8889		
Total	35	480000.0000			
<b>Tiempo de la Fm a los 115 días después del trasplante</b>					
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>Pr&gt;F</b>
Bloque	2	73888.8890	36944.4440	4.95	0.0139
Tratamiento	3	67777.7780	22592.5930	3.03	0.0448
Error	30	223888.8900	7462.9630		
Total	35	365555.5600			

FV: fuentes de variación; GL: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: cuadrado medio; FC: f-calculada; Pr>F: probabilidad mayor que F.

**Cuadro 7A.** Análisis de varianza del Área a los 65 y 115 días después del trasplante en los sistemas hidropónicos.

<b>Área a los 65 días después del trasplante</b>					
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>Pr&gt;F</b>
Bloque	2	367200035	183600017	0.72	0.4961
Tratamiento	3	26989423802	8996474601	35.16	<.0001
Error	30	7676457187	255881906		
Total	35	35033081024			
<b>Área a los 115 días después del trasplante</b>					
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>Pr&gt;F</b>
Bloque	2	3272748889	1636374444	5.67	0.0082
Tratamiento	3	806332222	268777407	0.93	0.4378
Error	30	8660024444	288667481		
Total	35	12739105556			

FV: fuentes de variación; GL: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: cuadrado medio; FC: f-calculada; Pr>F: probabilidad mayor que F.

**Cuadro 8A.** Análisis de varianza de la irradiancia fotosintética incidente en los sistemas hidropónicos.

<b>Irradiancia fotosintética incidente en los sistemas hidropónicos</b>					
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>Pr&gt;F</b>
Bloque	2	192.2784	96.1392	3.17	0.1149
Tratamiento	3	1951.1011	650.367	21.45	0.0013
Error	6	181.9281	30.3213		
Total	11	2325.3076			
<b>Irradiancia fotosintética incidente en los niveles de los sistemas hidropónicos</b>					
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>Pr&gt;F</b>
Bloque	2	447.0236	223.5118	2.68	0.0934
Tratamiento	10	17182.6424	1718.2642	20.57	<.0001
Error	20	1671.043	83.5521		
Total	32	19300.7091			

FV: fuentes de variación; GL: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: cuadrado medio; FC: f-calculada; Pr>F: probabilidad mayor que F.

**Cuadro 9A.** Análisis de varianza de la temperatura de la hoja y del sustrato de niveles de los sistemas hidropónicos.

<b>Temperatura de hoja</b>					
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>Pr&gt;F</b>
Bloque	2	0.1953	0.0976	0.05	0.9484
Tratamiento	10	142.3373	14.2337	7.75	<.0001
Error	20	36.7482	1.8374		
Total	32	179.2807			
<b>Temperatura de sustrato</b>					
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>Pr&gt;F</b>
Bloque	2	0.9477	0.4738	0.20	0.8178
Tratamiento	10	200.3511	20.0351	8.59	<.0001
Error	20	46.6358	2.3318		
Total	32	247.9346			

FV: fuentes de variación; GL: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: cuadrado medio; FC: f-calculada; Pr>F: probabilidad mayor que F.

**Cuadro 10A.** Análisis de varianza de rendimiento acumulado de los sistemas hidropónicos.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>Pr&gt;F</b>
Bloque	2	205605.81	102802.90	1.74	0.2543
Tratamiento	3	6089295.08	2029765.02	34.26	0.0004
Error	6	355434.54	59239.09		
Total	11	6650335.44			

FV: fuentes de variación; GL: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: cuadrado medio; FC: f-calculada; Pr>F: probabilidad mayor que F.

**Cuadro 11A.** Análisis de varianza de grados brix en cada nivel de los sistemas hidropónicos para la producción de fresa.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>Pr&gt;F</b>
Bloque	2	1.2977	0.6489	4.14	0.0286
Tratamiento	12	24.1136	2.0095	12.81	<.0001
Error	24	3.7635	0.1568		
Total	38	29.1748			

FV: fuentes de variación; GL: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: cuadrado medio; FC: f-calculada; Pr>F: probabilidad mayor que F.

**Cuadro 12A.** Análisis de varianza del número de frutos respecto al tamaño de la fruta en los sistemas hidropónicos.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>Pr&gt;F</b>
Bloque	2	160.6666	80.3333	1.89	0.2314
Tratamiento	3	7272.5000	2424.1666	56.93	<.0001
Error	6	255.5000	42.5833		
Total	11	7688.6666			

FV: fuentes de variación; GL: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: cuadrado medio; FC: f-calculada; Pr>F: probabilidad mayor que F.

**Cuadro 13A.** Análisis de varianza del tamaño de la fruta según la categoría en los sistemas hidropónicos.

<b>Categoría A</b>					
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>Pr&gt;F</b>
Bloque	2	143.375	71.6875	3.59	0.0943
Tratamiento	3	1127.3958	375.7986	18.82	0.0019
Error	6	119.7916	19.9652		
Total	11	1390.5625			
<b>Categoría B</b>					
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>Pr&gt;F</b>
Bloque	2	2.7916	1.3958	0.15	0.8624
Tratamiento	3	1147.2291	382.4097	41.56	0.0002
Error	6	55.2083	9.2013		
Total	11	1205.2291			
<b>Categoría C</b>					
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>Pr&gt;F</b>
Bloque	2	112.7916	56.3958	3.14	0.1168
Tratamiento	3	350.5000	116.8333	6.50	0.0259
Error	6	107.8750	17.9791		
Total	11	571.1666			
<b>Categoría D</b>					
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>Pr&gt;F</b>
Bloque	2	3.7916	1.8958	2.42	0.17
Tratamiento	3	8.4166	2.8055	3.58	0.0862
Error	6	4.7083	0.7847		
Total	11	16.9166			

FV: fuentes de variación; GL: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: cuadrado medio; FC: f-calculada; Pr>F: probabilidad mayor que F.

**Cuadro 14A.** Análisis de varianza del número de frutos por m<sup>2</sup> respecto a grados de calidad de la fruta en los sistemas hidropónicos

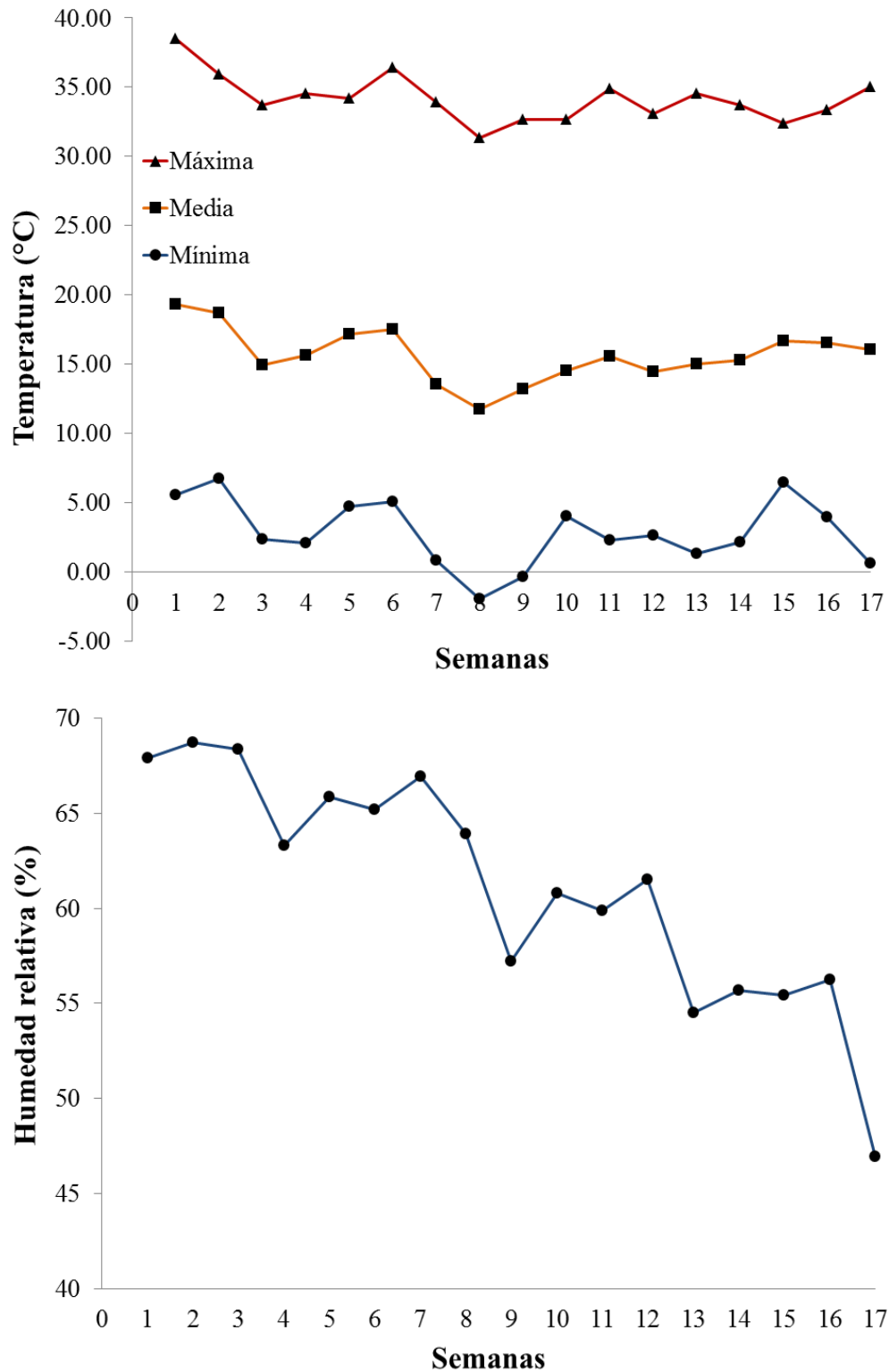
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>Pr&gt;F</b>
Bloque	2	2.0000	1.0000	0.40	0.6870
Tratamiento	3	7088.7500	2362.9166	945.17	<.0001
Error	6	15.0000	2.5000		
Total	11	7105.7500			

FV: fuentes de variación; GL: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: cuadrado medio; FC: f-calculada; Pr>F: probabilidad mayor que F.

**Cuadro 15A.** Análisis de varianza de grados de calidad de la fruta en los sistemas hidropónicos.

<b>Calidad extra</b>					
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>Pr&gt;F</b>
Bloque	2	4.0416	2.0208	0.25	0.7838
Tratamiento	3	972.8958	324.2986	40.71	0.0002
Error	6	47.7916	7.9652		
Total	11	1024.7291			
<b>Calidad primera</b>					
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>Pr&gt;F</b>
Bloque	2	46.7916	23.3958	2.46	0.1658
Tratamiento	3	982.3958	327.4652	34.44	0.0004
Error	6	57.0416	9.5069		
Total	11	1086.2291			
<b>Calidad segunda</b>					
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>Pr&gt;F</b>
Bloque	2	54.5000	27.2500	1.77	0.2487
Tratamiento	3	553.1666	184.3888	11.98	0.006
Error	6	92.3333	15.3888		
Total	11	700.0000			

FV: fuentes de variación; GL: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: cuadrado medio; FC: f-calculada; Pr>F: probabilidad mayor que F.



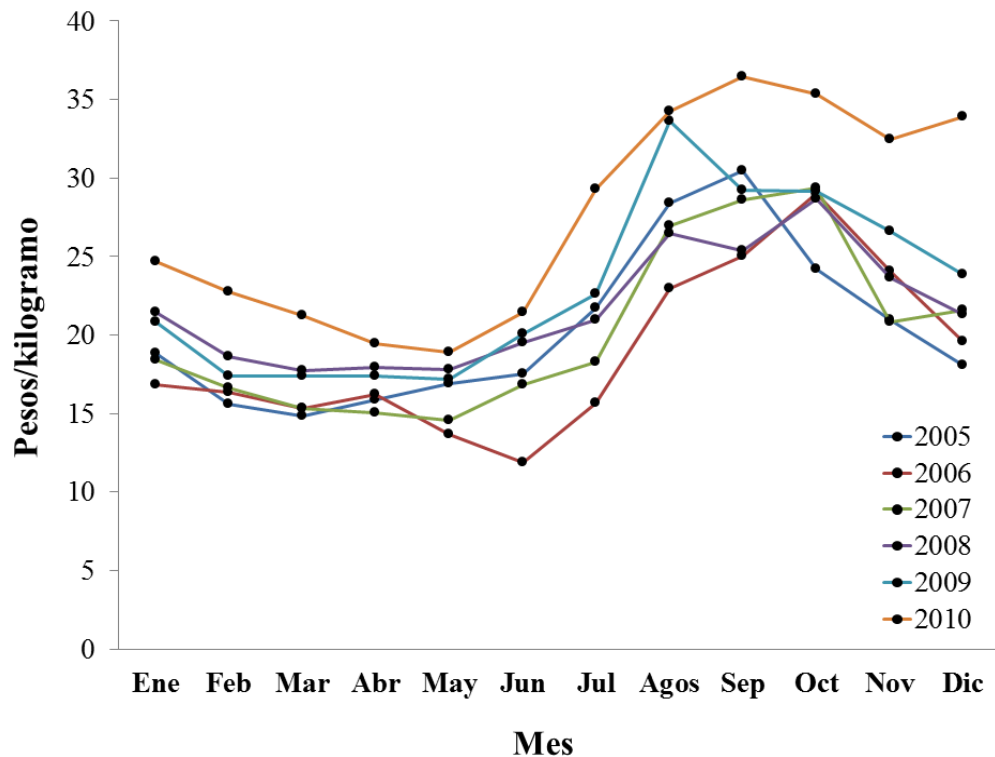
**Figura 1A.** Temperatura promedio máxima, media y mínima y humedad relativa promedio semanal registrada con el HOBO® Data Logger modelo U12-012 durante el experimento (15 de octubre de 2010 a 21 de febrero de 2011).

**Cuadro 16A.** Datos meteorológicos 30 días antes de la primera y segunda lectura de fluorescencia de clorofila.

Fecha	Temperatura (°C)			Helada (días)	Irradiancia media MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>
	Máxima	Mínima	Media		
08/dic/2010	35.07	3.49	16.21	4	5.94
28/ene/2011	33.77	2.17	14.99	1	5.79

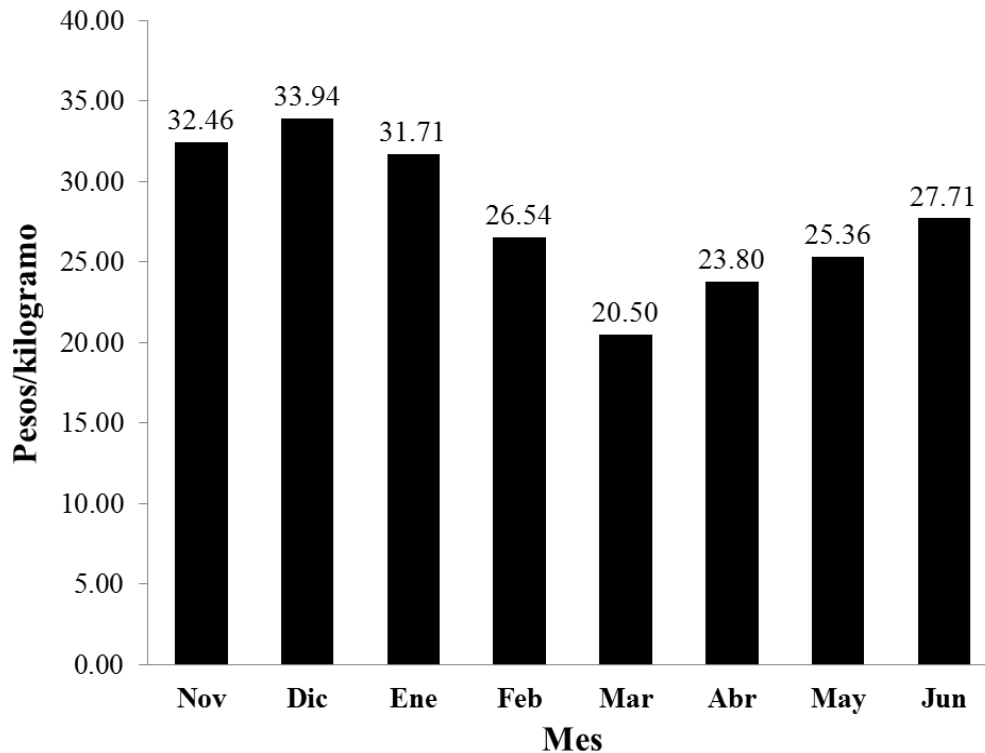
### Rentabilidad de los sistemas hidropónicos

**Nota:** El precio de la fresa del periodo de noviembre de 2010 a junio de 2011 fue de \$27.75, mientras que el promedio anual de 2005 a 2010 fue de \$25.26. Con estos registros se observa que no existe mucha diferencia entre el precio actual e histórico, por lo que se tomó como referencia el precio de actual de la fresa.



**Figura 2A.** Precio mensual de la fresa del 2005 a 2010 (SIAP-SAGARPA, 2011).





**Figura 3A.** Precio de la fresa de noviembre de 2010 a junio de 2011 (SIAP-SAGARPA, 2011).

**Cuadro 17A.** Porcentaje de frutos de calidad de exportación del cultivar camino real en Zamora, Michoacán (Rodríguez *et al*, 2009).

Variedad	Exp	Noviembre (%)			Diciembre (%)			
		Pch	Pdef	Enf	Exp	Pch	Pdef	Enf
CP-Roxana	60	34	6	0	55	39	6	0
CP-Paola	55	26	18	1	55	40	5	0
CP-J	23	41	36	0	26	47	27	0
Camarosa	47	27	26	0	72	20	8	0
Festival	59	23	18	0	79	15	6	0
<b>Camino real</b>	<b>35.5</b>	<b>40.5</b>	<b>24</b>	<b>0</b>	<b>78</b>	<b>22</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Variedad	Exp	Enero (%)			Febrero (%)			
		Pch	Pdef	Enf	Exp	Pch	Pdef	Enf
CP-Roxana	38	57.4	4.2	0.4	17	64.7	17.6	0.7
CP-Paola	30.2	62.3	7.5	0	31.6	46.9	21.3	0.2
CP-J	11.3	42	46.6	0.1	11	36.5	52.5	0
Camarosa	49.7	39.7	8.8	1.8	33.5	30.4	34.7	1.4
Festival	69	29.3	1.5	0.2	45	47.4	7.1	0.5
<b>Camino real</b>	<b>92.1</b>	<b>7.1</b>	<b>0</b>	<b>0.8</b>	<b>83.3</b>	<b>15.2</b>	<b>1.5</b>	<b>0</b>
Variedad	Exp	Marzo (%)						
		Pch	Pdef	Enf				
CP-Roxana	4.4	72.1	21.7	1.8				
CP-Paola	19	60	19.4	1.6				
CP-J	7.9	54.6	36.1	1.4				
Camarosa	22.1	51.7	22.9	3.3				
Festival	32	52.1	13.8	2.1				
<b>Camino real</b>	<b>54.3</b>	<b>39</b>	<b>5</b>	<b>1.7</b>				

**Cuadro 18A.** Costo de producción por año en los sistemas hidropónicos.

<b>Costo de producción de bolsas individuales</b>								
	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>	<b>Año 8</b>
Capital de trabajo								
Preparación del terreno	56475.00	0.00	64875.00	0.00	64875.00	0.00	64875.00	0.00
Siembra	103279.36	2000.00	103279.36	2000.00	103279.36	2000.00	103279.36	2000.00
Fertilización	85618.50	85618.50	85618.50	85618.50	85618.50	85618.50	85618.50	85618.50
Control de malezas	1880.00	1880.00	1880.00	1880.00	1880.00	1880.00	1880.00	1880.00
Control de plagas y enfermedades	10268.80	10268.80	10268.80	10268.80	10268.80	10268.80	10268.80	10268.80
Cosecha	55778.27	55778.27	55778.27	55778.27	55778.27	55778.27	55778.27	55778.27
Diversos	3850.00	3850.00	3850.00	3850.00	3850.00	3850.00	3850.00	3850.00
Inversión fija	1737066.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Inversión diferida	2400.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Costos fijos	8400.00	8400.00	8400.00	8400.00	8400.00	8400.00	8400.00	8400.00
Costo total	2065016.06	167795.57	333949.93	167795.57	333949.93	167795.57	333949.93	167795.57
<b>Costo de producción de vertical con tres tubos</b>								
	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>	<b>Año 8</b>
Capital de trabajo								
Preparación del terreno	90350.00	0.00	83750.00	0.00	83750.00	0.00	83750.00	0.00
Siembra	2965904.00	4000.00	51200.00	4000.00	51200.00	4000.00	51200.00	4000.00
Fertilización	172611.50	172611.50	172611.50	172611.50	172611.50	172611.50	172611.50	172611.50
Control de malezas	2820.00	2820.00	2820.00	2820.00	2820.00	2820.00	2820.00	2820.00
Control de plagas y enfermedades	20537.60	20537.60	20537.60	20537.60	20537.60	20537.60	20537.60	20537.60
Cosecha	175692.56	174792.56	174792.56	174792.56	174792.56	174792.56	174792.56	174792.56
Diversos	3850.00	3850.00	3850.00	3850.00	3850.00	3850.00	3850.00	3850.00
Inversión fija	1743276.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Inversión diferida	2400.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Costos fijos	8400.00	8400.00	8400.00	8400.00	8400.00	8400.00	8400.00	8400.00
Costo total	5185841.79	387011.66	517961.66	387011.66	517961.66	387011.66	517961.66	387011.66
<b>Costo de producción de vertical con cuatro tubos</b>								
	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>	<b>Año 8</b>
Capital de trabajo								
Preparación del terreno	90350.00	0.00	103750.00	0.00	103750.00	0.00	103750.00	0.00
Siembra	3951872.00	4000.00	67600.00	4000.00	65600.00	4000.00	65600.00	4000.00
Fertilización	239542.75	239542.75	239542.75	239542.75	239542.75	239542.75	239542.75	239542.75
Control de malezas	3540.00	3540.00	3540.00	3540.00	3540.00	3540.00	3540.00	3540.00
Control de plagas y enfermedades	26602.00	26602.00	26602.00	26602.00	26602.00	26602.00	26602.00	26602.00
Cosecha	252332.58	251282.58	251282.58	251282.58	251282.58	251282.58	251282.58	251282.58
Diversos	3850.00	3850.00	3850.00	3850.00	3850.00	3850.00	3850.00	3850.00
Inversión fija	1743276.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Inversión diferida	2400.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Costos fijos	8400.00	8400.00	8400.00	8400.00	8400.00	8400.00	8400.00	8400.00
Costo total	6322165.46	537217.33	704567.33	537217.33	702567.33	537217.33	702567.33	537217.33
<b>Costo de producción de macetas hidropónicas</b>								
	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>	<b>Año 8</b>
Capital de trabajo								
Preparación del terreno	144100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Siembra	1929000.00	6000.00	96000.00	6000.00	1929000.00	6000.00	96000.00	6000.00
Fertilización	337407.25	337407.25	337407.25	337407.25	337407.25	337407.25	337407.25	337407.25
Control de malezas	4480.00	4480.00	4480.00	4480.00	4480.00	4480.00	4480.00	4480.00
Control de plagas y enfermedades	32622.60	32622.60	32622.60	32622.60	32622.60	32622.60	32622.60	32622.60
Cosecha	304836.12	303636.12	303636.12	303636.12	303636.12	303636.12	303636.12	303636.12
Diversos	3850.00	3850.00	3850.00	3850.00	3850.00	3850.00	3850.00	3850.00
Inversión fija	1743696.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Inversión diferida	2400.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Costos fijos	8400.00	8400.00	8400.00	8400.00	8400.00	8400.00	8400.00	8400.00
Costo total	4510792.10	696395.97	786395.97	696395.97	2619395.97	696395.97	786395.97	696395.97

**Cuadro 19A.** Cálculo de flujo de efectivo por año en los sistemas hidropónicos.

<b>Bolsas individuales</b>	<b>Año 0</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>	<b>Año 8</b>
Inversión inicial	1795941.13								
Ingreso (Entrada)		406627.39	406627.39	406627.39	406627.39	406627.39	406627.39	406627.39	406627.39
Costo de producción (Salida)		269074.93	167795.57	333949.93	167795.57	333949.93	167795.57	333949.93	167795.57
Flujo de efectivo		137552.46	238831.82	72677.46	238831.82	72677.46	238831.82	72677.46	238831.82
Flujo de efectivo acumulado		137552.46	376384.28	449061.74	687893.55	760571.01	999402.83	1072080.29	1310912.11
<b>Vertical con tres tubos</b>		<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>	<b>Año 8</b>
Inversión inicial	1836026.13								
Ingreso (Entrada)		1256820.66	1256820.66	1256820.66	1256820.66	1256820.66	1256820.66	1256820.66	1256820.66
Costo de producción (Salida)		3349815.66	387011.66	517961.66	387011.66	517961.66	387011.66	517961.66	387011.66
Flujo de efectivo		-2092995.00	869809.00	738859.00	869809.00	738859.00	869809.00	738859.00	869809.00
Flujo de efectivo acumulado		-2092995.00	-1223185.99	-484326.99	385482.02	1124341.02	1994150.03	2733009.03	3602818.03
<b>Vertical con cuatro tubos</b>		<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>	<b>Año 8</b>
Inversión inicial	1836026.13								
Ingreso (Entrada)		1806793.71	1806793.71	1806793.71	1806793.71	1806793.71	1806793.71	1806793.71	1806793.71
Costo de producción (Salida)		4486139.33	537217.33	704567.33	537217.33	702567.33	537217.33	702567.33	537217.33
Flujo de efectivo		-2679345.62	1269576.38	1102226.38	1269576.38	1104226.38	1269576.38	1104226.38	1269576.38
Flujo de efectivo acumulado		-2679345.62	-1409769.23	-307542.85	962033.53	2066259.91	3335836.30	4440062.68	5709639.06
<b>Vertical con macetas hidropónicas</b>		<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>	<b>Año 8</b>
Inversión inicial	1890196.13								
Ingreso (Entrada)		2026143.29	2026143.29	2026143.29	2026143.29	2026143.29	2026143.29	2026143.29	2026143.29
Costo de producción (Salida)		2620595.97	696395.97	786395.97	696395.97	2619395.97	696395.97	786395.97	696395.97
Flujo de efectivo		-594452.68	1329747.32	1239747.32	1329747.32	-593252.68	1329747.32	1239747.32	1329747.32
Flujo de efectivo acumulado		-594452.68	735294.64	1975041.96	3304789.28	2711536.60	4041283.93	5281031.25	6610778.57

**Cuadro 20A.** Capital de trabajo en los sistemas hidropónicos.

Concepto	Unidad	Costo unitario	BI	V3T	V4T	VMH
			Número de veces			
<b>Preparación del terreno</b>						
Sustrato (Tezontle)	m <sup>3</sup>	75.00	545	850	850	1300
Barbecho	Ha	800.00	1	1	1	1
Rastreo	Ha	400.00	1	1	1	1
Nivelación	Ha	400.00	1	1	1	1
Llenado y acomodo de bolsas	J	100.00	140	0	0	0
Instalación del sistema	J	100.00	0	250	250	450
<b>Siembra</b>						
Bolsas de polietileno 35 x 35 calibre 600	Kg	35.04	2234	0	0	0
Cuadrado metálico de 3/4 cal. 20	Pza	15.31	0	19200	25600	0
Macetas hidropónicas	Pza	24.36	0	0	0	75000
Tubos de PVC 150 mm	Pza	545.99	0	4800	6400	0
Planta de fresa	Planta	0.30	70000	144000	192000	300000
Plantación	J	100.00	20	40	50	60
Podas	J	100.00	20	40	50	60
<b>Fertilización</b>						
Nitrato de calcio 25 kg	Kg	14.29	52	105	144	225
Nitrato de potasio 25 kg	Kg	22.22	40	80	110	150
Sulfato de potasio 25 kg	Kg	40.69	32	65	89	130
Ácido sulfúrico 50 kg	L	35.00	1	2	3	3
Sulfato de magnesio 50 kg	Kg	23.00	1	2	4	4
Mezcla de micronutrientos (Fermil soluble)	Kg	20.00	1	2	3	3
Multi-micro Fe-EDTA 13%	Kg	134.78	1	2	3	3
Preparación de la solución nutritiva	J	100.00	55	110	150	200
<b>Control de malezas</b>						
herbicidas	L	220.00	4	6	7	9
Aplicación de herbicida	J	100.00	10	15	20	25
<b>Control de plagas y enfermedades</b>						
Agrimec 1.8%	Pza	562.50	2	4	5	6
Confidor	L	1722.00	1	2	3	4
Lanate LV LT	L	240.00	2	4	5	6
Rally 40 WPH 114 g	Pza	383.00	3	6	7	8
Amistar GD 500 g	Pza	1504.50	2	4	5	6
Ridomil gold MZ WG	Kg	521.00	1	2	3	4
Aplicación de pesticidas	J	100.00	20	40	50	60
Gasolina para aspersoras	L	8.76	30	60	75	85
<b>Cosecha</b>						
Recolección y selección	Kg	1.25	17120	52915.2	76070.4	91920
Flete	Kg	0.20	17120	52915.2	76070.4	91920
Botes de plástico para cosecha	Pza	30.00	10	30	35	40
Caja de cartón corrugada 5 kg	Pza	1.34	3424	7264	10443	12618
Bandejas Clamshell 0.5 kg	Pza	1.52	18802	58113	83544	100950
<b>Diversos</b>						
Renta de baño portátil	Ha	3850.00	1	1	1	1