



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

**Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo  
Integral Regional, Unidad Oaxaca**

Maestría en Ciencias en Conservación y

Aprovechamiento de Recursos Naturales

Protección y Producción Vegetal

**CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA Y PRODUCCIÓN  
INTENSIVA DE FRESA (*Fragaria spp.*) EN CONTENEDORES  
ESCALERIFORMES, BAJO INVERNADERO**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

PRESENTA:

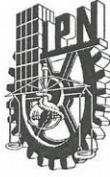
**FEDERICO VELASCO LÓPEZ**

DIRECTORES DE TESIS:

DR. GABINO ALBERTO MARTÍNEZ GUTIÉRREZ

DR. ISIDRO MORALES GARCÍA

Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México, 2017



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

## ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Oaxaca Siendo las 13:00 horas del día 22 del mes de mayo del 2017 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIIDIR UNIDAD OAXACA para examinar la tesis titulada:

Caracterización climática y producción intensiva de fresa (*Fragaria* spp.) en contenedores escaleriformes, bajo invernadero.

Presentada por el alumno:

<u>Velasco</u>	<u>López</u>
Apellido paterno	Apellido materno
Nombre(s) <u>Federico</u>	

Con registro: 

A	1	5	0	0	0	5
---	---	---	---	---	---	---

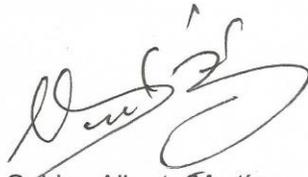
aspirante de:

Maestría en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales

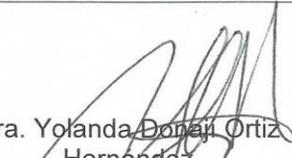
Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

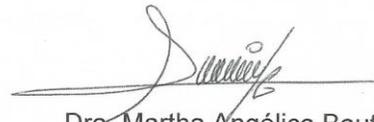
### LA COMISIÓN REVISORA

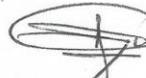
Directores de tesis

  
 Dr. Gabino Alberto Martínez  
 Gutiérrez

  
 Dr. Isidro Morales García

  
 Dra. Yolanda Donají Ortiz  
 Hernández

  
 Dra. Martha Angélica Bautista Cruz

  
 Dr. Teodulfo Aquino Bolaños



PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

  
 Dr. Salvador Isidro Belmonte Jiménez

CENTRO INTERDISCIPLINARIO  
DE INVESTIGACIÓN PARA EL  
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL  
C.I.I.D.I.R.  
UNIDAD OAXACA  
I.P.N.



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

**CARTA CESIÓN DE DERECHOS**

En la Ciudad de México, D.F. el día 22 del mes de mayo del año 2017, el (la) que suscribe VELASCO LÓPEZ FEDERICO alumno(a) del Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES, con número de registro A150005, adscrito(a) al **Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca**, manifiesto(a) que es el (la) autor(a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del (de la, de los) **Dres. Gabino Alberto Martínez Gutiérrez e Isidro Morales García** y cede los derechos del trabajo titulado Caracterización climática y producción intensiva de fresa (*Fragaria spp.*) en contenedores escaleriformes, bajo invernadero, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del (de la) autor(a) y/o director(es) del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a las siguientes direcciones [posgradoax@hotmail.com](mailto:posgradoax@hotmail.com) ó [feder.velasco@gmail.com](mailto:feder.velasco@gmail.com). Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

  
VELASCO LÓPEZ FEDERICO  
Nombre y firma del alumno(a)



Dedicatoria:

*A todos las personas e instituciones que colaboraron en el desarrollo de esta  
Tesis.*

## AGRADECIMIENTOS

*Al Centro Interdisciplinario de Investigación para el desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca del Instituto Politécnico Nacional y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por los apoyos que me brindaron en el proceso de mi formación.*

Federico Velasco López

## CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS .....	3
ÍNDICE DE FIGURAS .....	4
RESUMEN .....	5
ABSTRACT .....	6
I INTRODUCCIÓN .....	7
II REVISIÓN DE LITERATURA .....	8
2.1 El cultivo de la fresa .....	8
2.2 Sistemas intensivos de producción .....	8
2.3 Aspectos de la radiación solar .....	9
2.3.1 Radiación global .....	9
2.3.2 Radiación fotosintéticamente activa .....	10
2.3.3 Radiación fotosintéticamente activa integrada .....	10
2.3.4 Transmitancia .....	11
2.4 Relación entre el rendimiento, propiedades organolépticas y la radiación .....	12
III JUSTIFICACIÓN .....	13
IV OBJETIVOS E HIPÓTESIS .....	14
4.1 Objetivo general .....	15
4.2 Objetivo específico .....	15
4.3 Hipótesis .....	15
V MATERIALES Y MÉTODOS .....	16
5.1 Localización del experimento .....	16
5.2. Material vegetal y sustrato .....	16
5.3 Contenedores y tratamientos .....	17

5.4 Variables climáticas.....	19
5.4.1 Radiación global .....	19
5.4.2 Duración del día soleado (fotoperiodo).....	19
5.4.3 Temperatura y humedad relativa .....	20
5.5 Radiación fotosintéticamente activa.....	20
5.6 Radiación fotosintéticamente activa integrada .....	20
5.7 Transmitancia .....	20
5.8 Número, calibre de fruto y rendimiento .....	21
5.10 Volumen, pH y CE del fertirriego y drenaje .....	22
5.11 Diseño experimental y análisis de datos.....	22
VI RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
6.1 Variables climáticas.....	22
6.2 Radiación fotosintéticamente activa.....	23
6.3 Radiación fotosintéticamente activa integrada.....	24
6.4 Transmitancia .....	26
6.5 Número, calibre y rendimiento de fruto .....	27
6.6 Sólidos solubles totales.....	30
6.7 Fertirriego y drenaje .....	31
VII CONCLUSIONES .....	34
VIII BIBLIOGRAFÍA .....	35

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Propiedades físicas de la corteza de <i>Pinus spp.</i> utilizada como sustrato en el cultivo de fresa.....	16
Cuadro 2. Solución nutritiva utilizada en el cultivo de fresa hidropónica en contenedores escaleriformes.....	17
Cuadro 3. Clasificación por tamaños de los frutos de fresa, diámetro ecuatorial, según la NMX 062.....	21
Cuadro 4. Distribución de la producción de fresa usando contenedores escaleriformes y sustrato corteza de <i>Pinus spp.</i> durante seis meses.....	29
Cuadro 5. Sólidos solubles totales (°Brix) de los frutos de fresa en diferentes alturas en contenedores escaleriformes.....	31
Cuadro 6. Parámetros del drenaje en las diferentes alturas y orientaciones de contenedores escaleriformes en el cultivo sin suelo de fresa .....	33

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de los contenedores escaleriformes para el cultivo de fresa. ....	18
Figura 2. Contenedores escaleriformes con plantas de fresa y sistema de riego.....	19
Figura 3. Radiación fotosintéticamente activa en contenedores escaleriformes en tres momentos del día, promedio diario y exterior (Ex). ....	24
Figura 4. Radiación fotosintéticamente activa integrada, registrada en contenedores escaleriformes en la producción intensiva de fresa. ....	25
Figura 5. Transmitancia y desviación estándar sobre cultivos de fresa en contenedores escaleriformes con diferentes alturas a partir del nivel del suelo, bajo invernadero. ....	27
Figura 6. Distribución del calibre y rendimiento total de fresa en contenedores escaleriformes. ....	28
Figura 7. Producción quincenal de fresa en relación a la radiación fotosintéticamente integrada obtenida en contenedores escaleriformes a diferentes alturas a) 20 cm, b) 50 cm, c) 80 cm, d) 110 cm. ....	30

## RESUMEN

La radiación solar es la fuente de iluminación natural que usan las plantas para sus funciones. Los sistemas intensivos de producción de fresa se basan en altas densidades para compensar los costos de producción. Con el objetivo de conocer el efecto de la radiación fotosintéticamente activa en las diferentes alturas de contenedores escaleriformes y su efecto en el rendimiento y calidad de frutos de fresa (*Fragaria ananassa* Duch.), se construyó en el interior de un invernadero en el CIIDIR-IPN-Unidad Oaxaca, una unidad de cultivo hidropónico basada en contenedores de PVC, tipo escaleriforme, el sustrato fue: corteza de pino compostada, Los tratamientos fueron: 20, 50, 80 y 110 cm de altura de cada contenedor con respecto al suelo y dos orientaciones: este y oeste. El diseño experimental fue completamente aleatorio con arreglo factorial (4x2) con tres repeticiones. Se midieron las variables climáticas: Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA) e integrada (RFAI), transmitancia de la RFA; de rendimiento: número y peso de frutos; de calidad: diámetro ecuatorial, pH y sólidos solubles totales. La RFA y la RFAI fueron 67 y 76 % mayores en los contenedores de 110 y 80 cm de altura, con respecto al contenedor de 20 cm. Al disminuir la altura de los contenedores, los valores de RFA y RFAI fueron descendiendo. La transmitancia fue 57 % menor en el contenedor de 20 cm de altura en comparación al de 110 cm. El mayor calibre del fruto y rendimiento sólo se afectó significativamente en el contenedor de 20 cm. Los valores de sólidos solubles totales y en los meses de mayor radiación solar, fueron de 7.9 y 8.8 °Brix en los contenedores de 80 y 110 cm y de 7.06 °Brix en el contenedor de 20 cm

**Palabras clave:** Fresa, radiación fotosintéticamente activa e Integrada, contenedores escaleriformes, rendimiento, cultivo hidropónico.

## ABSTRACT

Solar radiation is the source of natural light used by plants for their functions. Intensive production systems is based on high densities to compensate for production costs. To know the differences of photosynthetically active radiation at different heights and their effect on yield and quality of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.), was built inside a greenhouse at CIIDIR-IPN-Unidad Oaxaca, a soilless culture based on PVC containers, scaler type, the substrate was composted pine. The treatments were: 20, 50, 80 and 110 cm of height of each container with respect to the ground and two orientations also of the containers: east and west. The experimental design was completely randomized with factorial arrangement (4x2) with three replicates. Climatic variables were measured: Photosynthetically Active Radiation (PAR), Integrated Photosynthetically Active Radiation (IPAR), PAR transmittance; yield: number and weight of fruits; quality: equatorial diameter, pH and total soluble solids. RFA and RFAI were 67 and 76% higher in containers of 110 and 80 cm in height, compared to the container of 20 cm. As the container height decreased, the values of RFA and RFAI were decreasing. The transmittance was 57% lower in the container of 20 cm in height compared to that of 110 cm. The highest fruit gauge and yield was only significantly affected in the 20 cm container. The values of total soluble solids and in the months of greater solar radiation were of 7.9 and 8.8 ° Brix in the containers of 80 and 110 cm and of 7.06 ° Brix in the container of 20 cm

**Keywords:** Strawberry, Photosynthetically active radiation, Integrated photosynthetically active radiation, scaler containers, yield, soilless culture.

## I INTRODUCCIÓN

La fresa (*Fragaria ananassa* Duch.), es uno de los frutos más apreciados por su sabor, color y alto contenido de antioxidantes (Shin *et al.*, 2008; Misran *et al.*, 2015). En México es un cultivo con importancia económica, con una superficie sembrada de 10,163 ha y una producción de 392,625 t (SIAP, 2015). Los estados con mayor superficie cultivada son: Michoacán, Baja California y Guanajuato. El 69 % se siembra en campo y a pleno sol, con rendimiento medio de 3.98 kg·m<sup>-2</sup> (Santoyo y Martínez, 2010; SIAP, 2015) el cual se considera bajo y el 31% pose alguna tecnología como acolchado y fertirriego (PRNF, 2012). El 17 % de la producción nacional se exporta principalmente a Estados Unidos.

El cultivo en invernadero con la técnica de hidroponía implica altos costos de instalación, no obstante, proporciona ventajas como: uso eficiente del agua, la fertilización se realiza de acuerdo a los requerimientos de la planta, hay materiales regionales que son susceptibles de usarse para disminuir los altos costos, como los sustratos orgánicos alternativos, con los cuales se puede sembrar a altas densidades y en todo el año aumentando el rendimiento (Velázquez y Pimentel., 2008). El costo de producción en campo es de aproximadamente \$140,000.00 por hectárea cultivada (Zarazúa-Escobar *et al.*, 2011). Una alternativa de producción de fresa es el sistema escaleriforme, con el cual se incrementaría la densidad de plantación, optimizando el uso por unidad de superficie y disminuyendo costos de producción.

## II REVISIÓN DE LITERAURA

### 2.1 El cultivo de la fresa

La planta de fresa pertenece a la familia Rosaceae y forma parte del género *Fragaria*, es perenne, es decir, puede producir brotes nuevos cada año o temporada. El tallo principal es llamado corona y es de donde surgen los tallos florales así como las hojas y estolones. Su sistema de raíces es de extensión moderada, regularmente no rebasa los 30 cm de profundidad, teniendo así raíces con crecimiento horizontal y vertical. Cada tallo vegetativo soporta una hoja trifoliada, que a su vez son dentadas, con nervaduras destacadas, color verde más oscuro en el haz y un verde ligeramente pálido en el envés. Los tallos florales no presentan hojas. En su ápice aparecen las flores, de cinco pétalos blancos, cinco sépalos y numerosos estambres. Los estolones crecen en múltiples direcciones produciendo así nuevas plantas gracias a sus yemas terminales capaces de crear raíces. Varias especies son reportadas, sin embargo la fresa que se cultiva proviene de la hibridación de dos especies: *Fragaria chiloensis* y *Fragaria virginiana* (Zeb *et al.*, 2015).

### 2.2 Sistemas intensivos de producción

Se han desarrollado sistemas de producción de fresa con el objetivo de aprovechar al máximo la superficie y el volumen del invernadero como son: contenedores suspendidos, sistemas verticales (Jafarnia *et al.*, 2010), piramidales y otros. El cultivo de fresa en contenedores verticales puede aumentar hasta en un 100% el rendimiento en comparación con contenedores horizontales (Fernandes-Júnior *et al.*, 2002). En sistemas piramidales y escaleriformes para hortalizas (Méndez-Galicia *et al.*, 2005; Sánchez-Del-Castillo *et al.*, 2009), se han reportado altos rendimientos en tomate, con la particularidad de que las plantas de doseles superiores obtienen mayor rendimiento (Sánchez-Del-Castillo *et al.*, 2014)

debido a que reciben mayor cantidad de radiación solar. A pesar de que se aumenta el rendimiento en estos sistemas, es importante observar que la producción no es uniforme, ya que por el arreglo geométrico que posee, se provoca que en cierta parte haya más radiación que en otra, incluso en plantas a la misma altura, los mayores rendimientos los obtienen aquellas que se siembran en hileras exteriores (Ucan *et al.*, 2005), porque las plantas intermedias suelen estar más sombreadas.

Por las características de la fresa al tener poca altura y sin tallos alargados, en un dosel normal se aprovecha una parte de la radiación directa, la otra parte la atraviesa hasta llegar al suelo sin intercepción alguna (López-Lozano *et al.*, 2007). La superficie de los espacios sin hoja ni tallos puede alcanzar hasta el 40% (España-Boquera *et al.*, 2015) y es útil en contenedores escaleriformes ya que la luz directa que no aprovechan las plantas superiores serán usadas por las plantas de contenedores inferiores. En sistemas intensivos con cultivos verticales o escaleriformes se aprovecha también la radiación difusa que puede alcanzar hasta el 30% (Higashide, 2008), principalmente en las plantas de contenedores inferiores. Se ha observado en cultivos verticales de fresa que existe disminución en el rendimiento desde la parte superior hacia la inferior por la diferencia de radiación incidente en cada contenedor (Calvate *et al.*, 2007).

## **2.3 Aspectos de la radiación solar**

### **2.3.1 Radiación global**

Uno de los factores que influyen en la variación de la radiación solar a lo largo del año en diferentes puntos de nuestro planeta es la geometría, es decir, su posición relativa en el cielo (Duffie y Beckman, 2013). En cierto lugar cuando el sol incide perpendicularmente con

respecto a la superficie, brilla con mayor intensidad que si lo hace con alguna inclinación. Así como el sol cambia de posición a lo largo de un día, también lo hace a través del año pasando por las diferentes estaciones. La orografía y la latitud del lugar también influyen en la variación de la radiación solar. En parte estos factores determinan las características del clima como son: temperatura, precipitación, etc. (Blanco y Pérez, 2009; Jaramillo *et al.*, 2006).

El estado de Oaxaca se ubica en una de las zonas del sur de México con mayor radiación solar, el promedio anual es de  $19.2 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$  (Almanza, 2003).

### **2.3.2 Radiación fotosintéticamente activa**

El sol es la principal fuente de energía que usan los seres vivos, responsable de factores climáticos como temperatura, fotosíntesis, iluminación, etc., de un lugar (Jaramillo *et al.*, 2006). La radiación fotosintéticamente activa (RFA), medida en  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , es una fracción de la radiación solar aprovechable por las plantas, comprendida entre las longitudes de onda de 400-700 nm (Oyarzún *et al.*, 2011), la cual corresponde al 48 % de la radiación global (Zermeño-González *et al.*, 2005). En cultivos como la fresa, el periodo de siembra se ajusta de acuerdo a los requerimientos en horas luz del lugar. Algunas de las funciones de la planta como el crecimiento de hojas e inicio de floración varía en relación a cambios en el fotoperiodo (An and Kim, 2013).

### **2.3.3 Radiación fotosintéticamente activa integrada**

La radiación fotosintéticamente activa, se suele representar como: “Flujo de fotones fotosintéticos” o “Photosynthetic photon flux” (Urrestarazu *et al.*, 2016) con las mismas unidades:  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Cuando se mide la RFA en un intervalo de tiempo por lo regular de un día (24 h), se obtiene la expresión de: radiación fotosintéticamente activa integrada

(RFAI) y sus unidades en:  $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  (Martínez-Gutiérrez *et al.*, 2016). Dicha expresión suele representarse por diversos autores como: Daily light integral (Korczynski *et al.*, 2002; Warner and Erwin, 2003; Christiaens *et al.*, 2014). Conocer la interacción de la RFA y el fotoperiodo es importante para algunos cultivos, por ejemplo: el requerimiento en fotoperiodo de fresa, según la variedad y de acuerdo a ciertos autores son los siguientes: para variedades de día corto está entre 8 y 9 h y las de día largo de 16 h (Durner, 2015; Bradford *et al.*, 2010).

Los cultivos se clasifican en cinco tipos por su requerimiento en RFAI:  $< 5$ , 5-10, 10-20, 20-30 y  $> 30 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$  (Torres *et al.*, 2011). La RFAI determina la concentración de metabolitos en las plantas (Gent, 2014), a mayor radiación mayor contenido de azúcares y materia seca (Lopez and Runkle, 2008). Se ha reportado que un exceso de radiación y temperatura propicia disminución de crecimiento y retraso de la floración (Pramuk y Runkle, 2005), por lo anterior, en un sistema de producción se debe mantener la RFAI en un rango para el crecimiento adecuado de las plantas. En algunos cultivos ornamentales y hortalizas como la lechuga se suele utilizar luz artificial o suplementaria (Garland *et al.*, 2012) para cubrir las necesidades en RFAI (Johkan *et al.*, 2012; Christiaens *et al.*, 2014; Al-Chalabi, 2015), en caso de que la luz solar existente sea insuficiente. Cuando la radiación solar existente está por encima de la requerida entonces se aplica sombreo.

#### **2.3.4 Transmitancia**

La transmitancia ( $t$ ) es el porcentaje de radiación que atraviesa un dosel vegetal o de alguna estructura de protección, por ejemplo: el material de cubierta en los invernaderos. Este parámetro es afectado por la combinación de factores como: tipo de estructura, material de cubierta, hora del día, índice de área foliar, etc. (Bouzo y Pilatti, 1999; Iglesias y Muñoz,

2005; Oyarzún *et al.*, 2011), se representa matemáticamente como:

$$t = \frac{I_i}{I_e} = e^{-kLAI}$$

En donde:  $t$  = transmitancia;  $I_i$  = radiación interior;  $I_e$  = radiación exterior;  $e$  = base de logaritmo natural;  $k$  = coeficiente de extinción;  $LAI$  = Índice de área foliar. La primera expresión se puede aplicar en un invernadero y la segunda se aplica cuando se requiere determinar la transmitancia en los diferentes niveles de un dosel vegetal. Flores-Ortega *et al.* (2012) reportaron un valor para  $t$  de 0.56 para un invernadero con cubierta de polietileno blanco lechoso. Iglesias *et al.* (2005) encontraron valores de ( $t$ ) de 0.58 a 0.78 para diferentes tipos de cubiertas y orientaciones de invernadero. En un cultivo con contenedores escaleriformes o piramidales bajo invernadero es importante considerar el efecto de la transmitancia porque reduce la radiación fotosintéticamente activa que penetra al interior del invernadero y en el dosel vegetal, principalmente en los contenedores inferiores.

La transmitancia depende de la forma de las hojas, estas pueden ser delgadas o gruesas que, plantas de follaje con hojas gruesas transmiten menos de 3% de luz a los doseles inferiores y en follajes con hojas delgadas puede llegar hasta el 40% (Yepes y Martínez 2005). Oyarzún *et al.*, 2011 reportaron promedio diario de ( $t$ ) en plantas de maíz de 0.65.

#### **2.4 Relación entre el rendimiento, propiedades organolépticas y la radiación**

La calidad de los frutos se refiere a aquellas características que los hacen atractivos a los consumidores, como son: tamaño, forma, firmeza, color, sabor, etc. (Keutgen y Pawelzik, 2008; Ojeda-Real *et al.*, 2008), los cuales se deben principalmente a la cantidad de biomasa acumulada, contenido de ácidos, azúcares como: glucosa, fructosa y sacarosa (Kallio *et al.*, 2000) y otras sustancias químicas volátiles (Watson *et al.*, 2002). También se relaciona a la

calidad aquellos atributos del fruto que intervienen en la etapa de pos cosecha como son: la vida de anaquel del producto y su capacidad de conservar sus propiedades al pasar por diferentes procesos industriales (De Brujin y Bórquez, 2014).

La luz solar es un factor limitante en el rendimiento y calidad de frutos, especialmente en la fresa (Li *et al.*, 2010) que es una planta sensible a factores ambientales como el fotoperiodo y temperatura (Verheul *et al.*, 2006). La radiación fotosintéticamente activa disponible varía dependiendo del hábitat, las plantas han desarrollado mecanismos de aclimatación, que les permite crecer en esas condiciones (Nemali y Iersel, 2004).

El exceso o déficit de luz afecta a la floración y por consiguiente el rendimiento y tamaño de los frutos (Warner and Erwin, 2003). Se sabe que existe relación entre acumulación de materia seca en los órganos de las plantas y la radiación (Kjaer y Jørgensen, 2012) lo que supone un mayor tamaño o contenido de sustancias que le proporcionan las cualidades organolépticas a los frutos. Gent (2016) indica que en cierto rango al incrementarse la RFAI, aumenta proporcionalmente la materia fresca en plantas de espinaca. Existen técnicas para controlar el sabor de frutos en campo como la aplicación de estrés salino (Keutgen y Pawelzik, 2008) y niveles de radiación a través de sombreo (Watson *et al.*, 2002; Martínez-Gutiérrez *et al.*, 2016).

### **III JUSTIFICACIÓN**

Se estima que en el año 2050, la población en nuestro planeta se duplicará, por lo que se requiere producir más alimentos (Godfray *et al.*, 2010). La disponibilidad de tierras de cultivo está en descenso por diversos factores como aumento de la población, erosión, etc. (Sánchez-Del-Castillo *et al.*, 2010). Lo anterior implica aumentar la productividad agrícola,

algunas de las opciones son: aumentar la superficie, tecnificar el riego, usar variedades mejoradas y recientemente se ha planteado la técnica de cultivos verticales (Al-Chalabi, 2015).

En Oaxaca, México, predominan unidades de producción bajo invernaderos con superficies menores a 1 ha en donde se cultivan principalmente tomate (Martínez-Gutiérrez *et al.*, 2014) y otras hortalizas, en la mayoría de los casos los ingresos son bajos. Una de las opciones que tienen las pequeñas superficies de aportar más recursos al productor es mediante el cultivo de especies rentables (Verheul *et al.*, 2006), aunque esto implica mayor inversión por la misma superficie.

Se han reportado sistemas de cultivo de fresa en diferentes estructuras, para aumentar la cantidad de plantas al interior de un invernadero (Calvate *et al.*, 2007) que pueden implementarse en pequeñas unidades de producción, tales como: cultivos verticales, pared vertical, cultivo piramidal, contenedores suspendidos y contenedores escaleriformes. Estos sistemas han tenido principalmente un inconveniente, debido a que la distribución de la radiación solar no es uniforme, se provoca una disminución en el rendimiento desde la parte superior hasta la inferior (Ucan *et al.*, 2005). En dichos sistemas por un lado se genera mayor rendimiento y por otro se propicia la cosecha de frutos no uniformes en tamaño y contenido de azúcares.

En un cultivo intensivo con contenedores escaleriformes es necesario conocer la magnitud de la radiación solar en sus diferentes niveles, para poder realizar recomendaciones técnicas, para su uso en invernaderos.

#### **IV OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

#### **4.1 Objetivo general**

Estudiar el comportamiento de la Radiación Fotosintéticamente Activa e Integrada en un sistema hidropónico e intensivo de producción de fresa, basado en contenedores horizontales escaleriformes, con la finalidad de producir esta especie en pequeños espacios.

#### **4.2 Objetivo específico**

Conocer la incidencia de la Radiación Fotosintéticamente Activa e Integrada en el rendimiento y calidad del fruto de la fresa, cultivada en contenedores escaleriformes con diferentes orientaciones y alturas, bajo invernadero.

#### **4.3 Hipótesis**

No existen diferencias en rendimiento y calidad de frutos de la fresa, por la altura y orientación de los contenedores en cultivo hidropónico escaleriforme bajo invernadero.

## V MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Localización del experimento

El estudio se desarrolló en el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) Unidad Oaxaca en un invernadero tipo túnel con cubierta de polietileno blanco, ubicado en Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca (17° 01' 31''N, 96° 43' 12.7'' O y 1,526 msnm).

### 5.2. Material vegetal y sustrato

Se usaron estolones de fresa (*Fragaria ananassa* Duch.) de la variedad Camino Real y se sembraron en sustrato de corteza de pino (*Pinus spp.*), para su utilización se compostó y tamizó a 3 mm (Bárbaro *et al.*, 2014), en el cuadro 1 se describen sus propiedades físicas empleando el método gravimétrico y la curva de liberación de agua del sustrato, descrita por Quintero (2011).

Cuadro 1. Propiedades físicas de la corteza de *Pinus spp.* utilizada como sustrato en el cultivo de fresa.

Propiedad	Valor	Valor de referencia <sup>2</sup>
Humedad	0.74 %	45.7
Densidad real (g·cm <sup>-3</sup> )	1.66	1.45-2.65
Densidad aparente (g·cm <sup>-3</sup> )	0.46	< 0.4
Espacio poroso total (%)	72.4	>85
Capacidad de aireación (% v/v)	14.3	10-30
Agua fácilmente disponible (% v/v)	24.2	20-30
Agua de reserva (% v/v)	2.78	4-10
Agua totalmente disponible (% v/v)	27	24-40
Capacidad de retención de agua (mL·L <sup>-1</sup> )	581	n.d.

Agua difícilmente disponible 2: (Martínez-Gutiérrez, 2015)	31.1	n.d.
---	------	------

El fertirriego se aplicó mediante goteros con un gasto de 4 L·h<sup>-1</sup>, el número de eventos se ajustó de acuerdo a los requerimientos en cada etapa del cultivo, se midió el drenaje, pH y CE en los contenedores de cada altura y orientación. Durante todo el ciclo se aplicó el volumen requerido por el cultivo más el necesario para propiciar entre un 15 y 25% de drenaje (Urrestarazu, 2004; Rodríguez *et al.*, 2014). La solución nutritiva fue la indicada por Sonneveld y Straver (1994), citado por Rodríguez *et al.* (2014) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Solución nutritiva utilizada en el cultivo de fresa hidropónica en contenedores escaleriformes

EC (dS m <sup>-1</sup> )	pH	Macronutrientes (mM)					
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
1.0 - 1.4	5.8-6.2	11.5	1.5	1.5	3.5	4.5	1.5

### 5.3 Contenedores y tratamientos

Se establecieron ocho tratamientos que resultaron de la combinación de cuatro alturas (20, 50, 80 y 110 cm) y dos orientaciones (este y oeste) en una estructura piramidal (Figura 1). Los contenedores fueron tubos de pvc de 6 pulgadas (Figura 2) con cavidades circulares de 6.3 cm de diámetro, se sembró una planta por cavidad, para lograr una densidad de plantación de 13.8 plantas·m<sup>-2</sup>. El trasplante se realizó el 7 de noviembre de 2015 y el periodo de toma de datos y cosecha fue de enero a junio de 2016.

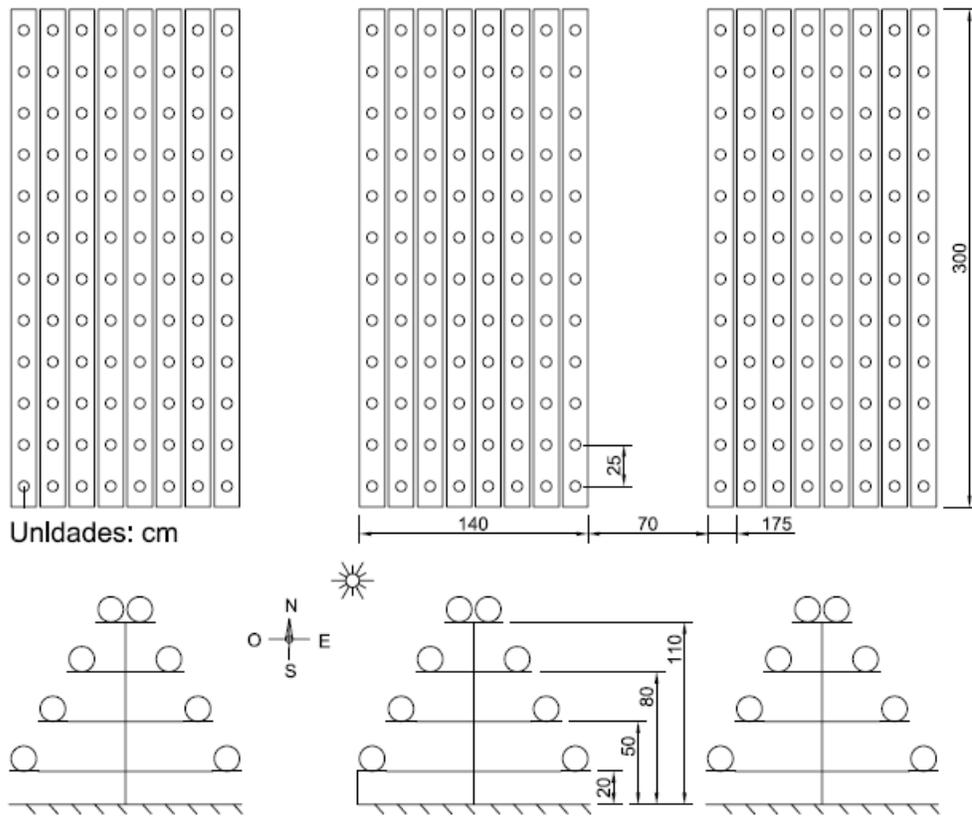


Figura 1. Distribución de los contenedores escaleriformes para el cultivo de fresa.



Figura 2. Contenedores escaleriformes con plantas de fresa y sistema de riego.

#### **5.4 Variables climáticas**

Se registraron datos de radiación global para determinar el fotoperiodo. La temperatura y humedad relativa se utilizó para verificar las condiciones climáticas durante el ciclo de cultivo.

##### **5.4.1 Radiación global**

La radiación global se realizó colocando un sensor S-LIB-M003, (HOBO, USA) en el interior del invernadero, el cual registra cada cinco minutos. Los valores se expresaron en  $W \cdot m^{-2}$ , los datos se almacenaron en un CPU para su posterior procesamiento y análisis.

##### **5.4.2 Duración del día soleado (fotoperiodo)**

Fue el periodo en horas en que el sensor S-LIB-M003, (HOBO, USA), registró datos de

$W \cdot m^{-2}$  en todos los días, se realizó un promedio mensual del fotoperiodo que fue el tiempo en que se recibió radiación solar (Christiaens *et al.*, 2014).

#### **5.4.3 Temperatura y humedad relativa**

Se utilizó un Datalogger U23-001 (HOBO Pro v2 Temp/RH, USA), realizando registros cada cinco minutos, colocado a 1.1 m sobre el nivel del suelo, a la misma altura a la cual estuvieron las plantas del contenedor con mayor altura.

#### **5.5 Radiación fotosintéticamente activa**

Para la medición de la variable RFA ( $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ ) se utilizaron dos dispositivos: el primero fue un sensor PAR (S-LIA-M003, Onset, HOBO, USA) que realiza registros cada cinco minutos y se colocó a una altura de 1.1 m sobre el nivel del suelo, que coincide con la altura de las plantas del contenedor más elevado. El segundo fue un medidor manual MQ-301, (Apogee Instruments, Inc. UT. USA), con el que se realizaban mediciones instantáneas en el exterior del invernadero y sobre las plantas de cada contenedor un día por semana a cada hora, desde las 8:00 a 18:00 h.

#### **5.6 Radiación fotosintéticamente activa integrada**

La RFAI en  $mol \cdot m^{-2} \cdot dia^{-1}$ , se obtuvo según (Chang *et al.*, 2008), en cada altura y orientación de cultivo.

#### **5.7 Transmitancia**

Este parámetro se calculó con los datos registrados medidor manual MQ-301, (Apogee Instruments, Inc. UT. USA), dividiendo los valores de radiación de cada contenedor entre la

radiación exterior del invernadero  $t = \frac{I_i}{I_e}$ , se realizó un promedio de todo el ciclo para cada

hora de día.

## 5.8 Número, calibre de fruto y rendimiento

La cosecha se realizó semanalmente durante los meses de enero a junio de 2016, se colectaron los frutos que tenían al menos el 50% de color rojo tenue o rosa de acuerdo a: la norma NMX 062 (productos alimenticios no industrializados para consumo humano, fruta fresca de *Fragaria x ananassa*, Dutch, especificaciones y métodos) y (Cecatto *et al.*, 2013). Se registró el número de frutos cosechados, se midió el diámetro ecuatorial y longitudinal del fruto con un vernier digital, clasificándolo según NMX 062 (Cuadro 3), se registró el peso de cada calibre con una balanza digital (OHAUS PA 3102) y el rendimiento total se obtuvo sumando el peso de todos los frutos que se colectaron por tratamiento durante el periodo de cosecha.

Cuadro 3. Clasificación por tamaños de los frutos de fresa, diámetro ecuatorial, según la NMX 062.

Tamaño	Diámetro ecuatorial (cm)
A	> 3.2
B	2.6 a 3.1
C	2.0 a 2.5
D	1.6 a 1.9

## 5.9 Sólidos solubles totales

Para la determinación de los sólidos solubles totales se obtuvo una submuestra de 3 frutos en cada corte, se mezcló para homogeneizar el jugo de acuerdo a lo indicado por Tabatabaei *et al.* (2008) y se determinó con un refractómetro digital (HI 96801, HANNA Instruments).

### **5.10 Volumen, pH y CE del fertirriego y drenaje**

Durante todo el ciclo de cultivo se registró el volumen de fertirriego y drenaje en cada altura de siembra y orientación, se realizó dos días por semana. El volumen se midió con un vaso de precipitado, el pH y la CE se realizó con un potenciómetro portátil (HANNA HI9813-6), con estos datos se ajustó del fertirriego.

### **5.11 Diseño experimental y análisis de datos**

El diseño experimental fue en bloques completos al azar, con arreglo factorial 4x2. A los datos obtenidos se les realizó un análisis de varianza y comparación múltiple de medias por LSD de Fisher, ajuste a regresión polinomial de segundo orden para las variables RFAI y rendimiento. Se usó el paquete estadístico Statgraphics Centurion®.

## **VI RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Para el factor orientación (Este y Oeste) se encontraron diferencias significativas en las variables climáticas: RFA, RFAI y transmitancia de la RFA en las diferentes horas del día (9, 12 y 16 h). Antes del mediodía los contenedores con orientación “Este” recibieron más radiación con respecto a los orientados al “Oeste”, después del mediodía ocurrió lo contrario, sin embargo, los promedios diarios son estadísticamente iguales. Ninguna de las variables de calidad y rendimiento fueron afectadas por el factor orientación.

### **6.1 Variables climáticas**

Durante el ciclo de cultivo dentro del invernadero la temperatura estuvo en el rango óptimo para el desarrollo de la fresa, 27.5 y 18.5 °C de día y noche respectivamente. Kadir y Sidhu (2006) reportaron que plantas de fresa crecidas a 30°C día y 25° noche obtienen 24% más área foliar que las cultivadas a 20 °C día y 15 °C noche. La humedad relativa fue de 40.2 y

16.8 % en el día y la noche respectivamente. El fotoperiodo durante el ciclo de cultivo fue de entre 10 y 13 horas, estos fotoperiodos corresponden a día corto y neutro. Bradford *et al.* (2010) considera al fotoperiodo de día corto una duración de 9 h y al de día largo de 16 h.

## **6.2 Radiación fotosintéticamente activa**

La radiación fotosintéticamente activa mostró diferencias estadísticas significativas en diferentes horas del día (9:00, 12:00 y 16:00 h) con respecto a la orientación en el interior del invernadero (Figura 3). Se encontraron diferencias estadísticas significativas en RFA recibida en todas las alturas con respecto al exterior del invernadero. La radiación registrada en el exterior fue de  $1,333 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , disminuyendo un 35 % en las plantas establecidas a mayor altura (110 cm), mientras que las plantas a 20 cm de altura recibieron un 64% menor de RFA ( $471 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ).

Todos los contenedores capturaron mayor RFA que la empleadas por Bradford *et al.* (2010) en la variedad Honeoye ( $400 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) y por Sønsteby *et al.* (2006) en las variedades de Korona y Elsanta ( $270 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ). La RFA en cada altura y orientación de siembra superaron la radiación recomendada para una adecuada acumulación de biomasa que es de:  $200\text{-}400 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (Torres *et al.*, 2011), por lo tanto el sistema de producción de fresa en contenedores escaleriforme es una opción para su cultivo intensivo.

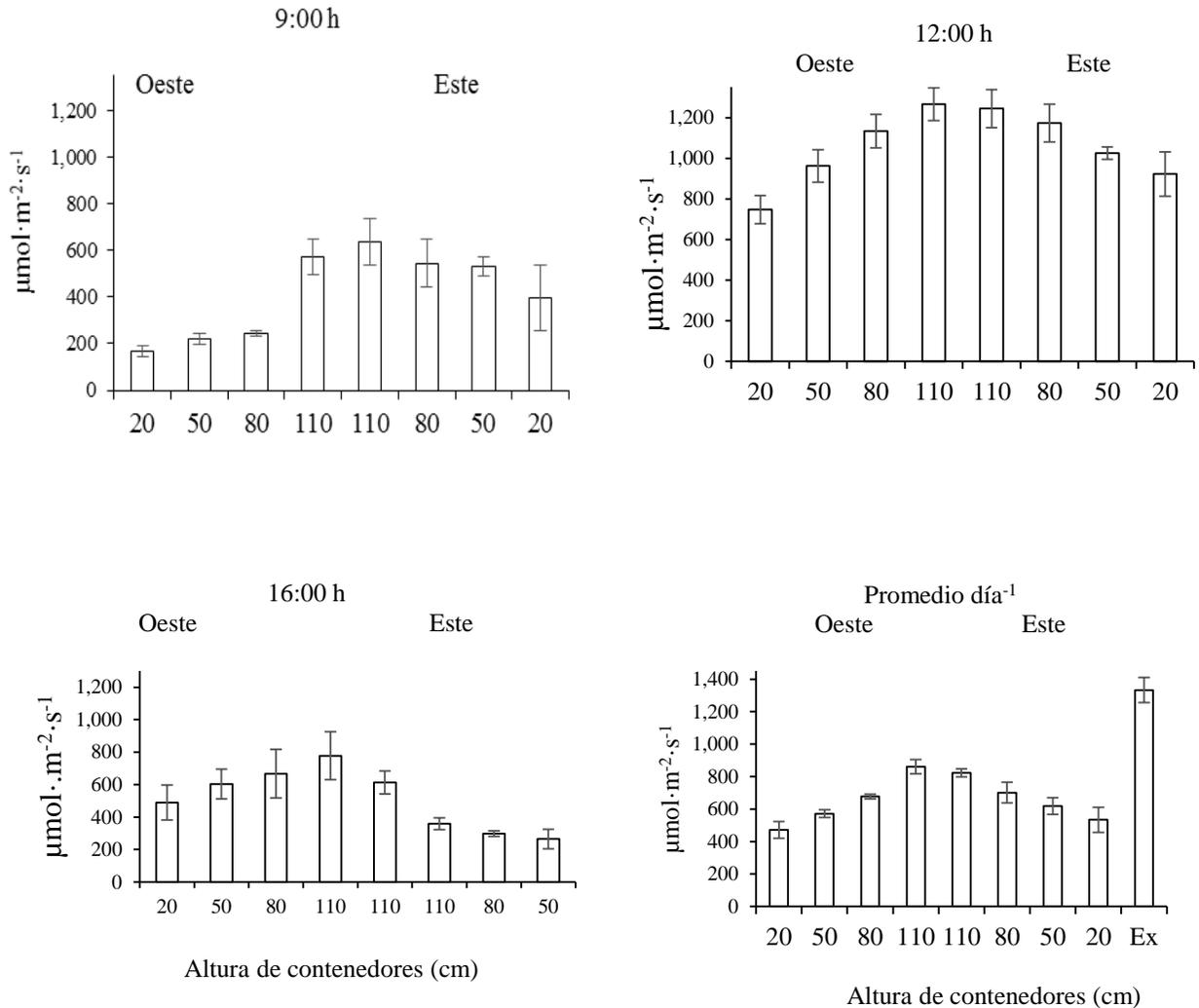


Figura 3. Radiación fotosintéticamente activa en contenedores escaleriformes en tres momentos del día, promedio diario y exterior (Ex).

Ex: Exterior.

### 6.3 Radiación fotosintéticamente activa integrada

La RFAI recibida por las plantas de fresa establecidas en contenedores en sistema escaleriforme mostró diferencias estadísticas significativas en todas las alturas de siembra (Figura 4).

En el exterior se registró una media de  $48 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ , al interior del invernadero en los contenedores de mayor altura fue de  $29.8 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ , esta disminución fue provocada por

la cubierta del invernadero. La RFAI fue disminuyendo conforme descendieron las alturas. A los contenedores inferiores sólo les llegó el 35% de la radiación existente en el exterior y el 56% con respecto a los contenedores de mayor altura.

La RFAI en los contenedores escaleriformes ( $16.9-29.8 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ) fueron superiores a la RFAI indicada por diferentes autores en cultivo de fresa. Por ejemplo: Bradford *et al.* (2010) reporta  $12.96 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  para fotoperiodo de día corto y  $23.04 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  para fotoperiodo de día largo. De  $7.8-9.7 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  fue utilizada por Verheul *et al.* (2007) en las variedades de Korona y Elsanta. Casierra-Posada *et al.* (2012) utilizó  $13.9 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  en la variedad Chandler.

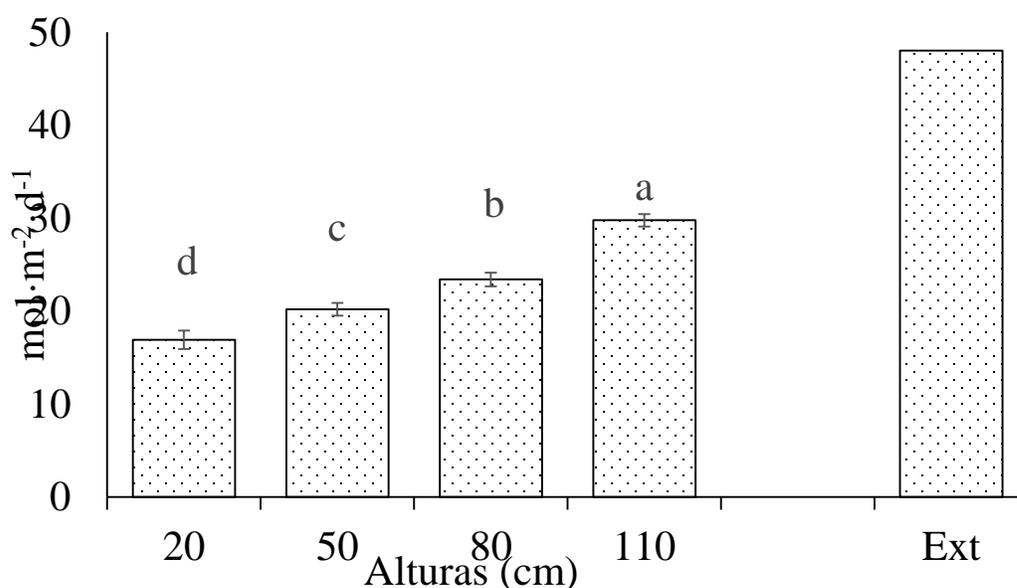


Figura 4. Radiación fotosintéticamente activa integrada, registrada en contenedores escaleriformes en la producción intensiva de fresa.

Medias con misma letra no presentan diferencias significativas, (LSD = 0.05).

La cantidad de RFAI en los tres primeros contenedores estuvo dentro del rango reportado por Bradford *et al.* (2010). Mientras que en los contenedores superiores, el valor de RFAI

fue mayor que dicho rango, todos los contenedores tuvieron más RFAI que lo reportado por Sønsteby *et al.* (2006), Verheul *et al.* (2007) y Casierra-Posada *et al.* (2012), las plantas de fresa tienen bajo requerimiento a diferencia de otras plantas como el tomate que necesita de 30-35 mol·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> (Hernández y Kubota, 2014). Para mantener la RFAI constante dentro de invernadero, si la radiación solar es menor a la requerida, se recomienda aplicar luz suplementaria y si es mayor se usa sombreo (Seginer *et al.*, 2006; Lopez, 2007; Garland *et al.*, 2012), sin embargo en un sistema escaleriforme aplicar sombreo a los contenedores de mayor altura provocaría déficit de radiación en los inferiores.

#### **6.4 Transmitancia**

En todos los contenedores, la transmitancia disminuyó por la cubierta del invernadero, mientras que esta misma variable en los contenedores inferiores fue disminuida de forma lineal ( $R^2=0.987$ ) y en todo el día por los contenedores superiores (Figura 5), comportamiento que es congruente con lo reportado por Bouzo y Pilatti, (1999); Iglesias y Muñoz, (2005). Las medias registradas en las alturas de los contenedores desde el nivel inferior al superior fueron: 0.35, 0.41, 0.48 y 0.6i. A partir de las 17:00 h hay un ligero aumento de la transmitancia, dicho intervalo corresponde principalmente a luz difusa, la cual ya no incide directamente sobre el invernadero. Los contenedores superiores recibieron mayor radiación comparados con los inferiores, esto se debe a que la luz disminuye su intensidad al pasar a través de un dosel vegetal (Casierra-Posada *et al.*, 2011a), el efecto es similar en cultivos verticales (Calvate *et al.*, 2007), con disminución de arriba hacia abajo (Oyarzún *et al.*, 2011).

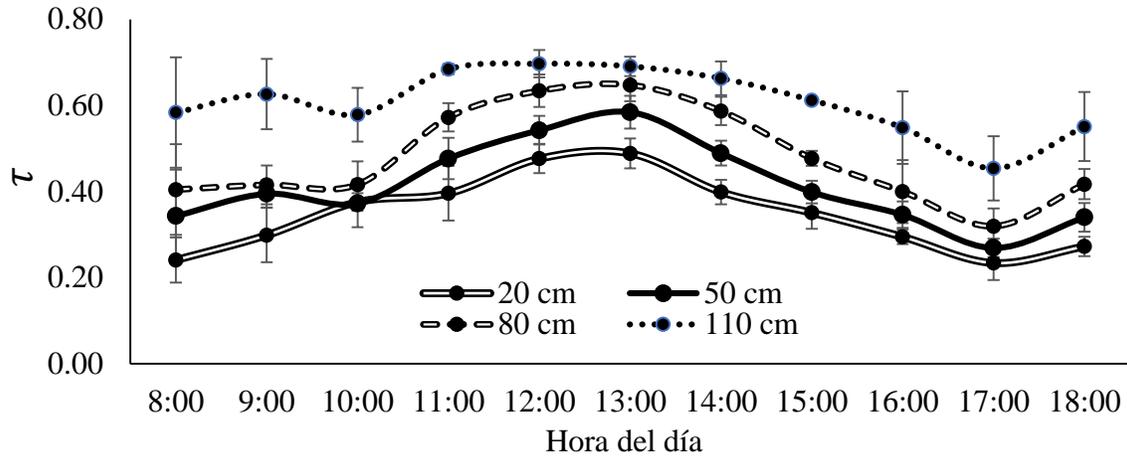


Figura 5. Transmitancia y desviación estándar sobre cultivos de fresa en contenedores escaleriformes con diferentes alturas a partir del nivel del suelo, bajo invernadero.

### 6.5 Número, calibre y rendimiento de fruto

El análisis estadístico mostró que las plantas cultivadas en el contenedor de 20 cm presentaron menor rendimiento y menor cantidad de frutos comerciales de categoría “A” con respecto a los contenedores de 50, 80 y 110 cm. El sombreado producido por los contenedores superiores propiciaron una baja radiación y como consecuencia menor rendimiento en el “contenedor inferior”, de acuerdo con lo reportado por Warner and Erwin (2003), Verheul *et al.* (2006) y Sánchez-Del-Castillo *et al.* (2014) que a menor radiación se produce menor rendimiento.

En los contenedores de 50, 80 y 110 cm no se encontraron diferencias significativas en rendimiento (Figura 6), lo que indica que la diferencia en RFA y RFAI no producen efectos desfavorables en la producción bajo este sistema de contenedores y para estas alturas en contenedores escaleriformes.

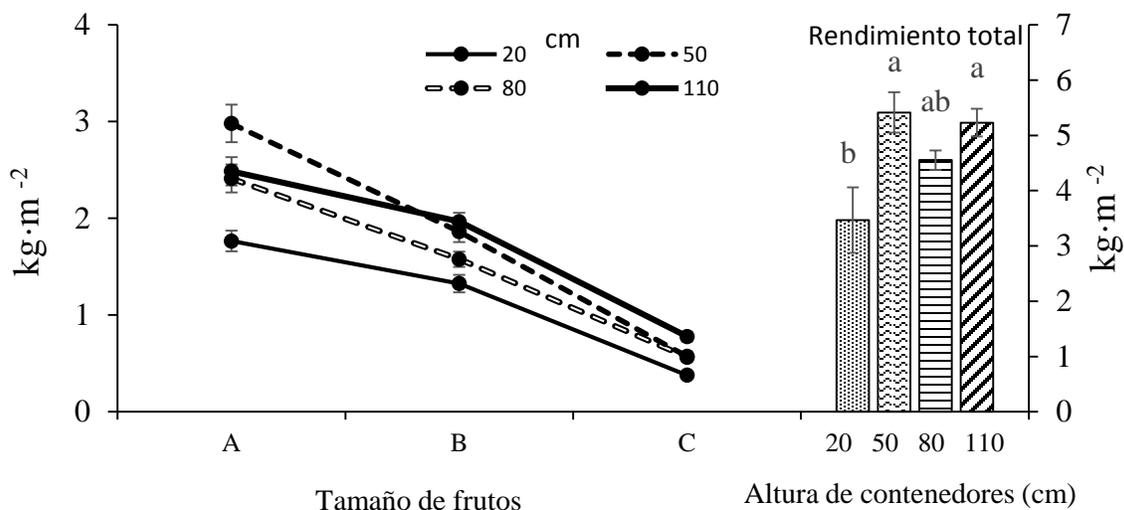


Figura 6. Distribución del calibre y rendimiento total de fresa en contenedores escaleriformes.

Medias con misma letra no son significativamente diferentes, (LSD = 0.05), A=>3.2, B=2.6-3.1, C=2-2.5 cm.

El rendimiento mostró diferencias significativas en el periodo en que se desarrolló el experimento (Cuadro 4) en todas las alturas y en ambas orientaciones. El rendimiento máximo se obtuvo en el mes de abril, disminuyendo considerablemente en el mes de mayo, periodo en el cual se registró la mayor radiación. Este resultado es congruente con lo reportado por An and Kim (2013) en donde reporta que a mayor radiación la cantidad de frutos de fresa disminuye.

Cuadro 4. Distribución de la producción de fresa usando contenedores escaleriformes y sustrato corteza de *Pinus* spp. durante seis meses.

Meses	Altura de contenedores (cm)			
	20	50	80	110
Este (kg·m <sup>-2</sup> )				
Enero	0.29 cd	0.26 c	0.37 cd	0.37 cd
Febrero	0.90 ab	0.76 bc	0.84 b	0.88 b
Marzo	0.88 abc	1.03 ab	1.27 a	0.96 b
Abril	1.16 a	1.45 a	1.33 a	1.88 a
Mayo	0.46 bcd	0.94 ab	0.66 bc	0.67 bc
Junio	0.01 d	0.30 c	0.20 d	0.22 d
Oeste (kg·m <sup>-2</sup> )				
Enero	0.28 b	0.43 b	0.39 bc	0.6 bc
Febrero	0.96 a	0.99 b	0.95 ab	1.00 b
Marzo	0.79 a	1.09 ab	0.99 ab	0.93 b
Abril	0.87 a	2.44 a	1.24 a	1.77 a
Mayo	0.22 b	0.89 b	0.86 ab	0.93 b
Junio	0.06 b	0.26 b	0.04 c	0.31 c

<sup>+</sup>Columnas con la misma letra, no son estadísticamente diferentes, (LSD = 0.05).

En los contenedores escaleriformes no sólo varió la RFAI en las diferentes alturas, también lo hizo a través del tiempo en que se realizó el experimento. La relación entre el rendimiento y la RFAI en las alturas intermedias (50 y 80 cm) fueron estadísticamente significativas, esto posiblemente se deba a que las plantas estos contenedores recibieron una RFAI más homogénea.

Kjaer y Jørgensen (2012) reportaron que existe relación lineal entre materia seca acumulada y RFAI, la materia fresca aumenta proporcionalmente con la materia seca al incrementarse la RFAI (Gent, 2016). En petunia Blanchard *et al.* (2011) observaron que la materia seca aumenta considerablemente al pasar de 5 a 25 mol·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>. El mayor rendimiento en frutos

de fresa ocurrió en el rango de 20-25 mol·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> (Figura 7b). El análisis de varianza mostró que en las alturas (50, 80 y 110 cm) hubo relación estadísticamente significativa entre la RFAI y el rendimiento (Figura 7b y 7c), mientras que en el contenedor de 20 cm (Figura 7a) no hubo relación estadísticamente significativa entre la RFAI y rendimiento, posiblemente debido a que la radiación fue insuficiente para mantener la relación (Gent, 2016).

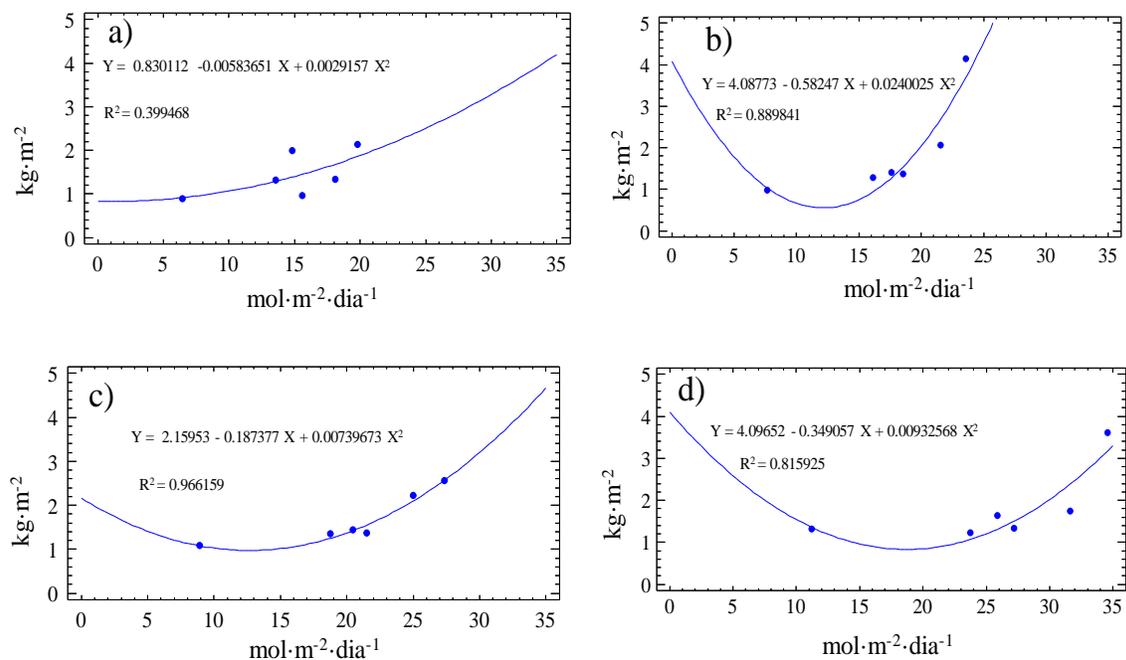


Figura 7. Producción quincenal de fresa en relación a la radiación fotosintéticamente integrada obtenida en contenedores escaleriformes a diferentes alturas a) 20 cm, b) 50 cm, c) 80 cm, d) 110 cm.

## 6.6 Sólidos solubles totales

En los últimos tres meses de cosecha, se encontraron en contenido de sólidos solubles totales diferencias significativas, esto probablemente se debió al incremento de la radiación y temperatura (Cuadro 5). El mayor contenido de sólidos solubles totales se tuvieron en los frutos de las plantas establecidas a mayor altura (80 y 110 cm); sin embargo de marzo a

mayo el contenido de esta variable incrementó de 7.84 a 10.8 °Brix en el contenedor de mayor altura (110 cm), lo que indica que el contenido de sólidos solubles totales incrementa al aumentar la radiación recibida. Ayub *et al.* (2016) reportó para la variedad Camino Real de 6.57 y 7.93 °Bx y Cecatto *et al.* (2013) de 5.43 °Brix, valores que son inferiores a los obtenidos en el presente estudio. Watson (2002), Casierra-Posada *et al.* (2011b) indicaron que la radiación difusa y directa afectan directamente el contenido de azúcares en los frutos, sin embargo los resultados de este trabajo indican que el contenido de sólidos solubles totales de los frutos de fresa producidos en sistema escaleriforme no se afecta, tomando en cuenta que la radiación recibida fue mayor a la requerida para este cultivo.

Cuadro 5. Sólidos solubles totales (°Brix) de los frutos de fresa en diferentes alturas en contenedores escaleriformes

<b>Altura (cm)</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>
20	6.57 ± 0.8 a	7.21 ± 0.5 a	6.38 ± 0.8 c	7.48 ± 0.5 b	7.81 ± 0.9 c
50	6.28 ± 1.6 a	7.69 ± 0.9 a	6.88 ± 0.5 bc	7.05 ± 0.4 b	8.71 ± 1.2 bc
80	6.92 ± 0.6 a	7.08 ± 0.5 a	7.49 ± 0.6 ab	8.86 ± 1.0 a	9.42 ± 1.1 ab
110	6.22 ± 1.1 a	7.10 ± 0.8 a	7.84 ± 0.5 a	8.59 ± 0.6 a	10.8 ± 1.3 a
Promedio	6.20 ± 1.1	7.30 ± 0.7	7.14 ± 0.8	7.80 ± 0.9	9.20 ± 1.6
CV %	17.2	20.2	11.7	12.2	17.3

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes, (LSD = 0.05), ns: no significativo, \*significativo.

### 6.7 Fertirriego y drenaje

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas significativas en pH, conductividad

eléctrica (CE) y porcentaje de drenaje de los contenedores establecidos a diferentes alturas (Cuadro 6). El mayor valor de pH y CE se obtuvo en el drenaje de las plantas establecidas a mayor altura (7.65 y 1.37 dS m<sup>-1</sup> respectivamente), estas diferencias se deben a que a mayor altura existe un mayor consumo de agua por las plantas y el drenaje disminuye, dando como resultado el incremento de estos valores por la concentración de sales en el contenedor del cultivo, resultados acorde con los reportados por Morales y Urrestarazu (2013) en tomate. El contenedor establecido a mayor altura (110 cm) fue el que tuvo menor drenaje (12.33 %) diferente estadísticamente con respecto al resto de las alturas (Cuadro 6). Estos resultados se deben a que a mayor altura se tiene mayor área foliar y radiación; además en ningún momento tienen sombreado por las plantas y como consecuencia mayor transpiración (Garland *et al.*, 2012) y mayor consumo de agua.

Cuadro 6. Parámetros del drenaje en las diferentes alturas y orientaciones de contenedores escaleriformes en el cultivo sin suelo de fresa

<b>Altura de contenedor (cm)</b>	<b>pH</b>	<b>CE (dS·m<sup>-1</sup>)</b>	<b>Drenaje (%)</b>
20	6.92±0.08 c	1.18±0.02 b	23.50±0.04 ab
50	7.23±0.09 b	1.19±0.03 ab	23.67±0.05 ab
80	7.49±0.06 ab	1.32±0.04 ab	24.67±0.01 a
110	7.65±0.05 a	1.37±0.06 a	12.33±0.02 b
<b>Orientación</b>			
Este	7.29± 0.34 a	1.24±0.11 a	20.42±0.08 a
Oeste	7.34± 0.25 a	1.29±0.14 a	21.67±0.10 a

Medias con diferente letra en columnas son estadísticamente diferentes, (LSD de Fisher  $\alpha = 0.05$ ).

## VII CONCLUSIONES

La incidencia de la RFA y RFAI recibida en las plantas de fresa en todas las alturas de los contenedores, fue significativamente diferente por la mañana y por la tarde, de acuerdo a la orientación este y oeste, sin embargo los valores promedios diarios fueron estadísticamente iguales.

El rendimiento fue significativamente mayor en los contenedores con 50, 80 y 110 cm de altura, en los cuales el promedio fue 34% superior al obtenido en el contenedor con 20 cm de altura. La altura de los contenedores y la RFA y RFAI recibida en cada uno de ellos, no afectó el contenido de sólidos solubles totales.

El sistema de producción de fresa en contenedores escaleriformes puede ser una opción viable para incrementar el rendimiento de la fresa en pequeñas superficies bajo invernadero y de acuerdo a los resultados del presente estudio, se deberá eliminar el contenedor de 20 cm con respecto al suelo, para tener producción y calidad estables.

## VIII BIBLIOGRAFÍA

- Al-Chalabi, M. 2015. Vertical farming: Skyscraper sustainability? *Sustainable Cities and Society* 18: 74-77.
- An, S. K., Kim, Y.J. and Kim, K.S. 2013. Inhibition of inflorescence initiation in immature *Doritaenopsis* Queen Beer 'Mantefon' by photoperiod and temperature. *Hort. Environ. Biotechnol.* 54: 223-227.
- Almanza, R.A., Callejas, O., Correa, G., Flores, V., Jiménez, G., Lentz, A., *et al.* 2003. *Ingeniería de la Energía Solar II*. Mexico, DF: UNAM.
- Ayub, R., Bosetto, L., Galvao, C., Etto, R., Inaba, J., Lopes, P. 2016. Abscisic acid involvement on expression of related gene and phytochemicals during ripening in strawberry fruit *Fragaria x ananassa* cv. Camino Real. *Scientia Horticulturae* 203: 178-184.
- Bárbaro, L.A., Imhoff, S.C and Morisigue, D.E. 2014. Evaluación de sustratos formulados con corteza de pino, pinocha y turba subtropical. *Ciencia del Suelo* 32(2): 149-158.
- Blanchard, M.G., Runkle, E.S., Fisher, P.R. 2011. Modeling plant morphology and development of petunia in response to temperature and photosynthetic daily light integral. *Scientia Horticulturae* 129: 313-320.
- Blanco, J. y Pérez, E., 2009. La variación anual de los ángulos solares en la latitud de Santa Marta y su importancia local. *Bol. Invest. Mar. Cost.* 38(1): 151-169.
- Bouzo, C.A. y Pilatti, R.A. 1999. Evaluación de algunos factores que afectan la transmisión de radiación solar en invernaderos. *Revista FAVE* 13(2): 13-19.

- Bradford, E., Hancock, J.F., Warner, R.M. 2010. Interactions of temperature and photoperiod determine expression of repeat flowering in strawberry. *Amer. Soc. Hort. Sci.* 135(2): 102-107.
- Calvate, E.O., Nienow A.A., Wesp, C.L., Cestonaro, L., Mariani, F., Fioreze, I. *et al.* 2007. Hydroponic strawberry production in vertical columns system under protected cultivation. *Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal* 29(3): 524-529.
- Casierra-Posada, F., Peña-Olmos, J.E. and Ulrichs, C. 2011a. Growth and photochemical efficiency of photosystem II in strawberry plants (*Fragaria* sp.) Affected by the light quality: agronomic implications. *Actualidad & Divulgación Científica* 14(2): 43-53.
- Casierra-Posada F., Peña-Olmos, J.E. y Vargas-Martínez, A.F. 2011b. Propiedades fisicoquímicas de fresas (*Fragaria* sp) cultivadas bajo filtros selectivos. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín* 64(2): 6221-6228.
- Casierra-Posada F., Peña-Olmos, J.E. and Ulrichs, C., 2012. Basic growth analysis in strawberry plants (*Fragaria* sp.) exposed to different radiation environments. *Agronomía Colombiana* 30:25-33.
- Cecatto, A.P., Calvete, E.O., Nienow, A.A., Costa, R.C. et al. 2013. Culture systems in the production and quality of strawberry cultivars. *Acta Scientiarum Agronomy* 35(4): 471-478.
- Chang, X; Alderson, P.G. and Wright, C.J. 2008. Solar irradiance level alters the growth of basil (*Ocimum basilicum* L.) and its content of volatile oils. *Environ. Exp. Bot.* 63: 216-223.

- Christiaens, A., Lootens, P., Roldán-Ruiz, I., Pauwels, E., Gobin, B. and Van Labeke, M. 2014. Determining the minimum daily light integral for forcing of azalea (*Rhododendron simsii*). *Scientia Horticulturae* 177: 1-9.
- De Brujin, J. and Bórquez, R. 2014. Quality retention in strawberries dried by emerging dehydration methods. *Food Research International* 63: 42-48.
- Duffie, J.A. and Beckman, W.A. 2013. *Solar Engineering of Thermal Processes*. Fourth Edition. New Jersey, USA. John Wiley and Sons, Inc.
- Durner, E.F. 2015. Photoperiod affects floral ontogeny in strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) plug plants. *Scientia Horticulturae* 194: 154-159.
- España-Boquera, M.L., Champo-Jiménez, O., Lobit, P., Arellano, F., Cárdenas-Navarro, R. 2015. Modelo informático para la construcción de doseles virtuales de fresa. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6(2): 291-302.
- Fernandes-Júnior, F., Furlani, P.R., Ribeiro, I.J.A. and Carvalho, C.R.L. 2002. Produção de frutos e estolhos do morangueiro em diferentes sistemas de cultivo em ambiente protegido. *Bragantia*, Campinas 61(1): 25-34.
- Flores-Ortega, A., Martínez-Soto, G., Quiroz-Ramírez, C., Díaz-Serrano, R., Romero-Valdez, M. 2012. Análisis de la transmitancia de luz en un invernadero para producción de jitomate. *Acta Universitaria* 22(1): 5-10.
- Garland, K.F., Burnett, S.E., Day, M.E., 2012 Influence of substrate water content and daily light integral on photosynthesis, water use efficiency, and morphology of *Heuchera Americana*. *Hortscience* 137(1): 57-67.

- Gent, M.P.N. 2014. Effect of Daily Light Integral on Composition of Hydroponic Lettuce. Hortscience 49(2): 173-179.
- Gent, M.P.N. 2016. Effect of Irradiance and Temperature on Composition of Spinach Hortscience 51(2):133–140.
- Godfray, H. C.J.; Beddington, J.R., Crute, I.R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J.F., *et al.* 2010. Food security: The challenge of feeding 9 billion people. Science 327: 812-818.
- Hernández, R. and Kubota, C. 2014. Growth and morphological response of cucumber seedlings to supplemental red and blue photon flux ratios under varied solar daily light. Scientia Horticulturae 173: 92-99.
- Higashide, T. 2008. Light interception by tomato plants (*Solanum lycopersicum*) grown on a sloped field. Agricultural and forest meteorology 149: 756-762.
- Iglesias, N. y Muñoz, A. 2007. Comparación de la transmisión de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) en invernaderos del norte de la Patagonia. Horticultura Argentina 26(60): 10-16.
- Jafarnia, S., Khosrowshahi, S., Hatamzadeh, A. and Tehranifar, A. 2010. Effect of substrate and variety on some important quality and quantity characteristics of strawberry production in vertical hydroponics system. Advances in Environmental Biology 4(3): 360-363.
- Jaramillo-Roblero, A., Arcila-Pulgarín, J., Montoya-Restrepo, E.C., Quiroga-Zea, F. 2006 La radiación solar; consideraciones para su estudio en las plantaciones de café (*Coffea arabica* L.). Meteorología colombiana 10: 12-22.
- Johkan, M., Shoji, K., Goto, F., Hahida, S. and Yoshihara, T. 2012. Effect of green light

- wavelength and intensity on photomorphogenesis and photosynthesis in *Lactuca sativa*. Environmental and Experimental Botany 75: 128-133.
- Kadir, S. and Sidhu, G. 2006. Strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) Growth and Productivity as affected by Temperature. HORTSCIENCE 41(6): 1423-1430.
- Kallio, H., Hakala, M., Pelkkikangas, A.M., Lapveteläinen, A. 2000. Sugars and acids of strawberry varieties. Eur. Food. Res. Technol. 212: 81-85.
- Keutgen, A.J. and Pawelzik, E. 2008. Quality and nutritional value of strawberry fruit under long term salt stress. Food Chemistry 107: 1413-1420.
- Kjaer, K.H.; Ottosen, C.O. and Jørgensen, B.N. 2012. Timing growth and development of *Campanula* by daily light integral and supplemental light level in a cost-efficient light control system. Scientia Horticulturae 143: 189-196.
- Korczynski, P.C., Logan, J. y Faust, J.E. 2002. Mapping monthly distribution of daily light integrals across the contiguous United States. HortTechnology 12(1): 12-16.
- Li, H., Li, T., Gordon, R.J., Asiedu, S.K. and Hu, K. 2010. Strawberry plant fruiting efficiency and its correlation with solar irradiance, temperature and reflectance water index variation. Environmental and Experimental Botany 68: 165-174.
- López-Lozano, R., Baret, F., Chelle, M., Rochdi, N. and España, M. 2007. Sensitivity of gap fraction to maize architectural characteristics based on 4D model simulations. Agriculture and Forest Meteorology 143: 217-229.
- Lopez, R.G. 2007. Stock plant and propagation photosynthetic daily light integral and storage influence postharvest performance of herbaceous cuttings. Tesis doctoral. Michigan State University. Michigan. 118 p.

- Lopez, R.G. and Runkle, E.S. 2008. Photosynthetic daily light integral during propagation influences rooting and growth of cuttings and subsequent development of New Guinea *Impatiens* and *Petunia*. Hortscience 43(7): 2052-2059.
- Martínez-Gutiérrez, G.A., Díaz-Pichardo, R., Juárez-Luis, G., Ortiz-Hernández, Y.D., López-Cruz, J.Y. 2014. Caracterización de las unidades de producción de tomate en invernaderos de Oaxaca. Agricultura, Sociedad y Desarrollo 11(2): 153-165.
- Martínez-Gutiérrez G.A., Ortiz-Hernández Y.D., Aquino- Bolaños T., Bautista-Cruz A. and López-Cruz J.Y. 2015. Properties of *Agave angustifolia* Haw. bagasse before and after its composting. Com. Sci. 6(4): 418:429.
- Martínez-Gutiérrez, G.A., Nicolás-Santana, L., Ortiz-Hernández, Y.D., Morales, I. y Gutiérrez-Hernández, G.F. 2016. Crecimiento y contenido de aceite en albahaca (*Ocimum basiculum* L.) bajo mallas sombras de colores. Interciencia 41(6): 428-432.
- Méndez-Galicia, T., Sánchez-Del-Castillo, F., Sahagún-Castellanos, J. y Contreras-Magaña, E. 2005. Doseles escaleriformes con hileras de plantas de Jitomate orientadas en dirección este-oeste. Revista Chapingo Serie Horticultura 11(1): 185-192.
- Misran, A., Padmanabhan, P., Sullivan, J.A., Khanizadeh, S. and Paliyath, G. 2015. Composition of phenolics and volatiles in strawberry cultivars and influence of preharvest hexanal treatment on their profiles. Canadian Journal of Plant Science 95: 115-126.
- Morales, I. y Urrestarazu, M. 2013. Thermography study of moderate electrical conductivity and nutrient solution distribution system effects on grafted tomato soilless culture.

- Hortscience. 48:1508-1512.
- Nemali, K.S. and M.W van Iersel 2004. Acclimation of wax *Begonia* to light intensity: Changes in photosynthesis, respiration and chlorophyll concentration. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 129(5): 745-751.
- NMX 062. Norma mexicana NMX-FF-062-SCFI-2002 que establece las especificaciones mínimas de calidad que deben cumplir los frutos de fresa. Recuperado el 15 de octubre de 2016. [https://app.vlex.com/#WW/vid/381806366/graphical\\_version](https://app.vlex.com/#WW/vid/381806366/graphical_version).
- Ojeda-Real, L.A, Cárdenas-Navarro, R., Lobit, P., Grajeda-Cabrera, O., Valencia-Cantero, E. y Macías-Rodríguez, L. 2008. Efecto de la nutrición nítrica y sistemas de riego en el sabor de la fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.). Revista Chapingo Serie Horticultura 14(1): 61-70.
- Oyarzún, R., Stöckle, C., Wu, J. and Whiting, M. 2011. In field assessment on the relationship between photosynthetic active radiation (PAR) and global solar radiation transmittance through discontinuous canopies. Chilean Journal of Agricultural Research 71(1):122-131.
- PRNF (Plan Rector Nacional, Sistema Producto Fresa) 2012. Recuperado el 26 de Abril de 2017. [http://dev.pue.itesm.mx/sagarpa/nacionales/EXP\\_CNISP\\_FRESA/PLAN%20--0RECTOR%20QUE%20CONTIENE%20PROGRAMA%20DE%20TRABAJO%202012/PR\\_CNISP\\_FRESA\\_2012.pdf](http://dev.pue.itesm.mx/sagarpa/nacionales/EXP_CNISP_FRESA/PLAN%20--0RECTOR%20QUE%20CONTIENE%20PROGRAMA%20DE%20TRABAJO%202012/PR_CNISP_FRESA_2012.pdf).
- Pramuk, L.A. and Runkle, E.S. 2005. Modeling growth and development of Celosia and Impatiens in response to temperature and photosynthetic daily light integral. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 130(6): 813-818.

- Quintero C., M.F., Gonzalez M., C.A. y Guzman P., J.M. 2011. Sustratos para cultivos hortícolas y flores de corte. En: Florez R., V.J. (Ed.). Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo. Bogota: Editorial Universidad Nacional de Colombia. pp. 79-108.
- Rodríguez, D., Reza, J., Martínez, J., Lao, M.T. and Urrestarazu, M. 2014. Effect of controlling the leaching fraction on the fertigation and production of a tomato crop under soilless culture. *Scientia Horticulturae* 179: 153-157.
- Sánchez-Del-Castillo, F., Moreno-Pérez, E.C. y Cruz-Arellanes, E.L. 2009. Producción de jitomate hidropónico bajo invernadero en un sistema de dosel en forma de escalera. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15(1): 67-73.
- Sánchez-Del-Castillo, F.; Moreno-Pérez, E.C., Coatzín-Ramírez, R., Colinas-León, M.T., Peña-Lomelí, A. 2010. Evaluación agronómica y fisiotécnica de cuatro sistemas de producción en dos híbridos de jitomate. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 16(3): 207-214.
- Sánchez-Del-Castillo, F., Bastida-Cañada., O.A., Moreno-Pérez., E.C., Contreras-Magaña, E., Sahagún -Castellanos, J. 2014. Rendimiento de jitomate con diferentes métodos de cultivo hidropónico basados en doseles escaleriformes. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 20(3): 239-251.
- Santoyo, J. J. A. y Martínez, A. C. 2010. Paquete tecnológico para la producción de fresa. Culiacán, Sinaloa, México. Fundación Produce Sinaloa.

- Seginer, I., Albright, L.D. y Ioslovich, I. 2006. Improved strategy for a constant Daily Light Integral in greenhouses. *Biosystems Engineering* 93(1): 69-80.
- Shin, Y., Ryu, J.A., Liu, R.H., Nock, J.F., Polar-Cabrera, K. y Watkins, C.B. 2008. Fruit quality, antioxidant contents and activity, and antiproliferative activity of strawberry fruit stored in elevated CO<sub>2</sub> atmospheres. *Journal of Food Science* 73(6): 339-344.
- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2015. México. Recuperado el 14 de noviembre de 2016. [www.siap.gob.mx](http://www.siap.gob.mx).
- Sønsteby, A. y Heide, O.M. 2006. Dormancy relations and flowering of the strawberry cultivars Korona and Elsanta as influenced by photoperiod and temperature. *Scientia Horticulturae* 110: 57-67.
- Tabatabaei, S., Yusefi, M. y Hajiloo, J. 2008. Effects of shading and NO<sub>3</sub>:NH<sub>4</sub> ratio on the yield, quality and N metabolism in strawberry. *Scientia Horticulturae* 116: 264-272.
- Torres, A.P., Lopez, R.G., 2011. Photosynthetic daily light integral during propagation of *Tecoma stans* influences seedling rooting and growth. *Hortscience* 46(2): 282-286.
- Ucan, C.I., Sánchez-Del-Castillo, F., Contreras, M.E. y Corona, S.T. 2005. Efecto de la densidad de población y raleo de frutos sobre el rendimiento y tamaño del fruto en tomate. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28(1): 33-38.
- Urrestarazu, M. 2004; Tratado de cultivo sin suelo. Madrid, España. Mundi-Prensa Libros.
- Urrestarazu, M., Nájera, C. y Gea, M.M. 2016. Effect of the spectral quality and intensity of light-emitting diodes on several horticultural crops. *Hortscience* 51(3): 268-271.

- Velázquez, M. y Pimentel, E. 2008. Agronomía de la fresa, principios y nuevas tecnologías. México, DF. Instituto Politécnico Nacional.
- Verheul, M.J., Sønsteby, A. and Grimstad, S.O. 2006. Interactions of photoperiod, temperature, duration of short-day treatment and plant age on flowering of *Fragaria x ananassa* Duch. cv. Korona. *Scientia Horticulturae* 107: 164-170.
- Verheul, M.J., Sønsteby, A. and Grimstad, S.O. 2007. Influences of day and night temperatures on flowering of *Fragaria x ananassa* Duch., cvs. Korona and Elsanta, at different photoperiods. *Scientia Horticulturae* 112: 200-206.
- Warner, R.M. and Erwin J.E. 2003. Effect of photoperiod and daily light integral on flowering of five *Hibiscus* sp. *Scientia Horticulturae* 97: 341-351.
- Watson, R., Wright, C.J., McBurney, T., Taylor, A.J. y Linforth, R.S.T. 2002. Influence of harvest date and light integral on the development of strawberry flavour compounds. *Journal of Experimental Botany*. 53(377): 2121-2129.
- Yepes Jaramillo, G. y Martínez Bustamante, G., Los balances energéticos en la producción agropecuaria. 2005. *Energética* 33: 73-90.
- Zarazúa-Escobar, J., Almaguer-Vargas, G. y Márquez-Berber, S.R. 2011. Redes de Innovación en el sistema productivo fresa en Zamora, Michoacán. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 17(1): 51-60.
- Zeb, A., Amin, N.U., Shah, S., Ayub, M., Khan, M.A., Ali, M *et al.* 2015. Post-harvest evaluation of strawberry fruit preserves in different concentration of sucrose solution

and potash alum stored at ambient temperature. Nutrition & Food Sciences S13: 001.

Zermeño-González, A., Montemayor-Trejo, J.A., Munguía-López, J., Ibarra-Jiménez, L. y Cadena-Zapata, M. 2005. Reflectividad y absorción de la radiación en tres densidades de planta y su relación con el rendimiento de maíz (variedad cafime). Agrociencia 39: 285-292.