

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO**

**DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA**

**INSTITUTO DE HORTICULTURA**

**DINÁMICA NUTRIMENTAL Y RENDIMIENTO DE PEPINO EN SISTEMAS  
HIDROPÓNICOS CON RECIRCULACIÓN DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA**



**TESIS:**

Como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA**

**PRESENTA**

**CARLOS EFRAÍN REYES GONZÁLEZ**



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA  
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES  
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES

Chapingo, México. Septiembre de 2012

## APROBACIÓN

### DINÁMICA NUTRIMENTAL Y RENDIMIENTO DE PEPINO EN SISTEMAS HIDROPÓNICOS CON RECIRCULACIÓN DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA

Tesis realizada por **Carlos Efraín Reyes González**, bajo la dirección del Dr. Felipe Sánchez del Castillo y del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

### MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR:



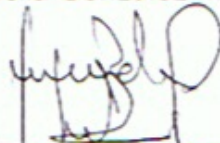
Dr. Felipe Sánchez del Castillo

CODIRECTOR:



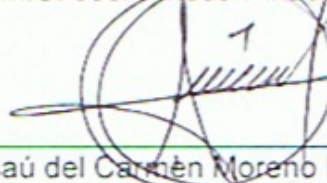
Dra. Lucila González Molina

ASESOR:



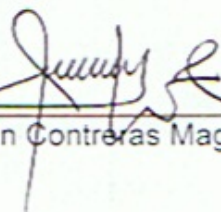
M.C. Joel Pineda Pineda

ASESOR:



Dr. Esaú del Carmen Moreno Pérez

ASESOR:



Dr. Efraín Contreras Magaña

Chapingo, Estado de México, Septiembre de 2012.

## **AGRADECIMIENTOS**

---

Concluir una tesis es el trabajo directo o indirecto de diversas personas e instituciones, por esta razón les debo mi respeto e infinita gratitud a quienes me apoyaron a llegar a este punto de mi formación, quienes me dieron el aliento para permanecer en este y finalizar este posgrado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por su apoyo económico y continuidad a este posgrado, por inculcarme su lema "para crecer hay que saber".

A la Universidad Autónoma Chapingo sede del Instituto de Horticultura, por su labor de excelencia. A la Universidad de Guadalajara donde concluí mi licenciatura.

A quienes integraron mi comité asesor, quienes en todo momento han sido una fuente de inspiración y me han tendido la mano desde el momento que llegué a la Universidad Autónoma Chapingo.

Dr. Felipe Sánchez del Castillo, por su gran trayectoria, sin duda es una persona digna de emular.

Dra. Lucila González Molina, por sus ideas de mejora en el trabajo.

Dr. Joel Pineda Pineda, por disponibilidad y su asesoramiento acertado.

Dr. Esaú del Carmen Moreno Pérez, por su gran desempeño y perfeccionismo en el trabajo de investigación.

Dr. Efraín Contreras Magaña, por su experiencia y por su gran labor docente.

## DEDICATORIA

---

A mis padres Alberto Reyes Sánchez y Laura Estela González Cuevas, quienes siempre me han apoyado incondicionalmente.

Les agradezco mis hermanos Andrés y Alberto, así como el resto de mi familia Reyes y González que siempre han sido incondicionales conmigo.

También agradezco la valiosa ayuda y mis más sincera gratitud a mis amistades, colegas y amigos de la vida, en especial a Julieta Rodríguez Licona y Felipe de Jesús Muñiz Chavelas.

Sinceramente

Carlos Efraín Reyes González

## **DATOS BIOGRÁFICOS**

---

Licenciado en biología Carlos Efraín Reyes González, nació en la ciudad de Guadalajara, Jalisco, el 30 de Diciembre de 1985. Ingresó a la Universidad de Guadalajara en el año de 2005, obtuvo una beca de movilidad estudiantil por parte del gobierno de Baviera, para cursar un año en la Universität Bayreuth, Alemania. En la licenciatura recibió una beca para por parte de la UNESCO y Open Houses en las ciudades de Atenas, Grecia y Berlín, Alemania En enero de 2010 ingresó a la Universidad Autónoma Chapingo, en la cual realizó estudio de Maestría en Ciencias en horticultura, en el Instituto de Horticultura del Departamento de Fitotecnia de la misma Universidad.

# CONTENIDO

---

|                                                                             | Página |
|-----------------------------------------------------------------------------|--------|
| ÍNDICE DE FIGURAS.....                                                      | IV     |
| ÍNDICE DE CUADROS.....                                                      | VI     |
| RESUMEN.....                                                                | IX     |
| SUMMARY.....                                                                | X      |
| 1. INTRODUCCIÓN.....                                                        | 1      |
| 2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....                                               | 6      |
| 3. HIPÓTESIS.....                                                           | 7      |
| 4. REVISIÓN DE LITERATURA.....                                              | 8      |
| 4.1. El cultivo del pepino.....                                             | 8      |
| 4.1.1. Descripción taxonómica del pepino ( <i>Cucumis sativus L.</i> )..... | 9      |
| 4.1.2. Descripción botánica del pepino ( <i>Cucumis sativus L.</i> ).....   | 10     |
| 4.1.3. Requerimientos ambientales.....                                      | 12     |
| 4.2. Producción de pepino en hidroponía bajo invernadero.....               | 13     |
| 4.2.1. Podas.....                                                           | 13     |
| 4.2.2. Densidades.....                                                      | 13     |
| 4.2.3. Cosecha.....                                                         | 14     |
| 4.3. Hidroponía.....                                                        | 15     |
| 4.3.1. Clasificación de los cultivos hidropónicos.....                      | 18     |
| 4.3.2. Solución nutritiva.....                                              | 19     |
| 4.3.3. Desinfección de la solución nutritiva.....                           | 21     |

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.4. Análisis del crecimiento vegetal e índices de eficiencia fisiológica.....                   | 21 |
| 5. MATERIALES Y MÉTODOS.....                                                                     | 25 |
| 5.1. Localización del experimento.....                                                           | 25 |
| 5.2. Material vegetal.....                                                                       | 26 |
| 5.3. Tratamientos (sistemas de producción).....                                                  | 26 |
| 5.3.1. Hidroponía de flujo profundo ó también llamada en inglés Deep flow<br>technique.....      | 30 |
| 5.3.2. Bolsas con recirculación y sin recirculación del drenaje de la solución<br>nutritiva..... | 32 |
| 5.3.3. Camas con recirculación y sin recirculación del drenaje.....                              | 33 |
| 5.4. Manejo experimental.....                                                                    | 34 |
| 5.4.1. Semillero.....                                                                            | 34 |
| 5.4.2. Trasplante.....                                                                           | 35 |
| 5.4.3. Conducción del cultivo.....                                                               | 35 |
| 5.4.4. Control de Plagas y Enfermedades.....                                                     | 35 |
| 5.4.5. Fertilización.....                                                                        | 36 |
| 5.4.6. Manejo experimental de los tratamientos.....                                              | 37 |
| 5.4.7. Diseño experimental.....                                                                  | 38 |
| 5.5. Índices y caracteres evaluados.....                                                         | 39 |
| 5.5.1. Caracteres morfológicos.....                                                              | 39 |
| 5.5.2. Índices de crecimiento.....                                                               | 40 |
| 5.5.3. Rendimiento y sus componentes.....                                                        | 42 |
| 5.5.4. Agua y nutrientes.....                                                                    | 42 |
| 5.6. Análisis estadístico.....                                                                   | 42 |

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....                                         | 43 |
| 6.1. Variables morfológicas.....                                       | 43 |
| 6.2. Indicadores de crecimiento.....                                   | 46 |
| 6.2.1. Tasa de asimilación neta y tasa de crecimiento del cultivo..... | 50 |
| 6.3. Rendimiento y sus componentes.....                                | 52 |
| 6.4. Agua y nutrimentos.....                                           | 55 |
| 6.4.1. Eficiencia en el uso del agua y nutrimentos.....                | 55 |
| 6.4.2. Concentración de nutrimentos.....                               | 57 |
| 6.4.3. Extracción de nutrimentos.....                                  | 60 |
| 6.4.4. Uso y extracción total de nutrimentos.....                      | 63 |
| 6.5. Comportamiento de pH y conductividad eléctrica.....               | 66 |
| 6.5.1. pH de la solución drenada.....                                  | 66 |
| 6.5.2. Conductividad eléctrica de la solución nutritiva.....           | 69 |
| 7. CONCLUSIONES.....                                                   | 72 |
| 8. LITERATURA CITADA.....                                              | 73 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                              | Página |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Figura 1. Panorámica del experimento e interior del invernadero.....                                                                                         | 25     |
| Figura 2. Hidroponía de flujo profundo.....                                                                                                                  | 27     |
| Figura 3. Cultivo en bolsas con pepino sin recirculación del drenaje.....                                                                                    | 27     |
| Figura 4. Cultivo en bolsas con pepino con recirculación del drenaje.....                                                                                    | 28     |
| Figura 5. Cultivo en camas con pepino sin recirculación del drenaje.....                                                                                     | 28     |
| Figura 6. Cultivo en camas con recirculación del drenaje.....                                                                                                | 29     |
| Figura 7. Tinacos para tratamientos con recirculación de la solución nutritiva.....                                                                          | 29     |
| Figura 8. Recubrimiento interior del cajón para hidroponía de flujo profundo.....                                                                            | 31     |
| Figura 9. Sistema radical en el tratamiento Hidroponía de flujo profundo durante el<br>ciclo de cultivo.....                                                 | 31     |
| Figura 10. Bolsas de 15 L sobre canaletas de PVC para tratamiento sin<br>recirculación y con recirculación.....                                              | 32     |
| Figura 11. Camas cubiertas de tezontle con una pendiente al 3 % para dirigir la<br>solución nutritiva en sistemas sin recirculación y con recirculación..... | 34     |
| Figura 12. Comportamiento del pH en la solución drenada a través del tiempo para<br>cultivo de pepino en diferentes sistemas de producción.....              | 68     |
| Figura 13. Comportamiento de la CE en la solución drenada a través del tiempo                                                                                |        |

para cultivo de pepino en diferentes sistemas de producción.....71

## ÍNDICE DE CUADROS

Página

|                                                                                                                                                                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Cuadro 1. Composición nutritiva del pepino (100 g de producto).....                                                                                                                                                                                              | 8  |
| Cuadro 2. Composición del agua y solución nutritiva.....                                                                                                                                                                                                         | 36 |
| Cuadro 3. Fuentes de fertilizante usadas para prepara la solución nutritiva.....                                                                                                                                                                                 | 36 |
| Cuadro 4. Cuadrados medios y niveles de significancia para variables<br>morfológicas medidas a los 7, 23, 36, 46 y 55 días después del<br>trasplante, de pepino bajo diferentes sistemas hidropónicos.....                                                       | 44 |
| Cuadro 5. Comparación de medias para variables morfológicas a los 7, 23, 36, 46,<br>55 días después del trasplante, durante el ciclo de cultivo de pepino en<br>diferentes sistemas hidropónicos.....                                                            | 45 |
| Cuadro 6. Cuadrados medios y niveles de significancia para algunos indicadores<br>del crecimiento medidos a los 23, 36,46 y 55 días después del<br>trasplante, de pepino bajo diferentes sistemas hidropónicos.....                                              | 47 |
| Cuadro 7. Comparación de medias para algunos indicadores del crecimiento<br>medidas a los 23, 36, 46 y 55 días después del trasplante (ddt) de<br>pepino bajo diferentes sistemas hidropónicos.....                                                              | 49 |
| Cuadro 8. Cuadrados medios y niveles de significancia para variables de Tasa de<br>asimilación neta y Tasa de crecimiento del cultivo medidas a los 23-36,<br>36-46 y 46-55 días después del trasplante, de pepino bajo diferentes<br>sistemas hidropónicos..... | 50 |
| Cuadro 9. Comparación de medias para tasas de asimilación neta y tasas de<br>crecimiento del cultivo para los periodos de 23 a 36, 36 a 46 y 46 a 55                                                                                                             |    |

|                                                                                                                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| días después del trasplante, para el cultivo de pepino bajo diferentes sistemas hidropónicos.....                                                                                                                     | 51 |
| Cuadro 10. Cuadrados medios y niveles de significancia para variables de rendimiento y sus componentes primarios en pepino bajo diferentes sistemas de producción.....                                                | 52 |
| Cuadro 11. Comparación de medias para variables de rendimiento y sus componentes primarios en pepino bajo diferentes sistemas hidropónicos.....                                                                       | 54 |
| Cuadro 12. Indicadores de eficiencia en el uso del agua en plantas de pepino a los 55 días después del trasplante cultivadas en diferentes sistemas hidropónicos.....                                                 | 56 |
| Cuadro 13. Cuadrados medios y niveles de significancia para concentración de potasio, nitrógeno y fosforo a los 55 días después del trasplante (ddt) en pepino bajo diferentes sistemas hidropónicos.....             | 58 |
| Cuadro 14. Producción de biomasa y concentración (%) de potasio, nitrógeno y fosforo en hoja, tallo, fruto y raíz, en plantas de pepino a los 55 días después del trasplante en diferentes sistemas hidropónicos..... | 59 |
| Cuadro 15. Cuadrados medios, estadísticos y niveles de significancia para extracción de potasio, nitrógeno y fosforo a los 55 días después del trasplante en pepino bajo diferentes sistemas de hidropónicos.....     | 61 |
| Cuadro 16. Extracción de potasio, nitrógeno y fosforo, en hoja, tallo, fruto y raíz en plantas de pepino a los 55 días después del trasplante en diferentes                                                           |    |

|                                                                                                                                                                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| sistemas hidropónicos.....                                                                                                                                                                                                                           | 62 |
| Cuadro 17. Cuadrados medios, estadísticos y niveles de significancia para<br>extracción total de potasio, nitrógeno y fosforo en plantas de pepino a<br>los 55 días después del trasplante desarrolladas en diferentes sistemas<br>hidropónicos..... | 65 |
| Cuadro 18. Extracción total de potasio, nitrógeno y fosforo en plantas de pepino a<br>los 55 días después del trasplante desarrolladas en diferentes sistemas<br>hidropónicos.....                                                                   | 64 |
| Cuadro 19. Uso de nutrimentos (potasio, nitrógeno y fosforo) en plantas de pepino,<br>cultivadas en diferentes sistemas hidropónicos.....                                                                                                            | 66 |

## RESUMEN

---

### DINÁMICA NUTRIMENTAL Y RENDIMIENTO DE PEPINO EN SISTEMAS HIDROPÓNICOS CON RECIRCULACIÓN DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA

Con la finalidad de evaluar la viabilidad de utilizar sistemas hidropónicos con recirculación de la solución nutritiva que otorguen al menos el mismo rendimiento y calidad que los sistemas hidropónicos sin recirculación de solución nutritiva, mediante el acortamiento del ciclo de cultivo de pepino realizando un despunte temprano; se analizaron caracteres morfológicos, índices de crecimiento, rendimiento y aprovechamiento del agua y fertilizantes, los tratamientos fueron: bolsas y camas rellenas de arena de tezontle rojo con y sin recirculación de la solución nutritiva y un sistema de hidroponía profunda (HP). El crecimiento y rendimiento de pepino fueron similares entre los sistemas con y sin recirculación de la solución nutritiva; sin embargo, con HP se alcanzó mayor rendimiento por unidad de superficie respecto a los demás sistemas. El tratamiento de HP también fue estadísticamente superior en acumulación de materia seca después de los 46 días después del trasplante. Los tratamientos sin recirculación presentaron los valores más altos de Índice de Área Foliar. En el periodo de los 23 a 36 ddt, la Tasa de Crecimiento del Cultivo fue mayor en el sistema de hidroponía profunda. Los sistemas con recirculación de la solución nutritiva permitieron un ahorro superior a 20 % de agua y 25 % en nutrimentos, comparado con los sistemas sin recirculación.

**Palabras clave:** *Cucumis sativus*, hidroponía profunda, despunte, tezontle.

## SUMMARY

---

### NUTRITIONAL DYNAMICS AND CUCUMBER YIELD IN HYDROPONIC SYSTEMS WITH NUTRITIONAL SOLUTION RECIRCULATION

The objective of this study was to assess the feasibility of using closed hydroponic systems which give at least the same yield and quality as open hydroponic systems by shortening the cucumber crop cycle. Using a system of early trimming; and morphological characteristics, growth rates, yield, and water and fertilizer use were analyzed under the following treatments: bags and beds filled with red tezontle (volcanic sand) with and without recirculating nutrient solution and a deep flow technique (DFT) system. Growth rate and yield were similar in both systems, with and without recirculating nutrient solution. However, a larger yield per surface unit was obtained with the deep flow technique (DFT) system, compared to other systems. The accumulation of dry matter was statistically higher with the deep flow (DF) treatment in the first 46 days after transplanting (dat). Opened hydroponic systems presented the highest foliage area index (FAI) value. In the first 23 to 36 dat, crop growth rate (CGR) was higher with the deep flow DF system. Systems with recirculating nutrient solution yielded water savings of more than 20 % and nutrient savings of 25 %, compared to systems without recirculating nutrient solution.

**Key words:** *Cucumis sativus*, deep flow technique, trimming, tezontle.

## 1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con SAGARPA (2010), en México existen cerca de 11,759 hectáreas de invernaderos. La producción de cultivos en ellos suele acompañarse de tecnología hidropónica, en donde en vez de suelo se usa un sustrato y los fertilizantes se agregan como una solución nutritiva junto con el riego (Sánchez y Escalante, 1988).

Bajo condiciones de invernadero, cada año la producción de la hidroponía gana más terreno a la producción en suelo, pues en esta última, se favorece el establecimiento de patógenos que afectan a la raíz haciendo muy difícil su erradicación (Takahashi, 1984). La acumulación de sales es otro factor que se presenta con frecuencia en la producción intensiva de hortalizas en invernadero en suelo, lo que puede afectar el rendimiento, sobretodo después de varios ciclos de cultivo por los cambios de propiedades químicas y físicas del suelo que se van teniendo con el paso del tiempo (Liang *et al.*, 2006; Blanco y Folegatti, 2002). Por lo tanto el suelo puede llegar a ser un factor limitante en la producción bajo invernadero.

Debido al encarecimiento de los fertilizantes (Huang, 2009) y al daño en el medio ambiente (Páez *et al.*, 2007; Giuffrida y Leonardi, 2009; Nakano *et al.*, 2010; Massa *et al.*, 2010); en hidroponía se buscan cada día sistemas más eficientes, para su uso racional. Por ello los sistemas hidropónicos sin recirculación, donde la solución drenada no se reutiliza y se permite la infiltración en el sitio o se conduce fuera del invernadero, empiezan a ser sustituidos por los sistemas con

recirculación, donde se recoge la solución nutritiva drenada para volverse a usar en el cultivo, previa esterilización y ajustes de pH, conductividad eléctrica (CE) y nutrientes.

Desde el punto de vista ambiental, hay interés por proteger al medio ambiente de los lixiviados o drenajes generados por los cultivos hidropónicos, ya que pueden contaminar el suelo y los acuíferos. En diversos países del mundo, con el fin de evitar el impacto ambiental que se genera al derrochar el exceso de la solución nutritiva al medio ambiente, se está legislando para que los sistemas hidropónicos sin recirculación se transformen en sistemas con recirculación (Dasgan y Ekici, 2005). Este es el caso de países que son grandes productores como Holanda y España.

En México el impacto ambiental causado por la contaminación ocasionada por la hidroponía a solución perdida aún no es importante ya que la superficie cultivada con este sistema es relativamente pequeña; pero el alto costo de los fertilizantes si impacta al productor. Los sistemas hidropónicos con recirculación son deseables desde el punto de vista económico, gracias al ahorro que se logra en agua, pero sobretodo, de fertilizantes (Bar-Yosef, 2008).

Los fertilizantes impactan en los costos de operación (Lamas, 2011), de los sistemas hidropónicos sin recirculación, ya que existe hasta 40 % de desperdicio por el sobre-riego que es necesario dar para arrastrar las sales fuera de la zona de la raíz. Usando sustrato y un sistema recirculante en diferentes cultivos hortícolas García *et al.* (2007), han demostrado que el ahorro de agua y nutrimentos se

puede estimar entre 10 y 50 % frente a sistemas sin recirculación; esta variación está determinada principalmente por el manejo del fertirriego y/o la influencia de la estación o ciclo. Como lo señala Urreztarazu y Salas (2000), es indispensable que se investigue sobre los sistemas con recirculación, pues existe un vacío en la información disponible que compare el beneficio económico entre un sistema sin recirculación y uno con recirculación.

Las desventajas que se han reportado para los sistemas hidropónicos con recirculación han sido: incremento gradual de la conductividad eléctrica de la solución con el paso del tiempo, desbalance de los nutrientes componentes de la solución nutritiva y mayor riesgo de dispersar enfermedades que atacan a la raíz (Tüzel *et al.*, 2009; Van Os, 2009; Massa *et al.*, 2010). El desbalance de la solución nutritiva se genera por la presencia en exceso de aquellos iones o radicales menos consumidos por la planta ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ ), lo que rompe el equilibrio de nutrientes y en la mayoría de las veces incrementa la CE a niveles que afectan el crecimiento y rendimiento (Zekki *et al.*, 1996, Savvas *et al.*, 2009), sobre todo con la presencia de alto contenido de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  en el agua, obligando a desechar con frecuencia la solución nutritiva.

Los estudios que se han hecho al respecto en pepino han utilizado sistemas de producción de ciclos largos con cultivares de tipo indeterminado, donde coexisten durante varios meses etapas vegetativas con reproductivas (floraciones continuas), estas últimas son las más afectadas cuando la CE se eleva (Nakano *et al.*, 2010; Savvas *et al.*, 2009). Por ello, en un sistema con recirculación es fundamental mantener una CE correcta a lo largo del ciclo de cultivo, que en

pepino puede ser de hasta ocho meses, lo cual puede resultar técnicamente muy complicado para los productores. Además, debido al ciclo tan largo las plantas están expuestas por más tiempo a la presencia de plagas y enfermedades.

Para que los sistemas con recirculación se puedan implementar con mayor probabilidad de éxito y aprovechar así sus ventajas, es conveniente buscar formas de manejo más sencillas para el productor, sin que ello implique una disminución en rendimiento o calidad. Una estrategia que parece plausible sería producir con ciclos de cultivos más cortos, considerando que, entre más breve sea el tiempo de trasplante a fin de cosecha, el incremento en la CE, el desbalance de nutrientes y la probabilidad de transmisión de enfermedades se reduce.

En la Universidad Autónoma Chapingo se ha estado trabajando en un sistema de producción de pepino para acortar los ciclos de cultivo (dos meses de trasplante a fin de cosecha) basado en el trasplante de plántulas de más edad (30 a 35 días) y el despunte temprano de las plantas para dejarlas a un metro de altura. El menor rendimiento que se obtiene por planta se compensa parcialmente con el uso de más altas densidades de población (6 a 8 plantas/m<sup>2</sup>), lo que es posible debido a la menor área foliar por planta que forman las plantas despuntadas de esa manera (Sánchez *et al.*, 2006; Ortiz *et al.*, 2009, Moreno *et al.*, 2012). Además se reduce el tiempo de trasplante a cosecha con lo que es posible obtener más ciclos por año y, por tanto, mayor productividad anual.

A pesar de las ventajas que se han atribuido a este sistema, como son: mayor facilidad de manejo, concentración de las cosechas en ventanas de alto precio,

escape a enfermedades, menores costos de producción, mayor productividad anual (Sánchez *et al.*, 2006), cabe señalar que el sistema hidropónico que se ha utilizado es sin recirculación, lo que implica un porcentaje elevado de los costos de producción en fertilizantes y la eventual contaminación de mantos acuíferos de llegar a ser usada en extensiones grandes.

Con base en lo anterior, el propósito del presente trabajo fue evaluar el uso de sistemas hidropónicos con recirculación, que produzcan al menos la calidad y rendimiento anual que los sistemas sin recirculación, con el sistema de despunte de las plantas a un metro de altura en alta densidad y así obtener los beneficios de los sistemas con recirculación, a la vez que se minimizan sus riesgos y se facilita su manejo.

## **2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- 1.- Comparar el crecimiento y rendimiento de plantas de pepino (*Cucumis sativus*) despuntadas a un metro de altura bajo sistemas hidropónicos con y sin recirculación de la solución nutritiva
- 2.- Determinar el ahorro de agua y nutrimentos que se logra al recircular la solución nutritiva.
- 3.- Determinar en el tiempo, el consumo aparente de los nutrimentos, monitoreando la solución nutritiva recirculante.

### **3. HIPÓTESIS**

1.- El crecimiento y rendimiento de las plantas de pepino manejadas en ciclos cortos es igual en sistemas hidropónicos con y sin recirculación de la solución nutritiva.

2.- Existen ahorros significativos de agua y nutrimentos cuando se reutiliza la solución nutritiva drenada.

## 4. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1. El cultivo del pepino

El origen del pepino se cree que es de India o del sureste de Asia, y aparentemente ha sido cultivado ahí desde hace 3000 años. El cultivo del pepino se dio posteriormente en Grecia, Italia y luego en China. El pepino fue introducido en Inglaterra en los 1300's y en América en 1539 (Lower y Edwards, 1986; Decoteau, 2000).

La especie se encuentra dentro de las hortalizas de mayor importancia dado su consumo *per cápita* como hortaliza de mesa (FAO, 2012). Se utiliza para consumo en fresco, para obtención de aceite de las semillas y actualmente, para su uso en productos de belleza como jabones y cremas corporales gracias a su riqueza en agua, vitamina E y aceites naturales, constituye uno de los mejores remedios para el cuidado externo de la piel (SIAP, 2012). Las propiedades del pepino pueden observarse en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Composición nutritiva del pepino (100 g de producto)

| Compuesto       | Cantidad |
|-----------------|----------|
| Calorías        | 12       |
| Agua            | 96.01 g  |
| Carbohidratos   | 2.50 g   |
| Grasas          | 0.16 g   |
| Proteínas       | 0.57 g   |
| Fibra           | 0.7 g    |
| Cenizas         | 0.28 g   |
| Calcio          | 14 mg    |
| Fósforo         | 21 mg    |
| Hierro          | 0.16 mg  |
| Potasio         | 148 mg   |
| Tiamina         | 0.021 mg |
| Riboflavina     | 0.011 mg |
| Niacina         | 0.104 mg |
| Ácido ascórbico | 2.8 mg   |

Fuente: USDA (2012)

#### 4.1.1 Descripción taxonómica del pepino (*Cucumis sativus* L.)

La descripción taxonómica del pepino según Maroto (1983), Rodríguez (1986) y Valadéz (1990) es como sigue:

**Reino:** Vegetal

**Subreino:** Embryophyta

**División:** Magnoliophyta (Angiosperma)

**Clase:** Magnoliopsida (Dicotiledóneas)

**Orden:** Cucurbitales

**Familia:** Cucurbitaceae

**Género:** Cucumis

**Especie:** Cucumis sativus

#### **4.1.2. Descripción botánica del pepino (*Cucumis sativus* L.)**

El pepino (*Cucumis sativus* L.) pertenece a la familia botánica Cucurbitaceae. Esta familia se caracteriza por ser hierbas anuales o infrecuentemente perennes, en su mayoría monoicas o dioicas. Los tallos frecuentemente poseen cinco ángulos. Las hojas son alternas, usualmente palmeadas o pinnadas, con cinco lóbulos o divididas, sin estípulas. Las inflorescencias son axilares, determinadas y usualmente cimosas, algunas veces son flores solitarias. Las flores son unisexuales, actinomorfas, muy variables en estructura, los lóbulos del cáliz cinco, la corola gamopétala, los pétalos cinco (Lawrence, 1951).

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es una planta herbácea, anual, de hábito de crecimiento rastrero y con ciclo vegetativo corto. La raíz principal es columnar típica, de origen seminal, con una profundidad de hasta 1.20 m, aunque bajo sistema hidropónico, esta es de tipo fascicular, debido al mayor acceso de nutrientes en este sistema (Rodríguez, 1986; Valadéz, 1990).

El tallo es ramificado, rastrero o trepador, angular y veloso, dependiendo de la variedad y condiciones ambientales, crece hasta una longitud de 0.7 a 2.5 m y en forma lateral de 1.5 a 2.1 m, debido a las yemas axilares. Del tallo y opuesto a las hojas se forman zarcillos simples que son de utilidad para el tutoreado vertical. Las hojas son simples, de forma palmeada, pubescentes, lobuladas en cinco partes, bordes aserrados y su tamaño depende de la variedad. Las células de la

epidermis tienen cutícula delgada, por lo la planta presenta poca resistencia a una excesiva transpiración (Guenkov, 1974; Adamson y Mass, 1981).

El pepino es una planta que puede ser dioica o monoica, gracias a que algunas variedades pueden producir partenocarpia. Esta propiedad es de mucha importancia en la producción de cultivos bajo invernadero (Maroto, 1983). Las flores son axilares y color amarillo. Las flores masculinas se desarrollan antes que las femeninas. Las flores femeninas, que generalmente son solitarias, pueden distinguirse de las masculinas por el ovario localizado en la parte inferior de los pétalos (flores epigíneas) y porque crecen en forma solitaria, mientras que las flores estaminadas aparecen en grupo de tres a cinco, formando un corimbo. Todas las yemas son potencialmente bisexuales y con el tiempo la planta desarrolla en ellas un sexo en función del genotipo, la situación del botón floral y las influencias hormonales y ambientales. Cuando el fotoperiodo es largo, mayor a 12 horas luz, y con altas temperaturas se producen más flores masculinas; mientras que con el fotoperiodo corto aumenta el número de flores femeninas; la polinización es entomófila siendo las abejas los principales agentes polinizadores (Whitaker y Davis, 1962; Halfacre, 1979; Maroto, 1983; León, 1987).

El fruto es un pepónide, indehiscente, de forma cilíndrica. El epicarpio es generalmente de color verde, liso o con abultamientos y en los primeros estadios de desarrollo puede preservar espinas blancas que posteriormente caen. Las semillas (de 30 a 40 semillas por gramo) son planas, ovaladas, y de color amarillento (Guenkov, 1974; Maroto, 1983; León, 1987).

#### **4.1.3. Requerimientos ambientales**

El pepino es una hortaliza de primavera-verano, aunque en la actualidad se puede comprar durante todo el año gracias a los cultivos de invernadero (SIAP, 2012). La temperatura óptima para el crecimiento y desarrollo de las plantas oscila entre 18 y 30 °C. A temperaturas menores de 14 °C cesa el crecimiento, helándose a -1 °C. Las semillas requieren de una temperatura óptima de 20 a 25 °C durante el día y de 18 a 22 °C durante la noche, para su germinación (Guenkov, 1974; Serrano, 1979).

Como ya se señaló, los días cortos y las temperaturas relativamente bajas favorecen la formación de flores femeninas, mientras que los días largos y las temperaturas altas propician la formación de flores masculinas. Existen variedades que soportan hasta 100 000 luxes de iluminación sin saturarse (Maroto, 1983).

El pepino es una planta muy exigente con respecto al balance de humedad del suelo y del aire, debido al débil sistema radicular y al poseer una alta densidad estomática. Para el desarrollo y fructificación del cultivo, la humedad del suelo debe ser de 70 a 80 % de la capacidad de campo y la humedad relativa de 80 a 90 %. La falta de humedad en el suelo produce frutos poco desarrollados y deformes (Guenkov, 1974; Mortensen, 1986).

## **4.2. Producción de pepino en hidroponía bajo invernadero**

### **4.2.1. Podas**

Las podas dan una mayor precocidad en la cosecha, incrementa la calidad de los frutos, facilita las prácticas de cultivo, se hace un mayor control de plagas y enfermedades, facilita la recolección de frutos e incrementa la producción por unidad de superficie (Serrano; 1979).

La forma de poda más comúnmente usada en pepino bajo condiciones de invernadero consiste en eliminar por abajo de los 40 a 50 cm del tallo principal todos los brotes que salgan, al igual que las hojas y los frutos que se vayan formando. A partir de los 40 a 50 cm se eliminan todos los brotes laterales que aparecen en el tallo principal, dejando un fruto en cada axila, hasta que este alcance el alambre colocado en la parte superior del invernadero y usado para el tutorado de la planta. Una vez que una o dos hojas se han desarrollado por arriba del alambre, el punto terminal del tallo principal es eliminado, dejando crecer libremente en el extremo superior de la planta dos brazos laterales, eliminando la yema terminal cuando la planta está cerca del suelo (Hochmuth, 2001).

### **4.2.2. Densidades**

El sistema de producción de pepino en invernadero normalmente se practica en el norte de Europa y América, y México lo ha adoptado; consiste en usar variedades

de hábito indeterminado sembradas en suelo mejorado o en sustratos hidropónicos a densidades de 1.5 a 2.5 plantas/m<sup>2</sup>, que se dejan crecer hasta 3 m de altura, y después se despuntan para obtener uno o dos tallos que se siguen tutorando de manera horizontal o dirigidos hacia abajo (Gálvez, 2004). Se cosechan de 20 a 30 frutos por planta en un ciclo de 6 a 7 meses, con un rendimiento promedio que fluctúa de 150 a 300 t ha<sup>-1</sup> al año (Resh, 2006).

Con el propósito de acortar el ciclo del cultivo y aumentar la producción anual con más ciclos por año, se han hecho investigaciones (Sánchez *et al.*, 2006) y pruebas comerciales con productores, para generar un sistema de cultivo de pepino en hidroponía bajo invernadero, similar al propuesto por Sánchez *et al.* (1998) para tomate (*Solanum lycopersicum* L.), que consiste en despuntar la yema terminal y podar los brotes laterales para dejar un tallo de aproximadamente 1 m de altura, con lo cual el ciclo de cultivo se reduce a casi 60 días después del trasplante. El menor rendimiento por planta se compensa con una alta densidad de población (hasta 16 plantas/m<sup>2</sup>, sin considerar el espacio ocupado por pasillos), de manera que el rendimiento anual puede ser superior a las 300 t ha<sup>-1</sup> que se obtienen en sistemas convencionales, ya que es posible lograr más de cinco ciclos por año.

#### **4.2.3. Cosecha**

La cosecha es continua y sistemática. Si un fruto se deja madurar en un tallo dado, el crecimiento de este tallo cesará o se retardará y los rendimientos caerán. Un indicador de cosecha puede ser cuando las espinas que presentan los frutos blanquean y se hacen más visibles. La cosecha se realiza manualmente con una

frecuencia variable. El fruto del pepino puede almacenarse durante 10 a 14 días a temperaturas entre 7 a 10 °C, con una humedad relativa de 90 a 95 % (SIAP, 2012).

### **4.3. Hidroponía**

La hidroponía es un sistema de producción agrícola muy intensiva que se caracteriza porque el sistema radical se alimenta de agua y nutrientes de una manera controlada a través de una solución de elementos esenciales (preparados con fertilizantes comerciales) y teniendo como medio de cultivo un sustrato diferente del suelo agrícola, que proporciona las condiciones físicas, químicas y sanitarias más adecuadas para el desarrollo de las plantas (Sánchez y Escalante, 1988). Ejemplos de sustratos ya probados según los autores anteriores son: grava, arena de tezontle, arena de río, pedacería de ladrillo, agrolita, turba, aserrín, espumas sintéticas, etc. Con esta tecnología, se puede incluso prescindir del sustrato, quedando las raíces inmersas en la solución nutritiva o quedar suspendidas en el aire.

La hidroponía eleva las utilidades en especies hortícolas y ornamentales, se obtiene una mayor precocidad en los cultivos, se ahorra agua, se pueden obtener varias cosechas al año y permite la posibilidad de cultivar económicamente donde no hay suelo agrícola (Castellanos, 2004).

El término hidroponía deriva de los vocablos griegos “hydro” o “hudor”, que significa agua, y “ponos”, equivalente a trabajo o actividad. Literalmente se traduce como “trabajo del agua”. Urrestarazu y Salas (2004) destacan una gran cantidad

de ventajas de la hidroponía sobre el cultivo en suelo: se logra un balance ideal de aire, agua y nutrientes, una humedad uniforme y un excelente drenaje. Permite corregir rápidamente la falta o exceso de nutrientes y se tiene un perfecto control del pH. Propicia mayor rendimiento por unidad de superficie, mayor calidad del producto, mayor precocidad permite cultivar repetidamente la misma especie vegetal, con varias cosechas al año. Requiere de menos espacio para la producción, ahorra agua, reduce los costos de producción, da una mayor limpieza e higiene, reduce la erosión y contaminación del medio ambiente (Osuna, 2011).

Entre las desventajas de este tipo de producción se encuentra el hecho que para su uso a nivel comercial, requiere de conocimiento técnico especializado, su inversión inicial es muy elevada y requiere de un abastecimiento continuo de agua. Gutierrez *et al.* (2011).

Existen diferentes sistemas de hidroponía, que se pueden clasificar en tres grupos, según el medio que se desarrollan las raíces:

- 1) Cultivo aeropónico: se mantienen las raíces de las plantas suspendidas en el aire dentro de una cámara oscura donde se inyecta la solución nutritiva periódicamente con el objetivo de mantener 100 % de humedad relativa. El suministro de solución nutritiva es mediante microaspersores o nebulizadores que se encargan de mantener húmeda la raíz mediante descargas de solución nutritiva de corta secuencia (Canavas, 1999).
- 2) Cultivo en agua: las raíces de las plantas están suspendidas en un medio líquido con la solución nutritiva, sin que ésta reciba luz para evitar el

desarrollo de algas que favorecen un cambio en coor, reducción de la acidez de la solución, competencia por la toma de nutrientes, menor disponibilidad de oxígeno para la raíz y por consecuencia un mal funcionamiento de la planta. En el cuello radicular, las plantas se mantienen en una capa muy fina de medio inerte que tiene la función de soporte. La incorporación de oxígeno en la raíz se realiza mediante una bomba o compresor que hace que se diluya en el interior de la solución nutritiva a través de una tubería con perforaciones (Resh, 2006).

- 3) El cultivo en sustrato sólido: se utilizan sustratos inertes (tezontle, arena, grava, vermiculita, peat moss, etc.) que le proporcionan a la planta las condiciones necesarias de oxígeno y humedad para su desarrollo. Dentro de los cultivos en sustrato sólido hay tres tipos en función de su manejo. Se tienen los sistemas que funcionan por aplicación de una solución nutritiva por subirrigación que se aplica a las camas con grava de un diámetro superior a 3 mm y que fluye rápidamente hacia un depósito. Se encuentran también aquellos sistemas que utilizan un sustrato con baja retención de agua y una elevada aireación, donde el gran tamaño de los poros permiten que el sustrato retenga un mayor volumen de agua; sin embargo, por la baja retención de agua requiere un aporte muy frecuente de solución nutritiva. También están los sistemas que emplean un sustrato como lana de roca, perlita, fibra de coco y arena; estas deben tener capacidad de retención de agua, y a la vez permitir buena oxigenación; por ello se maneja una mezcla de partículas con un diámetro de 0.2 a 2.5 mm, de tal forma

que requieren un aporte de riegos muy puntual, en función de las necesidades hídricas de un cultivo (Canavas, 1999).

#### **4.3.1. Clasificación de los cultivos hidropónicos**

El cultivo hidropónico; se puede subdividir en dos tipos de sistemas: abiertos y cerrados.

En los sistemas abiertos, la solución nutritiva pasa a través de las raíces y el drenaje que se genera se desecha, mientras que en los sistemas cerrados la solución nutritiva pasa a través de las raíces pero el drenaje se reutiliza en el mismo cultivo (Urrestarazu y Salas, 2004).

El sistema de cultivo sin suelo en el que la solución nutritiva se pierde por drenaje libre fuera del propio sistema o por el suelo natural fuera de los contenedores del sustrato, se denomina abierto. En este caso la solución nutritiva no se reutiliza después de pasar por el cultivo. Por lo tanto la disolución sobrante se drena, percola, se infiltra en el subsuelo o simplemente sufre escorrentía fuera del contenedor de cultivo, sin que el cultivo vuelva a tener ningún contacto con la misma (Urrestarazu y Salas, 2004).

Urrestarazu, (2000), refiere que cuando en los cultivos hidropónicos, la disolución nutritiva se reutiliza total o parcialmente, después de pasar por el cultivo, con el fin de ahorrar fertilizantes y agua, a los sistemas se les denomina cerrados. Son aquellos en los que la disolución sobrante vuelve a incorporarse, total o

parcialmente, como suministro a la fertirrigación del mismo cultivo. Los sistemas cerrados o sistemas recirculantes de la disolución nutritiva, si bien no están exentos de inconvenientes, permiten dos grandes aportaciones a la agricultura: 1) máxima eficiencia en el uso de fertilizantes, con especial interés sobre aquellos que producen problemas de eutrofización como nitratos y fosfatos. 2) se obtiene el control máximo posible en las salidas del agrosistema respecto al agua de fertirrigación y las sales en ella disueltas, así como de los pesticidas de aplicación radical.

En referencia a los sistemas cerrados algunos autores ven en ellos una posibilidad de mejora medioambiental (Van Os, 2009; García *et al.* 2007).

#### **4.3.2. Solución nutritiva**

La composición de la materia fresca de las plantas incluye cerca de 80 a 95 % de agua, según la especie. La materia fresca de las plantas se seca a 70 ° C entre 24 y 28 horas, el peso de la materia seca que quedará será aproximadamente de 10 a 20 % del peso inicial en fresco. Aproximadamente, 90 % del peso en seco de la mayoría de las plantas está formado por tres elementos: carbono (C), oxígeno (O) e hidrógeno (H). Los otros elementos que existen en la planta serán aproximadamente 1.5 % del peso fresco de ella (Resh, 2006).

La nutrición de las plantas es un punto crucial en los sistemas especiales de producción, ya que de ésta dependerá una buena producción. La solución nutritiva está constituida por el agua y todos los elementos esenciales disociados en ella. En cultivos sin suelo su composición ha sido tema de mucha investigación. Entre

los trabajos más aceptados está el de Steiner (1966). Él describe un método universal para la preparación de soluciones nutritivas, en el cual es necesario considerar: (1) la concentración iónica total; (2) el pH; y (3) la relación mutua de cationes ( $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ) y aniones ( $NO_3^-$ ,  $H_2PO_4^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ). La concentración iónica total se expresa en conductividad eléctrica (CE en dS/m o mS/cm) y puede ser leída usando instrumentos portátiles. Al reutilizar la solución nutritiva se incrementa la concentración de los iones menos consumidos por la planta en la zona radical debido a que las plantas utilizan mas agua que sales, y si el agua que se dispone para regar contiene elementos que en exceso son dañinos para el cultivo como los iones de  $Na^+$  y  $Cl^-$ , estos se deben considerar al preparar la solución y tomar en cuenta que su concentración se incrementará conforme pasa el tiempo (Van Os, 2009). En investigaciones recientes la concentración de la solución nutritiva reutilizada está por debajo de las que se usan normalmente en cultivo a solución perdida (Tüzel *et al.*, 2009). Otros trabajos se han dirigido a investigar los efectos en el cultivo, utilizando aguas de mala calidad (con niveles medios y altos de sodio y cloro) y sus límites máximos de esa solución.

Como ya se señaló, en los sistemas cerrados existe una acumulación en el sustrato de los iones menos utilizados, por ello en investigaciones recientes se están usando soluciones nutritivas a concentraciones bajas, buscando determinar los niveles mínimos de deficiencia (Giuffrida y Leonardi, 2009; Nakano *et al.*, 2010).

#### **4.3.3. Desinfección de la solución nutritiva**

En los sistemas cerrados existe alto riesgo de diseminar los patógenos que atacan el sistema radical, por lo que para reducir este peligro, la solución nutritiva debe ser tratada antes de reutilizarse. Van Os (2009), indica que generalmente se prefieren los métodos de desinfección de menor costo anual. Existen métodos químicos y no químicos y en función de la superficie y sistema cerrado es el desempeño de cada uno. Para cultivos mayores de dos hectáreas los tratamientos con calor y radiación UV son la mejor opción; para superficies menores de una hectárea la filtración lenta con arena es más adecuada. El ozono y el uso de membranas son buenos métodos, pero caros. El hipoclorito de sodio ( $\text{NaOCl}$ ) y el peróxido de hidrógeno son más baratos, pero su control de patógenos es relativamente pobre. El uso de dióxido de cloro puede ser una buena alternativa, pero existe poca información de su uso en hidroponía (Van Os, 2009).

#### **4.4. Análisis del crecimiento vegetal**

La materia seca total de la planta representa la integración espacial y temporal de todos los procesos de crecimiento y desarrollo y lo por tanto, un parámetro muy relevante de estudio. El término análisis del crecimiento vegetal se refiere a un conjunto de métodos cuantitativos que describen los resultados de los sistemas donde las plantas son cultivadas (Hunt, 2003).

La tasa de acumulación de materia seca varía a través del ciclo de vida de la planta y van desde días a semanas para cuantificar los efectos de las influencias del medio ambiente, para analizar las diferencias genotípicas entre variedades o

relacionar la acumulación de un órgano con el consumo de nutrientes. En los análisis de crecimiento básicos se genera la medición de peso seco de la planta o de algún órgano y el área foliar, y a partir de ellos se derivan un gran número de parámetros. Con el análisis de crecimiento mediante el método funcional, los datos provienen de plantas con un bajo número de repeticiones, pero con intervalos de tiempo cortos, con ello se puede seleccionar una función matemática adecuada que ajusta los valores registrados de área foliar y de biomasa acumulada total o de algunos órganos de manera que se aproxime a la curva real de crecimiento (Hunt, 1982).

#### **4.4.1 Índices de eficiencia fisiológica**

Existen diversos índices de eficiencia fisiológica, entre los cuales están:

**Tasa de crecimiento del cultivo (TCC):** Este índice indica la velocidad de crecimiento del cultivo. La TCC está estrechamente relacionada a la intercepción de radiación solar, la que a su vez depende del Índice de Área Foliar (IAF). La TCC aumenta a medida que aumenta el IAF hasta que alcanza un valor capaz de interceptar 95 % de la radiación solar incidente. Sus unidades son,  $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$  (Sánchez *et al.*, 2006).

**Tasa de asimilación neta (TAN):** Representa la ganancia neta en materia seca por unidad de área foliar por unidad de tiempo y es una medida indirecta de la fotosíntesis (Hunt, 1982). Es conocida también como la tasa foliar unitaria y se define como el incremento de material vegetal por unidad de material asimilado por unidad de tiempo. Sus unidades son,  $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$ .

La TAN es también una medida de la eficiencia del follaje, la cual constituye la principal fuente de fotoasimilados para la producción de materia seca e indica también la velocidad de fotosíntesis neta en un lapso entre dos muestreos relativos largos (Escalante y Kohashi, 1993). La TAN es aplicable a una planta o a un cultivo, no es constante a través del tiempo y muestra una tendencia a disminuir con la edad de la planta. La disminución se acelera ante un ambiente desfavorable y la ganancia de materia seca por unidad de área foliar decrece en la medida en que se desarrollan nuevas hojas que pueden provocar sombreado entre ellas (Gardner *et al.*, 1990).

**Razón de área foliar (RAF):** La RAF de una planta o de un cultivo equivale al área de material asimilatorio por unidad de material vegetal presente. Indica la cantidad de área foliar producida con relación al peso seco total de la planta (Beadle, 1988; Hunt, 1982). Para maximizar la fotosíntesis total por unidad de área, la filotaxia de las hojas y su área deben propiciar un arreglo que permita ser homogénea la radiación a través del perfil del dosel y lograr una intercepción de casi 100 % (Donald y Hamblin, 1983). Se expresa en unidades de área por gramo de peso seco ( $\text{dm}^{-2} \cdot \text{g}^{-1}$ ).

**Índice de área foliar (IAF):** El IAF es directamente influenciado por el área foliar y se manifiesta como la relación entre el área foliar de la planta y el área del suelo cubierta por la planta. Al inicio del cultivo el IAF es muy bajo; sin embargo, se ha demostrado que a medida que se incrementa, la intercepción de luz y la fotosíntesis neta aumenta, hasta en valor crítico más allá del cual no hay incremento de la fotosíntesis del cultivo (Heuvelink y Dorais, 2005). La

intercepción de la radiación solar incidente que asegura la máxima tasa de crecimiento del cultivo, se encuentra cuando el IAF permite captar 95 % de la radiación incidente. Algunas prácticas agronómicas tales como fertilización de arranque, altas densidades de siembra y un mejor arreglo espacial de las plantas (por ejemplo, hileras estrechas), son usadas para incrementar la intercepción de luz (Heuvelink y Dorais, 2005) y con ello establecer un IAF óptimo más pronto, sus unidades deberían ser,  $\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ , por ello no se expresa nunca.

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1. Localización del experimento

El experimento se estableció en los invernaderos del Instituto de Horticultura (Departamento de Fitotecnia), ubicados en el Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, localizado en el municipio de Texcoco, Estado de México, en las coordenadas geográficas 19° 31' de latitud norte y 98° 51' 19" longitud oeste, con respecto al meridiano de Greenwich; a una altura aproximada de 2,240 m., el clima es C (wo) (W) b (i) g. según la clasificación climática de Köppen modificado por Enriqueta García (García, 1988); con una precipitación media anual de 636.5 mm y una temperatura media anual de 15.2 °C.

El invernadero donde se estableció el experimento es tipo capilla de dos aguas, de 42 m de largo por 10 m de ancho (420 m<sup>2</sup>), con una cubierta de polietileno con 70 % de transmisión de luz. Para la ventilación cuenta con ventanas laterales protegidas con malla antiáfidos. En la Figura 1 puede observarse el invernadero donde se realizó el experimento.



Figura 1. Panorámica del experimento e interior del invernadero

## **5.2. Material vegetal**

Se usó el híbrido de pepino americano de la variedad Alcázar, adaptable a diferentes regiones bajo invernadero o casa sombra en México, planta muy fuerte, vigorosa y balanceada. Fruta cilíndrica con un color verde muy oscuro y ligeramente con espinas, longitud del fruto de 20 - 22 cm, excelente vida de anaquel. Entre las características propias de la variedad, es tolerante al amarilleo, virus del pepino y cenicilla polvoriento. Para el trasplante, se utilizaron plántulas de 30 días de edad, provenientes de charolas de 200 cavidades, en las que el sustrato fue una mezcla de turba de pantano (peat moss) y agrolita a partes iguales.

## **5.3 Tratamientos (sistemas de producción)**

Se probaron cinco sistemas de producción, cada uno correspondió a un tratamiento:

1. **Cultivo en hidroponía de flujo profundo (DFT)** (Figura 2).
2. **Cultivo en bolsas sin recirculación del drenaje** (Figura 3).
3. **Cultivo en bolsas con recirculación del drenaje** (Figura 4).
4. **Cultivo en camas sin recirculación del drenaje** (Figura 5).
5. **Cultivo en camas con recirculación del drenaje** (Figura 6).

Para aplicar los tratamientos, se utilizaron tinacos de 1000 L (Figura 7).

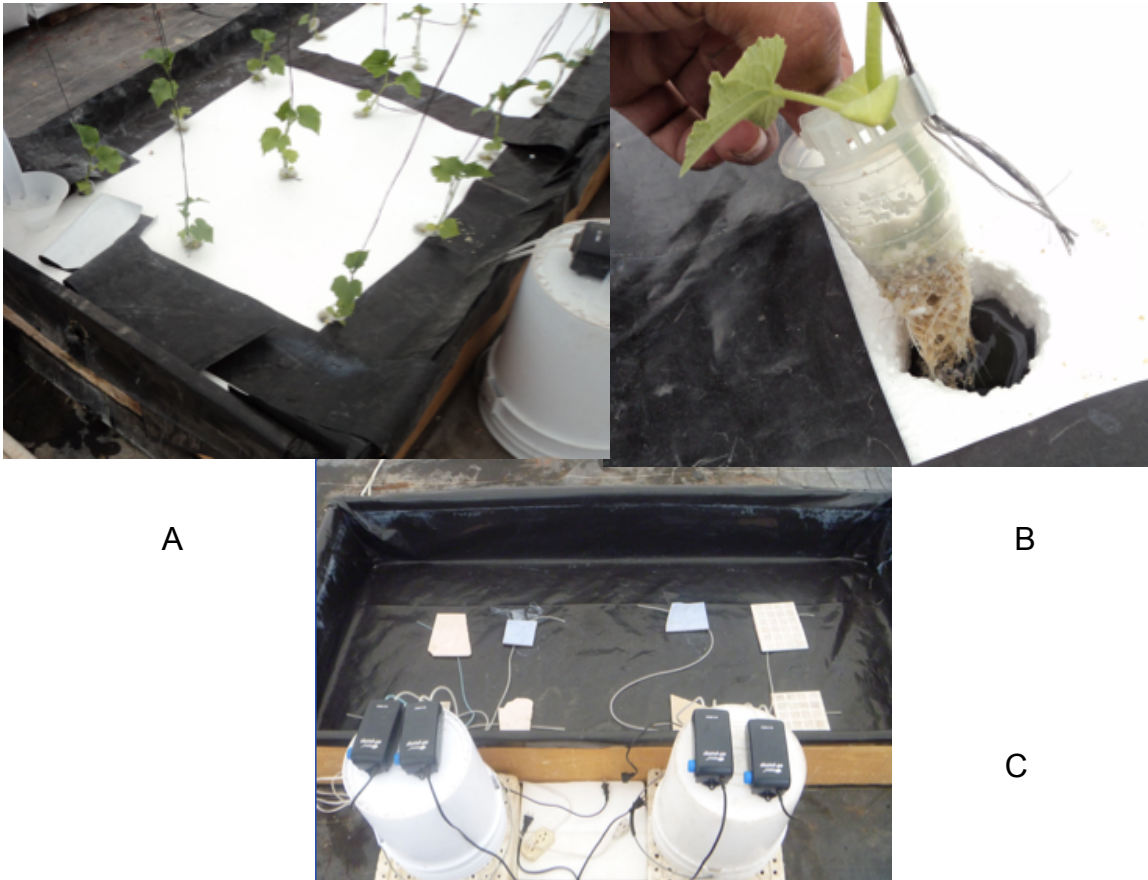


Figura 2. Hidroponía de flujo profundo. ; A) vista del cultivo sobre la balsa, B) inserción de la planta en la balsa y C) sistema de oxigenación.



Figura 3. Cultivo en bolsas con pepino sin recirculación del drenaje



Figura 4. Cultivo en bolsas con pepino con recirculación del drenaje



Figura 5. Cultivo en camas con pepino sin recirculación del drenaje



Figura 6. Cultivo en camas con recirculación del drenaje.



Figura 7. Tinacos para tratamientos con recirculación de la solución nutritiva.

### **5.3.1. Hidroponía de flujo profundo ó también llamada en inglés Deep flow technique.**

Para conformar este tratamiento también conocido como raíz flotante en solución nutritiva, se construyeron e instalaron cajones de madera con las siguientes dimensiones 1.9 m de largo por 0.9 m de ancho y 0.3 m de profundidad. Se construyeron haciendo el perímetro con tablas de madera de 2 cm de grueso y 35 cm de alto. El interior del cajón se cubrió con plástico negro calibre 1000, tal y como se observa en la Figura 8. Este tratamiento fue 5 cm más alto que el resto con el fin de cubrir una placa de unicel (poliestireno expandido) que flotaba sobre la solución nutritiva (Figura 2). Se cortaron placas de unicel de 10 cm de grosor y a la medida de la tina, su función fue sostener a las plantas y evitar la pérdida de agua debido a la evaporación; en el momento del trasplante las plantas se pusieron dentro de vaso plástico pequeño, al cual se le retiró la base inferior, con el propósito de sostener la planta y que sólo las raíces quedaran sumergidas.

El cajón de madera se colocó sobre el suelo del invernadero; entre el suelo del invernadero y el cajón de madera se usaron dos piezas de ground cover para evitar dañar el plástico. Se prosiguió a llenar los tanques con 400 L de solución nutritiva; se marcó el nivel del agua y se hizo un orificio a esa altura para asegurar que cuando se repusiera el agua, el volumen fuera siempre el mismo. La solución nutritiva de cada tina se oxigenaba con dos bombas de aire (Resum, AC-9602) y manguera de polietileno con un diámetro de 5 mm (Figura 8). En este tratamiento el agua que las plantas transpiraban se restablecía todos los días al final de día. El desarrollo de raíces de las plantas puede observarse en la Figura 9.



Figura 8. Recubrimiento interior del cajón para hidroponía de flujo profundo.



Figura 9. Sistema radical en el tratamiento Hidroponía de Flujo profundo durante el ciclo de cultivo.

### **5.3.2. Bolsas con recirculación y sin recirculación del drenaje de la solución nutritiva**

Se usaron bolsas con capacidad de 15 L de plástico bicapa de color negro por dentro y blanco por fuera, las cuales se instalaron sobre canales de PVC a fin de recolectar la solución drenante. (Figura 6). Las bolsas se llenaron con arena de tezontle rojo (partículas de 1 a 3 mm). Se cuidó que los orificios de drenaje quedaran hacia el interior de los canales de PVC para que este recolectara correctamente el drenaje. Los canales se pusieron con una ligera pendiente para que el drenaje de la bolsa se dirigiera hacia una cubeta de 19 L donde se media su volumen, pH y CE a diario. En el tratamiento de bolsas en recirculación la solución nutritiva que se colectaba se conducía a un tinaco de 400 L mientras que en el tratamiento de bolsas sin recirculación era conducida y desechada fuera del invernadero, (Figura 10).

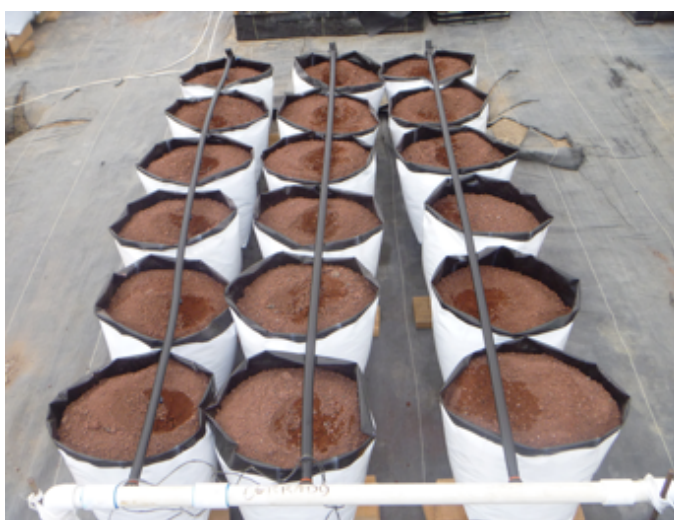


Figura 10. Bolsas de 15 L sobre canaletas de PVC para tratamiento sin recirculación y con recirculación.

### **5.3.3. Camas con recirculación y sin recirculación del drenaje**

Se construyeron camas con dimensiones interiores de 1.9 de largo por 0.9 de ancho y 0.3 de altura. Se usaron tablas de madera de 2 cm de grueso y 30 cm de alto. Se colocaron sobre un piso con una pendiente de 3 % (Figura 8); en el sentido transversal a las tinas, el piso se cubrió con ground cover de color negro. La parte interior del cajón de madera se cubrió con plástico negro calibre 1000 dejando que sobresaliera 30 cm hacia el pasillo, formando un canal para recuperar la solución drenante. Dentro del cajón de madera se depositaron 5 cm de grava de tezontle de dimensiones de 4 a 8 cm con el fin de facilitar el drenaje; en una capa superior se colocaron 25 cm de arena de tezontle rojo (partículas de 1 a 3 mm) (Figura 11) y la superficie del sustrato se acolchó con un polietileno color blanco (la parte superior) y negro en la parte inferior. Para recuperar el drenaje, se perforó el plástico en la parte baja de la cama y se condujo por gravedad a un pozo en el suelo, donde se colocó una cubeta de 19 L con una malla en la parte superior para aminorar la contaminación de la solución. En el tratamiento de recirculación a la solución nutritiva colectada se le midió sus volumen, pH y CE, la solución se almacenó en un tinaco de 400 L mientras que en el tratamiento sin recirculación igualmente se le midió su volumen, pH y CE; sin embargo, la solución fue conducida y desechada fuera del invernadero.



Figura 11. Camas cubiertas de tezontle con una pendiente al 3 % para dirigir la solución nutritiva en sistemas sin recirculación y con recirculación.

## **5.4. Manejo experimental**

### **5.4.1. Semillero**

La siembra se hizo el 17 de abril de 2011. La obtención de la plántula consistió en colocar en una charola de poliestireno de 200 cavidades una mezcla de turba de pantano (peat moss) y agrolita en una relación 1:1, que se mezcló previamente con agua hasta llegar a capacidad de campo y que sirvió como sustrato, después se colocó una semilla de pepino en cada cavidad una profundidad de 1 cm, y se cubrió con una capa fina de la mezcla de sustrato señalado. Fueron regadas con agua en la mañana y en la tarde durante 7 a 13 días hasta la emergencia. En los siguientes días antes del trasplante, las plántulas fueron regadas con una solución nutritiva que contenía los siguientes elementos minerales y en las siguientes

concentraciones ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ): N=87.5, P=21, K=87.5, Ca=87.5, Mg=21, S=72, Fe=1, Mn=0.035, B=0.15, Cu=0.035, y Zn=0.035; que representa aproximadamente el 50 % de la solución nutritiva propuesta por Sánchez y Escalante (1988). Los riegos se hicieron 3 veces al día.

#### **5.4.2. Trasplante**

Esta actividad se realizó el 17 de Mayo de 2011, es decir a los 30 días después de la siembra (dds).

#### **5.4.3. Conducción del cultivo**

Se usó una densidad de 6 plantas/ $\text{m}^2$ ; 18 plantas por unidad experimental de 1.7  $\text{m}^2$  útiles, distribuidas en 3 hileras, separadas por 30 cm entre plantas y entre hileras. El volumen de riego dependió de las condiciones climáticas y etapa fenológica del cultivo, pero se procuraba un drenaje de 20 a 30 % del volumen aplicado en cada riego.

Para mantener erectas las plantas, se manejó un sistema de tutoreo en el cual se sujetó cada planta a una cinta de rafia amarrada a un alambre sostenido de la estructura superior del invernadero. En todos los sistemas las plantas fueron despuntadas a un metro de altura.

#### **5.4.4 Control de Plagas y Enfermedades**

Durante el desarrollo del cultivo, en el follaje se presentó cenicilla (*Sphaerotheca fuliginea*), la cual se controló con Milstop Plus® (bicarbonato de potasio 85 % para

uso agrícola) a razón de 1.5 g por L. Durante el ciclo no se presentaron plagas por lo que no fue necesario realizar ninguna aplicación.

### 5.4.5. Fertilización

Para los cinco tratamientos, a partir del trasplante, se aplicó una solución nutritiva como la que se indica en el Cuadro 2. Las fuentes de fertilizantes usadas fueron las que se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 2. Composición del agua y solución nutritiva.

|                 | pH   | CE (dS·m <sup>-1</sup> ) | Concentración (mg·L <sup>-1</sup> ) |                  |                  |                 |                                    |                                    |                                                   |                                     |                 |                               |
|-----------------|------|--------------------------|-------------------------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------|-------------------------------|
|                 |      |                          | K <sup>+</sup>                      | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Na <sup>+</sup> | N-<br>NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | N-<br>NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | P-<br>H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> | S-<br>SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | Cl <sup>-</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> |
| AGUA            | 7.61 | 0.2                      | 5                                   | 22               | 2.43             | 16              | 0                                  | 0.74                               | 0                                                 | 11.2                                | 10.63           | 0.56                          |
| SN <sup>¶</sup> | 5.8  | 1.8                      | 170                                 | 118              | 39.5             | 16              | 0                                  | 139.6                              | 42                                                | 132.8                               | 10.63           | 0.56                          |

<sup>¶</sup>SN = solución nutritiva.

Cuadro 3. Fuentes de fertilizante usadas para preparar la solución nutritiva.

| Macronutrientes            | Formula                                                                                                    | Micronutrientes                     | Formula                                                                        |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| ÁCIDO FOSFÓRICO<br>al 85 % | H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub><br>P: 27 %;<br>Densidad: 1.7<br>g·ml <sup>-1</sup>                          | SULFATO DE<br>MANGANESO             | MnSO <sub>4</sub> ·4H <sub>2</sub> O<br>Mn: 22.6 %                             |
| SULFATO DE<br>POTASIO      | K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·<br>K: 42.75 %                                                             | SULFATO DE<br>COBRE                 | CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O<br>Cu: 25.5 %                             |
| SULFATO DE<br>MAGNESIO     | MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O<br>Mg: 9.64 %                                                         | TETRA BORATO<br>DE SODIO<br>(BORAX) | Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ·10H <sub>2</sub> O<br>B: 2.83 % |
| NITRATO DE<br>CALCIO       | Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub><br>Ca: 19.0 %<br>N-NH <sub>4</sub> : 1.1 %<br>N-NO <sub>3</sub> : 14.4 % | QUELATO DE<br>HIERRO                | EDTA<br>Fe:13%                                                                 |
|                            |                                                                                                            | SULFATO DE ZINC                     | ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O<br>Zn: 22.6 %                             |

#### **5.4.6. Manejo experimental de los tratamientos**

Cada tratamiento (cama y bolsa con recirculación) era abastecida de solución por su propio tinaco de 1000 L mientras que cama y bolsa sin recirculación compartían un solo tinaco de 1000 L. Para cada tratamiento se usó una bomba de ½ HP (marca Dica modelo BPHP.50), un temporizador STEREN modelo TEMP-085, un filtro de anillos (marca Irritec de 120 mesh o 130 micron), un medidor de flujo, tubería de una pulgada y cinta de riego con gotero insertado con gasto de 1 L por minuto. A cada planta le correspondió un gotero.

Todos los días en los sistemas sin recirculación y con recirculación se midió el volumen de solución nutritiva aportada usando el medidor de flujo y la cantidad de solución nutritiva colectada en las cubetas con una probeta de 1,000 ml; también se determinó el pH y conductividad eléctrica (medidor portátil Hanna, modelo HI 98130); en el sistema DFT se midió la cantidad de agua aportada así como su pH y conductividad eléctrica. El drenaje de los sistemas sin recirculación se llevó fuera del invernadero mientras que el de los sistemas con recirculación se colectó en tinacos de 400 L. A los 17, 25, 35, 43 y 58 días después del trasplante (ddt), cuando se acumulaban cerca de 400 L, se tomaba una muestra de cada tinaco junto con una muestra de cada repetición del sistema de hidroponía profunda.

Para analizar los nutrientes  $\text{N-NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$ , y P, se usó un electrodo de ion selectivo (ISE) (Thermo Scientific, modelo Orion 4 Star) para  $\text{K}^+$ , y  $\text{N-NO}_3^-$  para P se usó la técnica colorimétrica para el desarrollo de color por el método de molibdobanadato (Chapman y Pratt, 1973).

Una vez conocida la composición de la solución nutritiva se filtraba y después se desinfectaba con una lámpara UV (capacidad de 25 watts, 6 galones por minuto, modelo Philips; cuando se pasaba al tinaco de 1000 L según fuera el tratamiento (bolsa o cama con recirculación), una vez en el tinaco de 1000 L se equilibró hasta donde fuera posible los elementos a la concentración de inicio. En las tinas de hidroponía profunda la solución nutritiva se ajustó de manera individual en cada repetición.

Cuando se ajustó la solución nutritiva de bolsas y camas con recirculación, se consideró la concentración de cada elemento presente y el volumen de solución nutritiva recuperada. Si era necesario se agregaba agua simple para lograr acercarse a la concentración de inicio; en caso contrario se recurría a las fuentes de fertilizante para reponer los elementos faltantes; esta última situación fue lo que siempre se manifestó en el sistema de hidroponía profunda. Una vez ajustada la solución se procedió a aforar a 1000 L (capacidad de los tinacos) con solución nutritiva normal.

#### **5.4.7. Diseño experimental**

Se usó un diseño experimental de bloques completos al azar con los cinco tratamientos correspondientes a los sistemas de cultivo ya mencionados, manejando cinco repeticiones para cada tratamiento. La unidad experimental tenía un tamaño de 1.7 m<sup>2</sup> útiles (1.9 x 0.9 m), donde se establecieron 18 plantas distribuidas en 3 hileras, separadas a una distancia de 30 cm entre plantas y entre

hileras, se usó una densidad de 6 plantas por m<sup>2</sup>. A los datos se les realizó análisis de varianza y pruebas de medias.

## **5.5. Índices y caracteres evaluados**

### **5.5.1. Caracteres morfológicos**

Para medir el crecimiento en las diferentes etapas fenológicas se seleccionaron cuatro plantas por unidad experimental, se seleccionó una planta en cada muestreo. Fueron cuatro fechas: 7, 23, 36 y 46 días después del trasplante (ddt) y los caracteres a medir fueron los siguientes:

1. Diámetro de tallo entre la novena y decima hoja (mm). Se midió con un vernier digital y fue el promedio de 4 plantas por unidad experimental.
2. Altura de planta (cm). Se hizo con una cinta métrica graduada y se midió de la base del tallo hasta el ápice de crecimiento del tallo principal.
3. Área foliar por planta. Con un integrador de área foliar, LICOR-300 Lincon, Nebraska (m<sup>2</sup>). A los 36 ddt se registró el largo y ancho de cada hoja y su área. Con los datos del producto de largo por ancho y área por hoja, se generó un factor mediante regresión lineal, con este producto se calculó el área foliar en los demás muestreos (23, 30, 46 y 55 ddt).
4. Ancho de planta.

### 5.5.2. Índices de crecimiento

Se realizaron cinco muestreos destructivos a los 23, 30, 36, 46 y 55 ddt. Para generar las gráficas de los indicadores de crecimiento (peso seco de planta, tallo, hojas, frutos, TAN, TCC e IAF) y caracteres morfológicos. Se generaron los parámetros de modelos no lineales del modelo logístico con auxilio de un programa de cómputo para determinar los valores de los parámetros (A, B y C), y a partir de esa información se construyeron las curvas.

$$y = \frac{A}{1 + Be^{-C.x}}$$

Donde:

y = Variable respuesta.

A = Punto de asintoticidad; A/2 corresponde a la ordenada del punto de inflexión de la curva.

B = Parámetro relacionado con la ordenada al origen.

e = Base de logaritmo natural (2.718281828...).

C = Parámetro relacionado con el valor de x y la velocidad de crecimiento.

x = Días después del trasplante.

Para conocer las Tasa de asimilación neta y la Tasa de crecimiento del cultivo se usaron las siguientes formulas:

- Peso seco por planta, tallo, hojas y frutos. Se tomo una planta por unidad experimental y se seco en una estufa a 70 °C hasta peso constante.
- Tasa de asimilación neta (TAN, g·m<sup>-2</sup> de hoja·d<sup>-1</sup>)

$$TAN = \frac{PS_2 - PS_1}{AF_2 - AF_1} \cdot \frac{\ln (AF_2) - \ln (AF_1)}{t_2 - t_1}$$

Donde:

PS = Pesos de la biomasa total de la planta al final y al inicio de un periodo determinado.

AF = Área Foliar promedio de la planta al final y al inicio del mismo periodo.

$t_2 - t_1$  = Tiempo transcurrido entre los dos muestreos.

ln = Logaritmo natural.

- Tasa de crecimiento del cultivo (TCC, g m<sup>-2</sup> de suelo/día)

$$TCC = IAF * TAN$$

- Índice de área foliar (IAF, m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>). Área foliar total de una planta entre el área de superficie que ocupó.
- Razón de área foliar (RAF),(dm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>).

$$RAF = \frac{\text{área foliar}}{\text{peso seco de la planta}}$$

### **5.5.3. Rendimiento y sus componentes**

Se hicieron cortes entre el 11 de Julio (26 ddt) y el 15 de Agosto (58 ddt). Las variables medidas fueron: rendimiento por unidad de superficie; número de frutos por unidad de superficie (frutos/m<sup>2</sup>); peso promedio por fruto (g).

### **5.5.4. Agua y nutrientes**

El gasto y consumo de agua (L), se calculó usando los datos de gasto registrados con el medidor de flujo y el volumen de drenaje colectado en cada sistema. Para el caso del sistema de hidroponía profunda se usó el volumen de agua que se restablecía.

El consumo de nutrientes en gramos se estimó con los análisis químicos realizados a los drenajes los días 21, 31, 44, 53 y 67 ddt. Los nutrientes fueron K<sup>+</sup>, N-NO<sup>3-</sup> y P para cada sistema.

### **5.6. Análisis estadístico**

La información de los caracteres morfológicos, indicadores de crecimiento y variables de rendimiento y sus componentes, se sometieron a análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) con ayuda de programa Statistical Analysis System (SAS, 2002).

## **6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **6.1. Variables morfológicas**

En el Cuadro 4 se muestran los análisis de varianza para las variables altura de tallo medida a los 7 y 23 ddt; diámetro de tallo y ancho de planta, a los 7, 23, 36, 46 ddt y área foliar, a los 23, 36, 46, 55 ddt.

Para altura de tallo, a los 7 ddt se encontraron diferencias altamente significativas entre tratamientos, y todavía fueron significativas a los 23 ddt. Respecto al diámetro de tallo se encontraron diferencias altamente significativas a los 7 y 46 ddt, y significativas a los 23 ddt. Para ancho de planta se detectaron diferencias altamente significativas entre tratamientos sólo a los 46 ddt ( $P < 0.01$ ). Por último se encontraron diferencias altamente significativas en área foliar a los 36 y 46 ddt y significativas a los 23 y 55 ddt.

En la prueba de comparación de medias ( $P = 0.05$ ) (Cuadro 5) se encontró que la altura de tallo a los 7 y 23 ddt, fue mayor en el sistema de hidroponía profunda (HP), alcanzando a diferir estadísticamente de los tratamientos de bolsa sin recirculación y con recirculación a los 7 ddt y de bolsa sin recirculación a los 23 ddt. En cuanto a diámetro de tallo, se observa que éste fue mayor en HP respecto a los demás tratamientos a los 7 y 46 ddt y a los de camas a los 23 ddt. En lo que se refiere al ancho de planta únicamente se encontraron diferencias estadísticas significativas a los 46 ddt siendo HP el de menor valor. Para área foliar por planta el tratamiento de cama con recirculación fue estadísticamente inferior, en tres de las cuatro fechas consideradas.

Cuadro 4. Cuadrados medios y niveles de significancia para variables morfológicas medidas a los 7, 23, 36, 46 y 55 días después del trasplante, de pepino bajo diferentes sistemas hidropónicos.

| Muestreo (ddt) | Fuentes de variación | GL | Altura de tallo (cm) | Diámetro de tallo (mm) | Ancho de planta (cm) | Área foliar (m <sup>2</sup> ) |
|----------------|----------------------|----|----------------------|------------------------|----------------------|-------------------------------|
| <b>7</b>       | Tratamiento          | 4  | 11.25 **             | 0.303 **               | 2.46 NS              | -                             |
|                | Bloque               | 4  | 0.65 NS              | 0.019 NS               | 0.18 NS              | -                             |
|                | Error                | 16 | 1.42                 | 0.025                  | 0.63                 | -                             |
|                | Total                | 24 |                      |                        |                      |                               |
|                | Media general        |    | 21.91                | 1.97                   | 20.88                | -                             |
|                | CV                   |    | 5.43                 | 8.03                   | 3.81                 | -                             |
| <b>23</b>      | Tratamiento          | 4  | 20.94 *              | 0.223 *                | 5.54 NS              | 0.002 *                       |
|                | Bloque               | 4  | 10.17 NS             | 0.079 NS               | 2.89 NS              | 0.0007 NS                     |
|                | Error                | 16 | 7.51                 | 0.057                  | 8.31                 | 0.0008                        |
|                | Total                | 24 |                      |                        |                      |                               |
|                | Media general        |    | 95.42                | 3.99                   | 58.31                | 0.15                          |
|                | CV                   |    | 2.87                 | 5.98                   | 4.94                 | 18.66                         |
| <b>36</b>      | Tratamiento          | 4  | -                    | 0.244 NS               | 3.29 NS              | 0.006 **                      |
|                | Bloque               | 4  | -                    | 0.030 NS               | 2.84 NS              | 0.001NS                       |
|                | Error                | 16 | -                    | 0.101                  | 4.37                 | 0.001                         |
|                | Total                | 24 |                      |                        |                      |                               |
|                | Media general        |    | -                    | 4.540                  | 63.98                | 0.36                          |
|                | CV                   |    | -                    | 6.986                  | 3.26                 | 7.98                          |
| <b>46</b>      | Tratamiento          | 4  | -                    | 1.580 **               | 59.59 **             | 0.020 **                      |
|                | Bloque               | 4  | -                    | 0.139 NS               | 12.11 *              | 0.002 NS                      |
|                | Error                | 16 | -                    | 0.054                  | 3.96                 | 0.001                         |
|                | Total                | 24 |                      |                        |                      |                               |
|                | Media general        |    | -                    | 7.13                   | 75.58                | 0.4167                        |
|                | CV                   |    | -                    | 3.25                   | 2.63                 | 8.92                          |
| <b>55</b>      | Tratamiento          | 4  | -                    | -                      | -                    | 0.1328 *                      |
|                | Bloque               | 4  | -                    | -                      | -                    | 0.0009 NS                     |
|                | Error                | 16 | -                    | -                      | -                    | 0.0017                        |
|                | Total                | 24 |                      |                        |                      |                               |
|                | Media general        |    | -                    | -                      | -                    | 0.4254                        |
|                | CV                   |    | -                    | -                      | -                    | 9.95                          |

\*: Significativo  $\alpha = 0.05$ . \*\*: Altamente Significativo  $\alpha = 0.01$ . NS: No Significativo.  
GL: Grados de libertad. CV: Coeficiente de variación. ddt = días después del trasplante.

Cuadro 5. Comparación de medias para variables morfológicas a los 7, 23, 36, 46, 55 días después del trasplante (ddt), durante el ciclo de cultivo de pepino en diferentes sistemas hidropónicos.

| Muestreo | Sistema hidropónico     | Altura de tallo (cm) | Diámetro de tallo (mm) | Ancho de planta (cm) | Área foliar (m <sup>2</sup> ) |
|----------|-------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|-------------------------------|
| 7        | Hidroponía profunda     | 23.2 a               | 2.40 a                 | 21 a                 | -                             |
|          | Bolsa sin recirculación | 19.9 c               | 1.83 b                 | 20 a                 | -                             |
|          | Bolsa con recirculación | 20.7 bc              | 1.94 b                 | 20 a                 | -                             |
|          | Cama sin recirculación  | 23.1 a               | 1.85 b                 | 21 a                 | -                             |
|          | Cama con recirculación  | 22.5 ab              | 1.83 b                 | 21 a                 | -                             |
|          | DMS                     | 2.3                  | 0.30                   | 1.54                 | -                             |
| 23       | Hidroponía Profunda     | 98 a                 | 4.36 a                 | 59 a                 | 0.143 ab                      |
|          | Bolsa sin recirculación | 93 b                 | 3.98 ab                | 57 a                 | 0.192 a                       |
|          | Bolsa con recirculación | 95 ab                | 3.93 ab                | 59 a                 | 0.162 ab                      |
|          | Cama sin recirculación  | 95 ab                | 3.85 b                 | 57 a                 | 0.179 a                       |
|          | Cama con recirculación  | 96 ab                | 3.84 b                 | 59 a                 | 0.117 b                       |
|          | DMS                     | 5.31                 | 0.46                   | 5.58                 | 0.06                          |
| 36       | Hidroponía Profunda     | 100 a                | 4.85 a                 | 63 a                 | 0.399 a                       |
|          | Bolsa sin recirculación | 100 a                | 4.67 a                 | 65 a                 | 0.338 b                       |
|          | Bolsa con recirculación | 100 a                | 4.50 a                 | 63 a                 | 0.319 b                       |
|          | Cama sin recirculación  | 100 a                | 4.34 a                 | 64 a                 | 0.360 ab                      |
|          | Cama con recirculación  | 100 a                | 4.33 a                 | 65 a                 | 0.397 a                       |
|          | DMS                     | 0                    | 0.61                   | 4.05                 | 0.06                          |
| 46       | Hidroponía Profunda     | 100 a                | 8.12 a                 | 70 c                 | 0.395 bc                      |
|          | Bolsa sin recirculación | 100 a                | 7.01 b                 | 76 ab                | 0.494 a                       |
|          | Bolsa con recirculación | 100 a                | 6.87 b                 | 75 b                 | 0.438 ab                      |
|          | Cama sin recirculación  | 100 a                | 6.75 b                 | 79 a                 | 0.434 ab                      |
|          | Cama con recirculación  | 100 a                | 6.89 b                 | 77 ab                | 0.323 c                       |
|          | DMS                     | 0                    | 0.45                   | 3.86                 | 0.07                          |
| 55       | Hidroponía Profunda     | -                    | -                      | -                    | 0.434 a                       |
|          | Bolsa sin recirculación | -                    | -                      | -                    | 0.455 a                       |
|          | Bolsa con recirculación | -                    | -                      | -                    | 0.445 a                       |
|          | Cama sin recirculación  | -                    | -                      | -                    | 0.459 a                       |
|          | Cama con recirculación  | -                    | -                      | -                    | 0.335 b                       |
|          | DMS                     | -                    | -                      | -                    | 0.08                          |

DMS = Diferencia mínima significativa (P= 0.05). Medias con la misma letra en las columnas no presentan diferencia significativa. ddt = días después del trasplante.

Se esperaba que el incremento paulatino de la conductividad eléctrica (CE) en bolsa y cama con recirculación afectaran las variables morfológicas estudiadas en las diferentes etapas de crecimiento del pepino de acuerdo con lo indicado por (Tüzel *et al.*, 2009; Savvas *et al.*, 2009); sin embargo, no fue así ya que el pepino

se manejó en un ciclo muy corto, lo que propició que la CE de la solución nutritiva no cambiara de manera importante como para afectar este parámetro. Efectivamente, la CE permaneció en un rango promedio de 2.5 a 3.5 dS.m<sup>-1</sup>, resultados similares se reportaron por Osuna (2011) en plantas de jitomate.

Cabe destacar que con esta técnica de producción de ciclos cortos logrados a base de realizar despuntes tempranos para dejar las plantas a un metro de altura, también se logró escapar a las enfermedades, más frecuentes en ciclos largos, y a los abortos de frutos que se suelen presentar por encima del metro y medio de altura en el cultivo del pepino (Sánchez *et al*, 2006; Ortiz *et al.*, 2009).

## **6.2. Indicadores de crecimiento**

En el Cuadro 6 se muestran los análisis de varianza para ganancia de materia seca de la parte aérea de la planta: hojas, tallo, fruto y total, y para índice de área foliar (IAF) y razón de área foliar (RAF), a los 23, 36, 46, 55 ddt. Se observaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ( $P= 0.05$ ) para materia seca de tallo a los 36 ddt, para materia seca de fruto a los 46 y 56 ddt y para materia seca total de planta a los 36 y 46 ddt. El IAF fue significativo ( $P= 0.05$ ) entre tratamientos en todas las fechas consideradas.

En el Cuadro 7 se observa que para acumulación de materia seca de hoja no se presentaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos en ninguna de las cuatro fechas consideradas. A los 36 ddt la acumulación de materia seca de tallo fue estadísticamente superior para el tratamiento de hidroponía profunda. A los 46 y 55 ddt la acumulación de materia seca de fruto fue estadísticamente

superior en el tratamiento de hidroponía profunda. A los 36, 46 y 55 ddt la acumulación de materia seca total de planta fue estadísticamente superior para el tratamiento de hidroponía profunda.

Cuadro 6. Cuadrados medios y niveles de significancia para algunos indicadores del crecimiento medidos a los 23, 36, 46 y 55 días después del trasplante, de pepino bajo diferentes sistemas hidropónicos.

| Muestreo (ddt) | Fuentes de variación | GL | Materia seca de parte aérea g) |         |           | Total     | IAF (m <sup>2</sup> ·m <sup>-2</sup> ) | RAF (dm <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> ) |
|----------------|----------------------|----|--------------------------------|---------|-----------|-----------|----------------------------------------|-----------------------------------------|
|                |                      |    | Hojas                          | Tallo   | Fruto     |           |                                        |                                         |
| 23             | Tratamiento          | 4  | 1.55 NS                        | 0.29 NS | 3.20 NS   | 8.68 NS   | 0.15 *                                 | 0.17 NS                                 |
|                | Bloque               | 4  | 2.43 NS                        | 0.76 NS | 2.66 NS   | 12.16 NS  | 0.02 NS                                | 0.12 NS                                 |
|                | Error                | 16 | 3.06                           | 0.63    | 1.50      | 9.73      | 0.03                                   | 0.07                                    |
|                | Total                | 24 |                                |         |           |           |                                        |                                         |
|                | Media general        |    | 6.61                           | 2.85    | 0.98      | 10.46     | 0.95                                   | 1.57                                    |
|                | CV                   |    | 26.44                          | 27.65   | 124.36    | 29.84     | 18.66                                  | 16.84                                   |
| 36             | Tratamiento          | 4  | 14.23 NS                       | 4.73 *  | 205.68 NS | 306.11 *  | 0.22 *                                 | 0.08 NS                                 |
|                | Bloque               | 4  | 13.40 NS                       | 1.82 NS | 79.15 NS  | 131.15 NS | 0.03 NS                                | 0.02 NS                                 |
|                | Error                | 16 | 3.91                           | 1.20    | 95.78     | 98.11     | 0.03                                   | 0.01                                    |
|                | Total                | 24 |                                |         |           |           |                                        |                                         |
|                | Media general        |    | 18.88                          | 9.74    | 24.76     | 53.38     | 2.17                                   | 0.75                                    |
|                | CV                   |    | 10.48                          | 11.24   | 39.51     | 18.55     | 7.99                                   | 17.64                                   |
| 46             | Tratamiento          | 4  | 5.97 NS                        | 3.54 NS | 653.19 *  | 839.11 *  | 0.22 *                                 | 0.08 NS                                 |
|                | Bloque               | 4  | 1.22 NS                        | 0.75 NS | 175.25 NS | 174.74 NS | 0.03 NS                                | 0.02 NS                                 |
|                | Error                | 16 | 7.72                           | 1.07    | 117.43    | 123.10    | 0.03                                   | 0.02                                    |
|                | Total                | 24 |                                |         |           |           |                                        |                                         |
|                | Media general        |    | 21.90                          | 10.58   | 33.62     | 66.11     | 2.49                                   | 1.05                                    |
|                | CV                   |    | 12.69                          | 9.78    | 32.22     | 16.78     | 8.92                                   | 21.29                                   |
| 56             | Tratamiento          | 4  | 8.02 NS                        | 0.77 NS | 470.36 *  | 445.88 NS | 0.72                                   | 0.12 *                                  |
|                | Bloque               | 4  | 37.59 NS                       | 5.86 NS | 127.79 NS | 203.50    | 0.07 NS                                | 0.006                                   |
|                | Error                | 16 | 25.34                          | 3.62    | NS        |           | 0.05                                   | NS                                      |
|                | Total                | 24 |                                |         | 140.83    | 183.54    |                                        | 0.05                                    |
|                | Media general        |    | 26.99                          | 11.98   | 36.52     | 75.46     | 2.55                                   | 1.05                                    |
|                | CV                   |    | 18.65                          | 15.92   | 32.49     | 17.95     | 9.94                                   | 14.62                                   |

\*: Significativo  $\alpha = 0.05$ . \*\*: Altamente Significativo  $\alpha = 0.01$ . NS: No Significativo.

GL: Grados de libertad. CV: Coeficiente de variación. ddt = días después del trasplante.

Para RAF se presentaron diferencias sólo a los 55 ddt, siendo el tratamiento de cama con recirculación el que presentó menor área foliar, aunque sólo difirió estadísticamente del tratamiento de bolsa sin recirculación.

El tratamiento de hidroponía profunda fue estadísticamente superior para la variable acumulación de materia seca total los días 46 y 55 ddt, esto se puede explicar debido a que las raíces no tuvieron estrés hídrico durante todo el ciclo al estar permanentemente en una solución nutritiva.

El IAF fue la única variable que presentó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en las cuatro fechas de medición, siendo el tratamiento de cama con recirculación el que en mayor número de veces resultó estadísticamente inferior al resto, mientras que los tratamientos sin recirculación es decir bolsas y camas sin recirculación presentaron los valores más altos en la mayoría de las fechas evaluadas.

Incrocci *et al.* (2006) encontraron que en los sistemas hidropónicos con recirculación, la CE se incrementa gradualmente, lo que propicia que los tallos y las hojas disminuyan diámetro y tamaño respectivamente (Zekki *et al.*, 1996). En el experimento de pepino se mostró lo contrario, pues en todas la fechas la hidroponía profunda tuvo los valores más altos para peso seco del tallo y se mantuvo entre los más altos para hoja. Dasgan y Ekici (2005), muestran que los sistemas con recirculación no afectaron estos parámetros (biomasa de la parte aérea) cuando se reduce el uso de fertilizantes como  $\text{SO}_4^{-2}$ .

Cuadro 7. Comparación de medias para algunos indicadores del crecimiento medidas a los 23, 36, 46 y 55 días después del trasplante de pepino bajo diferentes sistemas hidropónicos.

| Muestreo<br>(ddt) | Sistema<br>hidropónico  | Materia seca de parte aérea (g) |          |          | Total (g) | IAF<br>(m <sup>2</sup> ·m <sup>-2</sup> ) | RAF<br>(dm <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> ) |
|-------------------|-------------------------|---------------------------------|----------|----------|-----------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|
|                   |                         | Hojas                           | Tallo    | Fruto    |           |                                           |                                            |
| 23                | Hidroponía profunda     | 6.54 a                          | 3.00 a   | 0.50 a   | 10.04 a   | 0.85 ab                                   | 1.46 a                                     |
|                   | Bolsa sin recirculación | 7.36 a                          | 2.86 a   | 0.94 a   | 11.16 a   | 1.15 a                                    | 1.75 a                                     |
|                   | Bolsa con recirculación | 6.10 a                          | 2.92 a   | 0.36 a   | 9.38 a    | 0.97 ab                                   | 1.76 a                                     |
|                   | Cama sin recirculación  | 6.98 a                          | 3.06 a   | 2.36 a   | 12.40 a   | 1.07 a                                    | 1.56 a                                     |
|                   | Cama con recirculación  | 6.08 a                          | 2.44 a   | 0.78 a   | 9.30 a    | 0.70 b                                    | 1.34 a                                     |
|                   | DMS                     | 3.388                           | 1.530    | 2.381    | 6.045     | 0.344                                     | 0.513                                      |
| 36                | Hidroponía profunda     | 20.52 a                         | 10.84 a  | 34.84 a  | 66.20 a   | 2.39 a                                    | 0.65 a                                     |
|                   | Bolsa sin recirculación | 19.08 a                         | 9.58 ab  | 26.60 a  | 55.26 ab  | 2.02 b                                    | 0.66 a                                     |
|                   | Bolsa con recirculación | 17.38 a                         | 8.62 b   | 23.34 a  | 49.34 ab  | 1.91 b                                    | 0.67 a                                     |
|                   | Cama sin recirculación  | 16.92 a                         | 9.02 ab  | 20.72 a  | 46.66 b   | 2.16 ab                                   | 0.88 a                                     |
|                   | Cama con recirculación  | 20.48 a                         | 10.62 ab | 18.34 a  | 49.44 ab  | 2.37 a                                    | 0.89 a                                     |
|                   | DMS                     | 3.833                           | 2.1209   | 18.96    | 19.19     | 0.3368                                    | 0.257                                      |
| 46                | Hidroponía profunda     | 22.20 a                         | 11.60 a  | 50.30 a  | 84.10 a   | 2.36 bc                                   | 0.86 a                                     |
|                   | Bolsa sin recirculación | 23.64 a                         | 11.32 a  | 39.92 ab | 74.88 ab  | 2.96 a                                    | 1.04 a                                     |
|                   | Bolsa con recirculación | 21.66 a                         | 12.32 a  | 26.94 b  | 58.98 bc  | 2.62 ab                                   | 1.26 a                                     |
|                   | Cama sin recirculación  | 20.92 a                         | 9.90 a   | 29.22 b  | 60.04 bc  | 2.60 ab                                   | 1.14 a                                     |
|                   | Cama con recirculación  | 21.10 a                         | 9.72 a   | 21.76 b  | 52.58 c   | 1.94 c                                    | 0.97 a                                     |
|                   | DMS                     | 5.384                           | 2.006    | 20.99    | 21.49     | 0.432                                     | 0.436                                      |
| 55                | Hidroponía profunda     | 26.42 a                         | 12.30 a  | 50.96 a  | 89.68 a   | 2.60 a                                    | 1.12 ab                                    |
|                   | Bolsa sin recirculación | 27.04 a                         | 11.32 a  | 41.26 ab | 79.62 a   | 2.72 a                                    | 1.17 a                                     |
|                   | Bolsa con recirculación | 25.18 a                         | 11.84 a  | 31.44 ab | 68.46 a   | 2.67 a                                    | 1.08 ab                                    |
|                   | Cama sin recirculación  | 28.40 a                         | 12.18 a  | 32.64 ab | 63.22 a   | 2.75 a                                    | 1.06 ab                                    |
|                   | Cama con recirculación  | 27.90 a                         | 12.14 a  | 26.30 b  | 66.34 a   | 2.00 b                                    | 0.83 b                                     |
|                   | DMS                     | 9.755                           | 3.689    | 22.99    | 26.25     | 0.492                                     | 0.299                                      |

DMS = Diferencia mínima significativa (P= 0.05). Medias con la misma letra en las columnas no presentan diferencia significativa. ddt = días después del trasplante.

## Tasa de asimilación neta y Tasa de crecimiento del cultivo

En el Cuadro 8 se muestran los análisis de varianza para las variables Tasa de asimilación neta y Tasa de crecimiento del cultivo, en los periodos de los 23-36, 36-46, 46-55 ddt. Sólo se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para la variable TCC en el periodo de los 23 a los 36 ddt.

Cuadro 8. Cuadrados medios y niveles de significancia para variables de Tasa de asimilación neta y Tasa de crecimiento del cultivo medidas a los 23-36, 36-46 y 46-55 días después del trasplante, de pepino bajo diferentes sistemas hidropónicos.

| Muestreo (ddt) | Fuentes de variación | GL | TAN      | TCC      |
|----------------|----------------------|----|----------|----------|
| 23-36          | Tratamiento          | 4  | 53.02 NS | 50.33 *  |
|                | Bloque               | 4  | 94.70 *  | 84.91 *  |
|                | Error                | 16 | 18.60    | 11.45    |
|                | Total                | 24 |          |          |
|                | Media general        |    | 10.18    | 9.48     |
|                | CV                   |    | 42.36    | 35.69    |
| 36-46          | Tratamiento          | 4  | 6.73 NS  | 24.05 NS |
|                | Bloque               | 4  | 89.52 *  | 395.26 * |
|                | Error                | 16 | 3.27     | 17.32    |
|                | Total                | 24 |          |          |
|                | Media general        |    | 6.14     | 13.06 NS |
|                | CV                   |    | 29.46    | 31.87    |
| 46-56          | Tratamiento          | 4  |          | 74.90 NS |
|                | Bloque               | 4  | 60.19 NS | 792.28 * |
|                | Error                | 16 | 136.27 * | 95.89    |
|                | Total                | 24 | 30.40    |          |
|                | Media general        |    | 8.25     | 19.25    |
|                | CV                   |    | 66.82    | 50.86    |

\*: Significativo  $\alpha = 0.05$ . \*\*: Altamente Significativo  $\alpha = 0.01$ . NS: No Significativo.  
GL: Grados de libertad. CV: Coeficiente de variación. ddt = días después del trasplante.

En el Cuadro 9 se observa que en el periodo de los 23 a 36 ddt la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) fue mayor en el sistema de hidroponía profunda, alcanzando a diferir estadísticamente de los sistemas de cama con y sin recirculación de la solución nutritiva. Esto puede deberse a un menor estrés al momento del trasplante y en los siguientes días posteriores a éste en el tratamiento de hidroponía profunda ya que las raíces en este caso no son dañadas y quedan inmediatamente sumergidas en solución, lo que no es posible lograr con los demás sistemas hidropónicos.

Cuadro 9. Comparación de medias para tasas de asimilación neta y tasas de crecimiento del cultivo para los periodos de 23 a 36, 36 a 46 y 46 a 55 días después del trasplante, para el cultivo de pepino bajo diferentes sistemas hidropónicos.

| Muestreo (ddt) | Sistema hidropónico     | TAN ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ de hoja $\cdot\text{día}^{-1}$ ) | TCC ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$ ) |
|----------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| <b>23-36</b>   | Hidroponía profunda     | 15.58 a                                                             | 13.62 a                                                  |
|                | Bolsa sin recirculación | 9.14 a                                                              | 10.52 ab                                                 |
|                | Bolsa con recirculación | 10.62 a                                                             | 10.06 b                                                  |
|                | Cama sin recirculación  | 8.26 a                                                              | 8.20 b                                                   |
|                | Cama con recirculación  | 7.30 a                                                              | 5.00 b                                                   |
|                | DMS                     | 8.35                                                                | 6.55                                                     |
| <b>36-46</b>   | Hidroponía profunda     | 6.68 a                                                              | 16.26 a                                                  |
|                | Bolsa sin recirculación | 6.40 a                                                              | 12.46 a                                                  |
|                | Bolsa con recirculación | 7.60 a                                                              | 14.22 a                                                  |
|                | Cama sin recirculación  | 5.46 a                                                              | 11.52 a                                                  |
|                | Cama con recirculación  | 4.58 a                                                              | 10.84 a                                                  |
|                | DMS                     | 3.50                                                                | 8.06                                                     |
| <b>46-55</b>   | Hidroponía profunda     | 8.14 a                                                              | 18.72 a                                                  |
|                | Bolsa sin recirculación | 5.40 a                                                              | 16.04 a                                                  |
|                | Bolsa con recirculación | 7.06 a                                                              | 18.80 a                                                  |
|                | Cama sin recirculación  | 6.46 a                                                              | 16.86 a                                                  |
|                | Cama con recirculación  | 14.20 a                                                             | 25.84 a                                                  |
|                | DMS                     | 10.68                                                               | 18.97                                                    |

DMS = Diferencia mínima significativa ( $P= 0.05$ ). Medias con la misma letra en las columnas no presentan diferencia significativa. ddt = días después del trasplante.

### 6.3. Rendimiento y sus componentes

En el Cuadro 10 se muestran los análisis de varianza para las variables de rendimiento por unidad de superficie ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ) y sus componentes: peso medio de fruto (g) y número de frutos por unidad de superficie ( $\text{frutos}/\text{m}^2$ ).

Para el peso medio de fruto no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, lo cual era de esperarse pues los frutos se cortan de un determinado tamaño (uniforme), cuando todavía están en crecimiento. Respecto al número de frutos por unidad de superficie se encontraron diferencias significativas ( $P<0.05$ ); mientras que para el rendimiento por unidad de superficie las diferencias fueron altamente significativas ( $P<0.01$ ).

Cuadro 10. Cuadrados medios y niveles de significancia para variables de rendimiento y sus componentes primarios en pepino bajo diferentes sistemas de producción.

| Fuentes de variación | GL | Peso medio de fruto | Fruto $\text{m}^2$ | Rendimiento/ $\text{m}^2$ |
|----------------------|----|---------------------|--------------------|---------------------------|
| Tratamiento          | 4  | 45.15 NS            | 107.76 *           | 7.70 **                   |
| Bloque               | 4  | 433.12 NS           | 33.46 NS           | 7.70 NS                   |
| Error                | 16 | 306.03              | 27.63              | 0.85                      |
| Total                | 24 |                     | 1007.04            |                           |
| Media general        |    | 271.94              | 38.72              | 10.41                     |
| CV                   |    | 6.43                | 13.57              | 8.89                      |

\*Significativo  $\alpha = 0.05$ . \*\*Altamente Significativo  $\alpha = 0.01$ . NS: No Significativo.  
GL: Grados de libertad. CV: Coeficiente de variación.

En el Cuadro 11 se observa que para la variable número de frutos/m<sup>2</sup> de invernadero el tratamiento de hidroponía profunda resultó estadísticamente superior al de bolsa con recirculación de la solución nutritiva (44 contra 34 frutos/m<sup>2</sup>); mientras que el resto de tratamientos estuvo en un rango de 35 a 38 frutos por m<sup>2</sup> de invernadero. El rendimiento por unidad de superficie en los tratamientos hidroponía profunda y cama con recirculación resultó estadísticamente superior a los de bolsa sin recirculación y bolsa con recirculación.

Ortíz *et al.* (2009), señalan que en un sistema de producción de pepino en el que se apliquen despuntes tempranos (dejando las plantas de 1 m de altura) y alta densidad de población en un ambiente poco restrictivo como el que se logra con invernaderos e hidroponía, el número de frutos por planta es uno de los caracteres más relacionados con el rendimiento por planta.

No existieron diferencias significativas en rendimiento entre sistemas con y sin recirculación de la solución nutritiva, lo cual coincide con Osuna *et al.* (2011), Oztekin *et al.* (2008) y Nakano *et al.* (2010), pero difiere de Pardossi *et al.* (2009), quienes reportan que la construcción de un elevado nivel de salinidad con el tiempo en el sistema con recirculación redujo el rendimiento. Esto se debió a que en los sistemas de producción de pepino con recirculación evaluados se basaron en un despunte temprano (dejando las plantas a 1 m de altura), que acortó notablemente el ciclo de cultivo de trasplante a fin de cosecha (menos de 60 días contra más de cuatro meses en los sistemas convencionales) y, con ello, no se dio tiempo a que se desajustara de manera importante la solución nutritiva, tanto en

su CE como en la proporción relativa de nutrimentos.

Cabe señalar también que por lo corto del ciclo con despunte temprano, en el ambiente controlado del invernadero, es posible obtener hasta seis ciclos de cultivo por año con alta productividad anual (por ejemplo, el sistema de hidroponía profunda produjo  $11.8 \text{ kg m}^{-2}$  en un ciclo de cultivo de sólo dos meses. Esto representa un potencial anual de  $70 \text{ kg m}^{-2}$  o  $700 \text{ t/ha}^1/\text{año}^1$  en seis ciclos). El menor rendimiento por planta es compensado parcialmente con una mayor densidad de población, lo cual es posible debido a la menor área foliar que forma cada planta cuando se despunta a tan sólo 1 m de altura (Sánchez *et al.*, 2006; Ortiz *et al.*, 2009).

Cuadro 11. Comparación de medias para variables de rendimiento y sus componentes primarios en pepino bajo diferentes sistemas hidropónicos.

| <b>Sistema hidropónico</b> | <b>Peso medio de Fruto (g)</b> | <b>Frutos/m<sup>2</sup></b> | <b>Rendimiento (Kg·m<sup>-2</sup>)</b> |
|----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------|
| Hidroponía profunda        | 270 a                          | 44 a                        | 11.80 a                                |
| Bolsa sin recirculación    | 268 a                          | 35 ab                       | 9.29 b                                 |
| Bolsa con recirculación    | 273 a                          | 34 b                        | 9.16 b                                 |
| Cama sin recirculación     | 274 a                          | 38 ab                       | 10.23 ab                               |
| Cama con recirculación     | 275 a                          | 43 ab                       | 11.58 a                                |
| DMS                        | 33.89                          | 10.18                       | 1.79                                   |

DMS = Diferencia mínima significativa (P= 0.05). Medias con la misma letra en las columnas no presentan diferencia significativa.

## 6.4 Agua y nutrientes

### 6.4.1 Eficiencia en el uso del agua y nutrientes

En los sistemas de producción agrícola bajo ambiente controlado, es cada vez más necesario promover el ahorro de agua y nutrientes sin disminuir el rendimiento y calidad de los productos, con el fin de disminuir los costos de producción y reducir las descargas de fertilizantes al medio ambiente (Castellanos, 2009).

En el Cuadro 12 se muestran los indicadores de eficiencia en el uso del agua en plantas de pepino a los 55 días ddt. Se aplicaron volúmenes de agua muy similares entre los tratamientos con recirculación y sin recirculación siendo 485.56  $\text{L}\cdot\text{m}^{-2}$  para bolsa sin recirculación, 484.60  $\text{L}\cdot\text{m}^{-2}$  para bolsa con recirculación, 484.30  $\text{L}\cdot\text{m}^{-2}$  para cama sin recirculación y 496.94  $\text{L}\cdot\text{m}^{-2}$  para cama con recirculación. Se observa que al reciclar la solución nutritiva significó ahorros importantes de agua y nutrientes sin afectar el rendimiento. El ahorro del agua debido al reciclaje de la solución nutritiva fue en bolsa con recirculación de 108.99  $\text{L}\cdot\text{m}^{-2}$  y en cama con recirculación de 110.28  $\text{L}\cdot\text{m}^{-2}$ , por tanto el volumen de ahorro de agua para bolsa con recirculación frente a su testigo sin recirculación fue de 22.6 % mientras que en cama con recirculación frente cama sin recirculación hubo un ahorro de 20.2 % (Cuadro 12). Los sistemas que presentaron mayor eficiencia en el uso del agua fueron cama con recirculación (33.4  $\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) e hidroponía profunda con 39.2 ( $\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), el sistema de bolsa con recirculación tuvo una eficiencia intermedia con 41 ( $\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), mientras que los sistemas de menor eficiencia fueron cama sin recirculación 47.3 ( $\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) y bolsa sin recirculación 52.3

(L/kg) al presentar los valores numéricos más altos. Aunque en hidroponía profunda quedaron 400 L de solución en las tinas, esta puede eventualmente recircularse en un nuevo ciclo, lo que haría a ese tratamiento el más eficiente en el uso del agua y los nutrientes.

En los sistemas con recirculación de la solución nutritiva, se obtuvo un ahorro superior a 20 % de agua y superior a 30 % en nutrimentos (potasio, nitrógeno y fosforo), comparado con los sistemas sin recirculación. Otros trabajos también han reportado ahorros importantes en fertilizantes, aunque en varios de ellos hubo reducción en el rendimiento (Parra *et al.*, 2009; Giuffrida *et al.*, 2003; Dasgan y Ekici, 2005), mientras que en otros no hubo afectación en la producción (Giuffrida y Leonard, 2009; Nakano *et al.*; 2010; Pellicer *et al.*, 2007; Oztekin *et al.*; 2008).

Cuadro 12. Indicadores de eficiencia en el uso del agua en plantas de pepino a los 55 días después del trasplante cultivadas en diferentes sistemas hidropónicos.

| Sistema Hidropónico     | Volumen de agua gastado (L·m <sup>-2</sup> ) | Ahorro de agua (%) | Desechado (L·m <sup>-2</sup> ) | Desechado (%) | Consumo de agua (L/planta <sup>1</sup> ) | Índice de eficiencia del agua (L·kg <sup>-1</sup> ) |
|-------------------------|----------------------------------------------|--------------------|--------------------------------|---------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Hidroponía Profunda     | 462.30                                       | -                  | -                              | -             | 70.39                                    | 39.2 <sup>x</sup>                                   |
| Bolsa sin recirculación | 485.56                                       | -                  | 181.59                         | 37.46         | 80.72                                    | 52.3 <sup>x</sup>                                   |
| Bolsa con recirculación | 375.61*                                      | 22.6 <sup>y</sup>  | -                              | -             | 80.76                                    | 41.0 <sup>x</sup>                                   |
| Cama sin recirculación  | 484.30                                       | -                  | 181.61                         | 37.50         | 80.72                                    | 47.3 <sup>x</sup>                                   |
| Cama con recirculación  | 386.66*                                      | 20.2 <sup>y</sup>  | -                              | -             | 82.82                                    | 33.4 <sup>x</sup>                                   |

\*El volumen de agua gastado= volumen de agua aplicado – volumen de agua desechado. <sup>y</sup>Ahorro con respecto al sistema abierto. <sup>x</sup>Índice de eficiencia del agua = Volumen de agua gastado / Rendimiento, siendo los de menor valor número los de mayor eficiencia.

#### **6.4.2. Concentración de nutrimentos**

En el Cuadro 13 se muestran los análisis de varianza para las variables de concentración de los nutrimentos potasio, nitrógeno y fosforo en materia seca de hoja, tallo y fruto, a los 55 ddt.

Para la concentración de nutrimentos (Cuadro 14) en hoja no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los sistemas hidropónicos estudiados. Con respecto a la concentración de nutrimentos en tallo se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre sistemas hidropónicos para los tres nutrimentos analizados: potasio, nitrógeno y fosforo. Mientras que para la concentración de nutrimentos en fruto se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para Fósforo y altamente significativa para Potasio, pero no se encontraron diferencias estadísticamente significativas para Nitrógeno (Cuadro 14).

Cuadro 13. Cuadrados medios y niveles de significancia para concentración de potasio, nitrógeno y fósforo a los 55 días después del trasplante (ddt) en pepino bajo diferentes sistemas hidropónicos.

| Fuentes de variación                                 | GL | Concentración en hoja<br>(% en base a materia seca) |           |          |
|------------------------------------------------------|----|-----------------------------------------------------|-----------|----------|
|                                                      |    | Potasio                                             | Nitrógeno | Fosforo  |
| Tratamiento                                          | 4  | 0.201 NS                                            | 0.050 NS  | 0.003 NS |
| Bloque                                               | 2  | 0.089 NS                                            | 0.134 NS  | 0.002 NS |
| Error                                                | 8  | 0.392                                               | 0.124     | 0.004    |
| Total                                                | 14 |                                                     |           |          |
| Media general                                        |    | 2.345                                               | 2.692     | 0.619    |
| CV                                                   |    | 13.351                                              | 13.119    | 10.244   |
| Concentración en tallo<br>(% en base a materia seca) |    |                                                     |           |          |
| Tratamiento                                          | 4  | 2.564 *                                             | 0.361 *   | 0.011 *  |
| Bloque                                               | 2  | 0.324 NS                                            | 0.252 NS  | 0.004 NS |
| Error                                                | 8  | 0.404                                               | 0.069     | 0.002    |
| Total                                                | 14 |                                                     |           |          |
| Media general                                        |    | 3.444                                               | 2.888     | 0.812    |
| CV                                                   |    | 9,230                                               | 9.110     | 5.923    |
| Concentración en fruto<br>(% en base a materia seca) |    |                                                     |           |          |
| Tratamiento                                          | 4  | 4.034 **                                            | 0.130 NS  | 0.003 *  |
| Bloque                                               | 2  | 0.101 NS                                            | 0.048 NS  | 0.002 NS |
| Error                                                | 8  | 0.145                                               | 0.053     | 0.0006   |
| Total                                                | 14 |                                                     |           |          |
| Media general                                        |    | 4.146                                               | 1.843     | 0.733    |
| CV                                                   |    | 4.595                                               | 12.518    | 3.560    |

\*: Significativo  $\alpha = 0.05$ . \*\*: Altamente Significativo  $\alpha = 0.01$ . NS: No Significativo.  
GL: Grados de libertad. CV: Coeficiente de variación.

Cuadro 14. Producción de biomasa y concentración (%) de potasio, nitrógeno y fósforo en hoja, tallo, fruto y raíz, en plantas de pepino a los 55 días después del trasplante en diferentes sistemas hidropónicos.

| Sistema hidropónico     | Potasio | Nitrógeno | Fósforo |
|-------------------------|---------|-----------|---------|
| -----%-----             |         |           |         |
| HOJA                    |         |           |         |
| Hidroponía Profunda     | 2.14 a  | 2.77 a    | 0.63 a  |
| Bolsa sin recirculación | 2.29 a  | 2.73 a    | 0.67 a  |
| Bolsa con recirculación | 2.48 a  | 2.63 a    | 0.57 a  |
| Cama sin recirculación  | 2.38 a  | 2.49 a    | 0.61 a  |
| Cama con recirculación  | 2.41 a  | 2.82 a    | 0.59 a  |
| DMS                     | 0.883   | 0.996     | 0.179   |
| TALLO                   |         |           |         |
| Hidroponía Profunda     | 3.99 a  | 3.33 a    | 0.92 a  |
| Bolsa recirculación     | 3.20 ab | 3.01 ab   | 0.80 b  |
| Bolsa con recirculación | 3.88 a  | 2.40 b    | 0.78 b  |
| Cama sin recirculación  | 3.16 ab | 2.96 ab   | 0.82 ab |
| Cama con recirculación  | 2.97 b  | 2.73 ab   | 0.75 b  |
| DMS                     | 0.896   | 0.734     | 0.136   |
| FRUTO                   |         |           |         |
| Hidroponía Profunda     | 3.17 c  | 1.93 a    | 0.69 b  |
| Bolsa sin recirculación | 4.47 ab | 1.51 a    | 0.74 ab |
| Bolsa con recirculación | 4.33 ab | 1.79 a    | 0.71 ab |
| Cama sin recirculación  | 4.65 a  | 1.89 a    | 0.73 ab |
| Cama con recirculación  | 4.09 b  | 2.07 a    | 0.78 a  |
| DMS                     | 0.137   | 0.650     | 0.073   |

DMS = Diferencia mínima significativa (P= 0.05). Medias con la misma letra en las columnas no presentan diferencia significativa.

### **6.4.3. Extracción de nutrimentos**

En el Cuadro 15 se muestran los análisis de varianza para las variables de extracción de potasio, nitrógeno y fósforo de materia seca de hoja, tallo y fruto, a los 55 ddt.

En hoja no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para los nutrimentos analizados (Cuadro 16). En tallo la extracción de Potasio por la planta no presentó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, mientras que N y P sí hubo diferencias estadísticas (Cuadro 15); se observa que hidroponía profunda fue el tratamiento con mayor extracción de Nitrógeno y Fósforo con diferencias estadísticamente significativas respecto a bolsa con recirculación en Nitrógeno y, con excepción de cama con recirculación, superior a los demás sistemas hidropónicos en Fósforo (Cuadro 16). En fruto se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para los tres elementos estudiados, se observa que en tallo la extracción de Potasio fue superior en bolsa sin recirculación respecto a todos los demás sistemas hidropónicos; mientras que el sistema de hidroponía profunda fue el tratamiento que tuvo la mayor extracción de Nitrógeno y Fósforo en tallo de pepino (Cuadro 16).

Cuadro 15. Cuadrados medios y niveles de significancia para extracción de potasio, nitrógeno y fósforo a los 55 días después del trasplante en pepino bajo diferentes sistemas de hidropónicos.

| Fuentes de Variación | GL | Materia seca hoja |           |           |
|----------------------|----|-------------------|-----------|-----------|
|                      |    | Potasio           | Nitrógeno | Fósforo   |
| Tratamiento          | 4  | 0.024 NS          | 0.0060 NS | 0.0005 NS |
| Bloque               | 2  | 0.008 NS          | 0.1012 NS | 0.0001 NS |
| Error                | 8  | 0.026             | 0.0090    | 0.0002    |
| Total                | 14 |                   |           |           |
| Media general        |    | 0.633             | 0.7266    | 0.1672    |
| CV                   |    | 12.913            | 13.1227   | 10.255    |
| Materia seca tallo   |    |                   |           |           |
| Tratamiento          | 4  | 0.043 *           | 1.000 *   | 0.0965 *  |
| Bloque               | 2  | 0.004 NS          | 0.020 NS  | 0.0037 NS |
| Error                | 8  | 0.005             | 0.022     | 0.0054    |
| Total                | 14 |                   |           |           |
| Media general        |    | 0.412             | 0.345     | 0.097     |
| CV                   |    | 9.392             | 9.134     | 5.932     |
| Materia seca fruto   |    |                   |           |           |
| Tratamiento          | 4  | 1.000 *           | 0.0965 *  | 0.0112 *  |
| Bloque               | 2  | 0.020 NS          | 0.0037 NS | 0.0004 NS |
| Error                | 8  | 0.022             | 0.0054    | 0.0001    |
| Total                | 14 |                   |           |           |
| Media general        |    | 1.484             | 0.668     | 0.2658    |
| CV                   |    | 5.043             | 11.073    | 4.8080    |

\*: Significativo  $\alpha = 0.05$ . \*\*: Altamente Significativo  $\alpha = 0.01$ . NS: No Significativo.  
GL: Grados de libertad. CV: Coeficiente de variación.

Cuadro 16. Extracción de potasio, nitrógeno y fósforo en hoja, tallo y fruto en plantas de pepino a los 55 días después del trasplante (ddt) en diferentes sistemas hidropónicos.

| Sistema hidropónico     | Potasio | Nitrógeno<br>(g/planta) | Fósforo  |
|-------------------------|---------|-------------------------|----------|
| <b>HOJA</b>             |         |                         |          |
| Hidroponía Profunda     | 0.56 a  | 0.731 a                 | 0.166 a  |
| Bolsa sin recirculación | 0.61 a  | 0.738 a                 | 0.181 a  |
| Bolsa con recirculación | 0.62 a  | 0.662 a                 | 0.143 a  |
| Cama sin recirculación  | 0.67 a  | 0.707 a                 | 0.173 a  |
| Cama con recirculación  | 0.67 a  | 0.786 a                 | 0.164 a  |
| DMS                     | 0.230   | 0.269                   | 0.0491   |
| <b>TALLO</b>            |         |                         |          |
| Hidroponía Profunda     | 0.49 a  | 0.409 a                 | 0.113 a  |
| Bolsa sin recirculación | 0.36 b  | 0.340 ab                | 0.090 b  |
| Bolsa con recirculación | 0.46 ab | 0.284 b                 | 0.092 b  |
| Cama sin recirculación  | 0.38 ab | 0.360 ab                | 0.100 ab |
| Cama con recirculación  | 0.36 b  | 0.330 ab                | 0.091 b  |
| DMS                     | 0.109   | 0.089                   | 0.016    |
| <b>FRUTO</b>            |         |                         |          |
| Hidroponía Profunda     | 1.62 b  | 0.983 a                 | 0.352 a  |
| Bolsa sin recirculación | 1.84 a  | 0.626 b                 | 0.306 b  |
| Bolsa con recirculación | 1.36 c  | 0.566 b                 | 0.223 c  |
| Cama sin recirculación  | 1.52 bc | 0.616 b                 | 0.238 c  |
| Cama con recirculación  | 1.07 d  | 0.544 b                 | 0.205 c  |
| DMS                     | 0.211   | 0.208                   | 0.0361   |

DMS = Diferencia mínima significativa ( $P= 0.05$ ). Medias con la misma letra en las columnas no presentan diferencia significativa. La materia seca total se refiere a la parte aérea de la planta.

#### **6.4.4. Uso y extracción total de nutrimentos**

Se observa en el Cuadro 18 que hay diferencias significativas entre tratamientos para la extracción total de la parte aérea de la planta de potasio, nitrógeno y fósforo. De acuerdo con el Cuadro 18, las plantas en el sistema hidroponía profunda fueron las de mayor extracción de nutrimentos, siendo de 4.3, 3 y 1.04 g/planta<sup>1</sup> para potasio, nitrógeno y fósforo respectivamente, mientras que los tratamientos con recirculación presentaron extracciones más bajas. Esto podría explicarse considerando que en hidroponía profunda el pH y la CE se mantienen estables por largos periodos de tiempo al estar las raíces de las plantas permanentemente inmersas en la solución nutritiva, mientras que en los demás tratamientos, el pH y, sobre todo, la CE sufren cambios entre un riego y otro que puede afectar negativamente la absorción de dichos nutrimentos.

En el Cuadro 19 se puede apreciar que los nutrimentos desechados en los sistemas sin recirculación variaron entre 20 y 25 % con respecto a los sistemas con recirculación para potasio, nitrógeno y fósforo. Existe una relación directa entre la absorción nutrimental (Cuadro 19) y el rendimiento del cultivo en el sistema hidropónico (Cuadro 11); con los tratamientos de hidroponía profunda y cama con recirculación fueron los que más rindieron (11.80 y 11.58 Kg.m<sup>-2</sup> respectivamente) y también tuvieron la mayor absorción nutrimental; en hidroponía profunda se consumieron 26.1, 18 y 6.2 g.m<sup>-2</sup>, para potasio, nitrógeno y fósforo respectivamente, y para cama con recirculación 18.7, 17.1, 5.2 g.m<sup>-2</sup>. Mientras que bolsa con y sin recirculación fueron estadísticamente inferiores con rendimientos de 9.29 y 9.16 Kg.m<sup>-2</sup> respectivamente, y el consumo de nutrimentos de estos dos

tratamientos también fue el más bajo, para bolsa sin recirculación 21.2, 14.5 y 5.6 g.m<sup>-2</sup> y para bolsa con recirculación 19.1, 12.5 N y 4.4 g.m<sup>-2</sup> de potasio, nitrógeno y fósforo respectivamente.

En los sistemas hidropónicos un porcentaje de los nutrientes son retenidos en el sustrato (Pineda-Pineda *et al.*, 2011) y/o pueden disociarse y/o precipitarse en función del pH (De Rijck y Schrevens, 1997a; De Rijck y Schrevens, 1998a; De Rijck y Schrevens, 1998b) o por efecto de su concentración en la solución nutritiva (De Rijck y Schrevens, 1998c; De Rijck y Schrevens, 1998b; De Rijck y Schrevens, 1997b). Pineda-Pineda *et al.* (2011) usando como sustrato arena de tezontle reportan que del total de nutrientes aplicados a un cultivo de tomate en condiciones de hidroponía con drenaje sin recirculación de la solución nutritiva durante 74 días, 35.1 % Potasio, 1.9 % de Nitrógeno y 54.8 % de Fósforo fueron retenidos por el sustrato. Los mismos autores señalan que durante los primeros 40 días, el sustrato almacenó una gran cantidad de nutrientes y que durante la fase de floración y el inicio de cuajado de fruto fue cuando comenzaron a ser absorbidos los nutrimentos retenidos en el sustrato. En la presente investigación se usó el mismo sustrato que Pineda-Pineda *et al.* (2011); al despuntar al metro de altura la planta de pepino el crecimiento vegetativo y reproductivo se detuvo, por lo que gran parte de los nutrimentos comenzaron a acumularse en el sustrato; se considera por lo tanto que una parte de los nutrimentos quedaron retenidos en el sustrato lo que originó un incremento de la CE (Figura 13).

Con base a lo anterior el productor podría reducir sus costos, ya que se le podría proponer la cantidad de fertilizante a reponer, se establecería en el tiempo o en

ciertas etapas de desarrollo, el consumo de cada uno de los elementos de mayor demanda, se logra además facilitar el manejo de los sistemas sin recirculación y también reducir el número de análisis químicos de la solución nutritiva.

Cuadro 17. Cuadrados medios y niveles de significancia para extracción total de potasio, nitrógeno y fósforo en plantas de pepino a los 55 días después del trasplante desarrolladas en diferentes sistemas hidropónicos.

| <b>Fuentes de variación</b> | <b>GL</b> | <b>Potasio</b> | <b>Nitrógeno</b> | <b>Fósforo</b> |
|-----------------------------|-----------|----------------|------------------|----------------|
| Tratamiento                 | 4         | 5.90 *         | 0.41 *           | 0.0379 *       |
| Bloque                      | 2         | 0.04 NS        | 0.10 NS          | 0.0009 NS      |
| Error                       | 8         | 0.75           | 0.02             | 0.0009         |
| Total                       | 14        |                |                  |                |
| Media general               |           | 3.57           | 2.63             | 0.907          |
| CV                          |           | 12.47          | 6.02             | 3.333          |

\*: Significativo  $\alpha = 0.05$ . \*\*: Altamente Significativo  $\alpha = 0.01$ . NS: No Significativo.  
GL: Grados de libertad. CV: Coeficiente de variación.

Cuadro 18. Extracción total de potasio, nitrógeno y fósforo en plantas de pepino a los 55 días después del trasplante desarrolladas en diferentes sistemas hidropónicos.

| <b>Sistema hidropónico</b> | <b>Potasio</b> | <b>Nitrógeno (g/planta)</b> | <b>Fosforo</b> |
|----------------------------|----------------|-----------------------------|----------------|
| Hidroponía Profunda        | 4.36 a         | 3.00 a                      | 1.04 a         |
| Bolsa sin recirculación    | 3.54 bc        | 2.42 bc                     | 0.93 bc        |
| Bolsa con recirculación    | 3.19 bc        | 2.09 c                      | 0.74 d         |
| Cama sin recirculación     | 3.65 b         | 2.79 ab                     | 0.95 b         |
| Cama con recirculación     | 3.11 d         | 2.86 ab                     | 0.86 c         |
| DMS                        | 0.387          | 0.448                       | 0.085          |

DMS = Diferencia mínima significativa ( $P = 0.05$ ). Medias con la misma letra en las columnas no presentan diferencia significativa.

Cuadro 19. Uso de nutrientes (potasio, nitrógeno y fósforo) en plantas de pepino, cultivadas en diferentes sistemas hidropónicos.

| Nutriente | Sistema Hidropónico     | Nutriente Aplicado (g·m <sup>-2</sup> ) | Desechado (drenaje) (g·m <sup>-2</sup> ) (%) |      | Nutriente Consumido (g·m <sup>-2</sup> ) (%) |      | Retenido (sustrato) (g·m <sup>-2</sup> ) (%) |      |
|-----------|-------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------|------|----------------------------------------------|------|----------------------------------------------|------|
| <b>K</b>  | Hidroponía Profunda     | 108.5                                   | -                                            | -    | 26.1                                         | 24.1 | -                                            | -    |
|           | Bolsa sin recirculación | 140.0                                   | 52.4                                         | 37.4 | 21.2                                         | 15.1 | 66.4                                         | 47.4 |
|           | Bolsa con recirculación | 112.0                                   | 7.8                                          | 7.0  | 19.1                                         | 17.1 | 85.1                                         | 75.9 |
|           | Cama sin recirculación  | 137.2                                   | 51.4                                         | 37.5 | 21.9                                         | 16.0 | 63.9                                         | 46.5 |
|           | Cama con recirculación  | 105.0                                   | 7.6                                          | 7.2  | 18.7                                         | 17.8 | 78.7                                         | 74.9 |
| <b>N</b>  | Hidroponía Profunda     | 87.6                                    | -                                            | -    | 18.0                                         | 20.5 | -                                            | -    |
|           | Bolsa sin recirculación | 109.8                                   | 41.1                                         | 37.4 | 14.5                                         | 13.2 | 54.1                                         | 49.3 |
|           | Bolsa con recirculación | 83.2                                    | 8.0                                          | 9.6  | 12.5                                         | 15.0 | 62.6                                         | 75.2 |
|           | Cama sin recirculación  | 106.7                                   | 40.0                                         | 37.5 | 16.7                                         | 15.6 | 49.9                                         | 46.8 |
|           | Cama con recirculación  | 85.0                                    | 9.2                                          | 10.0 | 17.1                                         | 20.1 | 58.6                                         | 68.9 |
| <b>P</b>  | Hidroponía Profunda     | 18.1                                    | -                                            | -    | 6.2                                          | 34.2 | -                                            | -    |
|           | Bolsa sin recirculación | 22.4                                    | 8.3                                          | 37.4 | 5.6                                          | 25.0 | 8.3                                          | 51.8 |
|           | Bolsa con recirculación | 17.5                                    | 1.1                                          | 6.2  | 4.4                                          | 25.1 | 5.7                                          | 51.1 |
|           | Cama sin recirculación  | 23.4                                    | 8.7                                          | 37.5 | 5.7                                          | 24.3 | 8.2                                          | 52.5 |
|           | Cama con recirculación  | 18.7                                    | 1.3                                          | 6.8  | 5.2                                          | 27.8 | 6.4                                          | 54.7 |

\*En hidroponía profunda el porcentaje que es considerado como retenido hace referencia a las precipitaciones químicas.

## **6.5. Comportamiento de pH y conductividad eléctrica (CE, $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ )**

### **6.5.1. pH de la solución drenada**

El pH de la solución drenada en los cinco tratamientos tuvo un comportamiento ascendente durante el transcurso del experimento; sin embargo, para evitar que algunos nutrimentos precipitaran por alcalinización del medio, se realizaron aplicaciones periódicas de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) vía riego, por lo que se observan ligeros descensos de pH en todos los sistemas conforme transcurre el tiempo (Figura 12). Además la aplicación de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  permitió que las variaciones en los valores de pH fueran mínimas y abastecer a los sistemas del nutrimento azufre.

Para el caso de hidroponía profunda, el pH de la solución drenada osciló en un rango de 0.69 unidades, siendo 6.61 el valor mínimo y 7.3 el valor máximo, rango en el que se encuentran asimilables la mayoría de los nutrimentos, a excepción de algunos micronutrimentos como hierro, zinc, molibdeno y manganeso (Urrestarazu, 2004).

El pH en el drenaje de los tratamientos en bolsas tuvo una oscilación de 0.65, con un valor mínimo de 6.44 en el sistema sin recirculación y 6.47 en el sistema con recirculación; los valores máximos de pH fueron 7.09 y 7.12.

El pH de la solución drenada en el sistema de camas con recirculación fluctuó entre 6.54 y 7.48, presentando el rango de oscilación de pH mas amplio de todos los sistemas (0.94 unidades), así como los valores de pH más altos observados en la experimentación, mientras que el sistema de camas con recirculación tuvo una

fluctuación de 0.68, con un valor de pH máximo de 7.2, y el valor mínimo fue de 6.52, valores entre los que se encuentran asimilables los nutrientes esenciales, principalmente los macronutrientes.

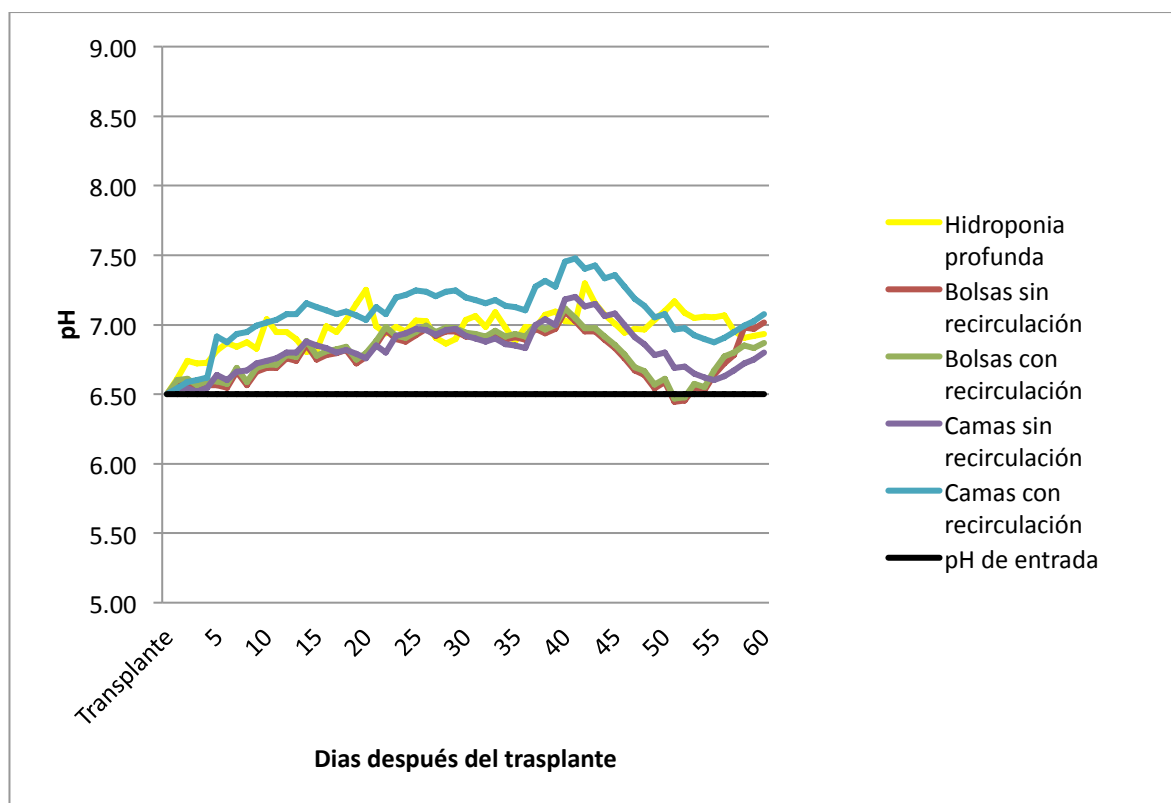


Figura 12. Comportamiento del pH en la solución drenada a través del tiempo para cultivo de pepino en diferentes sistemas de producción.

### **6.5.2. Conductividad eléctrica de la solución nutritiva**

Al iniciar el experimento se llevó la CE de la solución a un valor de entrada de  $2.25 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , los sistemas se abastecían con agua y nutrimentos de manera periódica para contrarrestar las pérdidas por evapotranspiración.

La CE del sistema de hidroponía profunda disminuyó gradualmente en un rango de  $0.43 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , con un valor máximo de  $2.28 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  y un mínimo de  $1.85 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  (Figura 13). Esta disminución se debe a que en este sistema el agua que se perdía por el consumo de las plantas, era sustituida regularmente con agua pura (sin fertilizantes) para mantener un volumen constante en el contenedor; sin embargo, como se mencionó anteriormente, se repondrían los nutrientes en periodos de 10 a 15 días, es por esto que la diferencia entre los valores máximo y mínimo de CE no es muy grande.

A diferencia de los valores de CE en el sistema de hidroponía profunda, los valores en los otros sistemas iban en ascenso con el transcurso del tiempo (Figura 13), esto es debido a la evapotranspiración, que trae como consecuencia una acumulación progresiva de sales en el sustrato; de tal manera que al aplicar una solución nutritiva con una CE específica de entrada, al salir arrastrará parte de las sales presentes en el sustrato, las cuales estarán presentes en el lixiviado, aumentando progresivamente la CE (Castellanos, 2009).

Los valores de CE en la solución drenada, para el sistema de bolsas sin recirculación, fluctuaron entre  $2.11 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  y  $2.68 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ; para el sistema de bolsas con recirculación estos valores oscilaron entre  $2.24 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  y  $2.57 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ; con

valores máximos ligeramente arriba del fijado inicialmente ( $2.25 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ), pero aceptable.

En el caso de los sistemas en camas se presentaron valores mínimos de  $2.22 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  y  $2.17 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  en los sistemas sin recirculación y con recirculación, respectivamente, y valores máximos de  $2.69 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  en el sistema sin recirculación y  $2.64 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  en el sistema con recirculación; las diferencias en ambos sistemas fueron muy pequeñas, tan solo  $0.46 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  en bolsas sin recirculación y de  $0.47 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  en bolsas con recirculación. En los cuatro casos anteriores, los valores de CE se mantuvieron cercanos a  $2.25 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , como se fijó al inicio de la experimentación.

Los sistemas de despunte temprano resultaron ser muy favorables para el cultivo en recirculación, pues el ciclo tan corto ayudó a que las soluciones no se desequilibrarán, como suele ocurrir en ciclos largos (Urrestarazu, 2000).

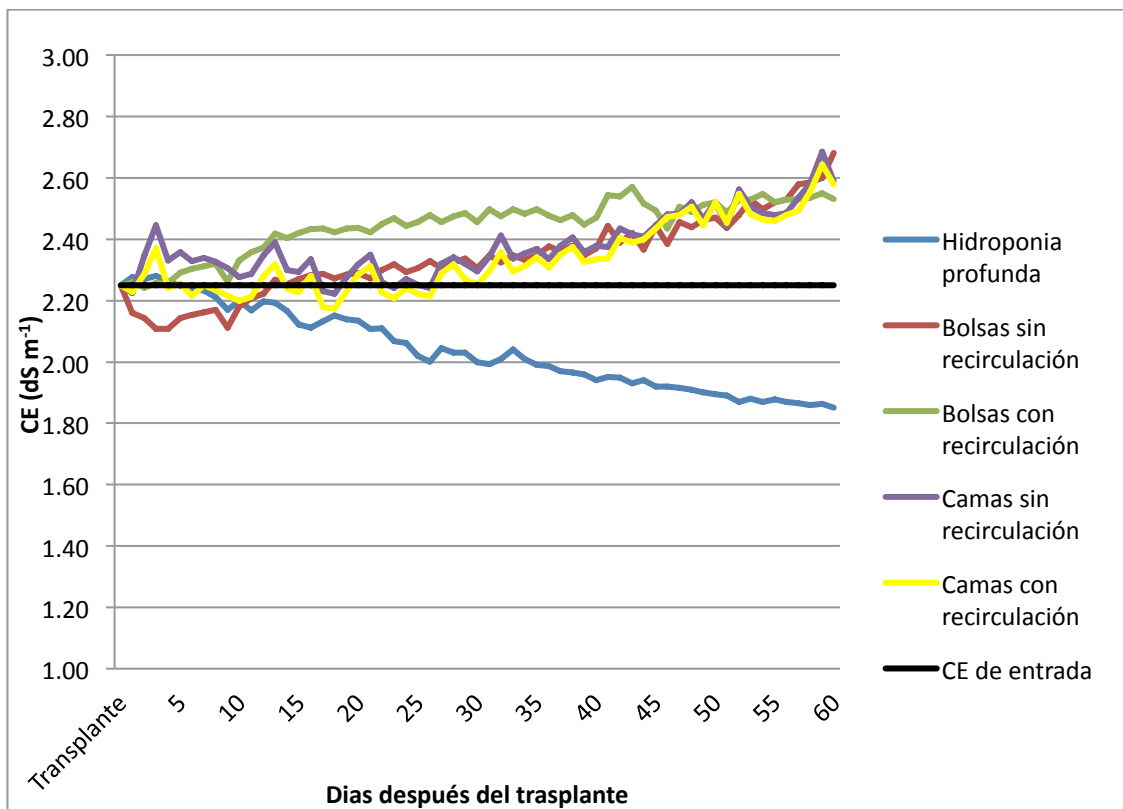


Figura 13. Comportamiento de la CE en la solución drenada a través del tiempo para cultivo de pepino en diferentes sistemas de producción.

## **7. CONCLUSIONES**

1. El crecimiento y rendimiento de pepino en un ciclo corto donde las plantas se despuntaron a un metro de altura, fue similar entre los sistemas con y sin recirculación de la solución nutritiva; sin embargo, en hidroponía profunda se alcanzó mayor rendimiento por unidad de superficie respecto a los sistemas con y sin recirculación.
2. En el sistema con recirculación de la solución nutritiva, se obtuvo un ahorro superior a 20 % de agua y superior a 25 % en nutrimentos (potasio, nitrógeno y fosforo), comparado con los sistemas sin recirculación.
3. Por lo corto del ciclo, el sistema de despunte temprano disminuye los problemas de enfermedades, desequilibrios nutricionales y de salinización progresiva de la solución nutritiva que se dan con los sistemas hidropónicos con recirculación en ciclos largos, haciendo más fácil el manejo de la nutrición y la sanidad.

## 8. LITERATURA CITADA

- Adamson, R. M.; Mass, E. F. 1981. Soilless culture of seedless greenhouse cucumbers and sequence cropping. Ministerio de Servicios y Suplementos. Canadá. 20 p.
- Bar-Yosef, B. 2008. Fertigation management and crops response to solution recycling in semi-closed greenhouses, pp. 341-424. *In*: Soilless culture: theory and practice. Raviv, M.; Lieth, J. H. (ed.). Helveter. USA.
- Beadle, C. L. 1988. Análisis del crecimiento vegetal, pp. 12-21. *In*: Técnicas en Fotosíntesis y Bioproductividad. Traducción al español de la 2ª Ed. en inglés. Patrocinada por el programa ambiental de las naciones unidas (UNEP) y el Colegio de Postgraduados. Ed. Futura. Chapingo. México.
- Blanco, F. F.; Folegatti, M. V. 2002. Salt accumulation and distribution in a greenhouse soil as affected by salinity of irrigation water and leaching management. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.* 6: 414-419.
- Canavas, M. F. 1999. Sistemas hidropónicos, *In*: Cultivo sin suelo 2. Curso de especialización superior, Fernández F., M.; Cuadrado G., I. M. (eds.). Caja Rural de Almería. Andalucía, España. 223-244 p.
- Castellanos, J. Z. 2004. Manual de Producción Hortícola en Invernadero. INTAGRI. Celaya Gto. México. 469 p.

- Castellanos, J. Z.; y Borbón M.C.. 2009. Panorama de la horticultura protegida en México. *In*: Castellanos, R. J. Z. (ed.) Manual de Producción de Tomate en Invernadero. Intagri. Celaya, Gto.; México. pp: 1-18.
- Chapman, H. D.; Pratt, P. E. 1973. Método de análisis de suelos, plantas y agua. Ed. Trillas. México. D. F. 195 p.
- Dasgan, H. Y.; Ekici, B. 2005. Comparison of open and recycling systems for ion accumulation of substrate, nutrient uptake and water and water use of Tomato plants. *Act Hort.* 697: 399-408.
- De Rijck, G.; Schrevens, E. 1997a. pH Influenced by the elemental composition of nutrient solutions. *Journal of Plant Nutrition* 20: 911-923.
- De Rijck, G.; Schrevens, E. 1997b. Elemental bioavailability in nutrient solutions in relation to dissociation reactions. *Journal of Plant Nutrition* 20: 901-910.
- De Rijck, G.; Schrevens, E. 1998a. Cationic speciation in nutrient solutions as a function of pH. *Journal of Plant Nutrition* 21: 861-870.
- De Rijck, G.; Schrevens, E. 1998b. Elemental bioavailability in nutrient solutions in relation to complexation reactions. *Journal of Plant Nutrition* 21: 849-859.
- De Rijck, G.; Schrevens, E. 1998c. Elemental bioavailability in nutrient solutions in relation to precipitation reactions. *Journal of Plant Nutrition* 21: 203-2113.
- Decoteau, D.R., 2000. Vegetable Crops. Upper Rever Company. New Jersey, U.S.A 464 p.

- Donald, C.M., Hamblin, J. (1983) The convergent evolution of annual seed crops in agriculture. *Adv Agron*, San Diego, v. 36, p.97-139.
- Escalante, E. J. A.; Kohashi, S. J. 1993. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para toma de datos. Centro de Botánica-Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 84 p.
- FAO. 2012. El cultivo de pepino. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://faostat.fao.org> . Consultado marzo, 2012.
- Gálvez, H. F. (2004) El cultivo de pepino en invernadero. *In*: Manual de Producción Hortícola en Invernadero, 2a ed. R. J. Castellanos (ed). INTAGRI. Celaya, Gto. México. pp:282-293.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Offset Larios. México. 217 p.
- García G., E.; Leal, P. M.; González, J. E. 2007. Evaluación de dos sistemas hidropónicos (abierto y cerrado) con relación al uso de solución hidropónica reciclada y producción de jitomate de exportación. *Revista Tecnóloga* 1(2): 54-66.
- Gardner F., P.; Brent P., R.; Mitchell R., L. 1990. Physiology of crop plants. Second Edition. Iowa State University Press. AMES. USA. Pp. 98-208.
- Guenkov, G. 1974. Fundamentos de la Horticultura Cubana. Instituto Cubano del Libro. La Habana, Cuba. 308 p.

- Giuffrida, F.; Leonardi, C. 2009. Nutrient solution concentrations in soilless closed system. *Act Hort.* 807: 463-468.
- Giuffrida, F.; Lipari, V.; Leonardi, C. 2003. A simplified management of closed soilless cultivation systems. *Acta Hort.* 614: 155-160.
- Gutierrez, T. J. 2011. Producción Hidropónica de lechuga con y sin recirculación de la solución nutritiva. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 77 p.
- Halfacre, R. G. 1979. *Horticulture*. McGraw-Hill. Nueva York, Estados Unidos de América. 722 p.
- Heuvelink, E.; Dorais, M. 2005. Crop growth and yield, pp. 85-114, In: *Tomatoes*. Heuvelink, E. (ed.). CABI Publishing. London. UK.
- Hochmuth, R.C. 2001 *Greenhouse cucumber production- Florida greenhouse vegetable production handbook*. Volume 3. University of Florida. Cooperative Extension Service. Institute of Food and Agricultural Sciences. USA. p. 7.
- Huang, W. Y. 2009. Factors Contributing to the Recent Increase in U.S. Fertilizer Prices, 2002-08. *Agricultural Resources Situation and Outlook Number AR-33*. U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service, Washington, DC. 21 p.
- Hunt, R. 1982. *Plant Growth Curves. The functional approach to plant growth analysis*. Edward Arnold (Publisher) Ltd. London. 248 p.

- Hunt, R. 2003. Growth Analysis, Individual Plants, pp. 579-588. *In: Encyclopedia of applied plant science*. Thomas, B.; Murphy, D. J.; Murray, D. (eds.). Academic Press. London.
- Incrocci, L., Malorgio, F., Della Bartola, A., and Pardossi, A., 2006. The influence of dripirrigation or subirrigation on tomato grown in closed-loop substrate culture with saline water. *Sci. Hortic.* 107:365-372.
- Lamas, N. M. A. 2001. Rentabilidad y financiamiento para la agricultura protegida. Fideicomisos instituidos en relación con la agricultura, FIRA. Expo Agro Sinaloa 2011. [www.fps.org.mxhttp://www.fps.org.mx/divulgacion/index.php?option=com\\_remository](http://www.fps.org.mxhttp://www.fps.org.mx/divulgacion/index.php?option=com_remository)
- Lawrence, G. H. M. 1951. Taxonomy of Flowering Plants. The Macmillan Co. Nueva York, E.U.A. 823 p.
- León, J. 1987. Botánica de los cultivos tropicales. Segunda ed. Instituto Panamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. 393 p.
- Liang, W.; Jiang, Y.; Zhang, Y. 2006. Accumulation of soil soluble salt in vegetable greenhouses under heavy application of fertilizers. *Agric. J.* 1: 123-127.
- Lower, R. L.; Edwards, M. D. (1986) Cucumber breeding. *On: Breeding Vegetable Crops*. Bassett M. J (Ed). AVI Publishing Company INC. Westport, Conneticut, Estados Unidos de América. 584 p.

- Maroto, B. J. V. 1983. Horticultura herbácea especial. Mundi-Prensa. Madrid, España. 702 p.
- Massa, D.; Incrocci, L.; Maggini, R.; Carmassi, G.; Campiotti, C. A.; Pardossi, A. 2010. Strategies to decrease water drainage and nitrate emission from soilless culture of greenhouse tomato. *Agric. Water Manage* 97: 971-980.
- Moreno P., E. del C.; Sánchez del C., F. and Contreras M., E. 2012. Development of alternative commercial soilless productions Systems II: Cucumber, Bell Pepper and Vegetable orchard. II International Symposium on Soilless Culture and Hydroponics. *Acta Horticulturae* (en prensa).
- Mortensen, E. 1986. Horticultura tropical. Centro regional de ayuda técnica para el desarrollo internacional. México. 182 p.
- Nakano, Y.; Sasaki, H.; Nakano, A.; Suzuki, K.; Takaichi, M. 2010. Growth and yield of Tomato plants as influenced by nutrient application rates with quantitative control in closed rockwool cultivation. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 79:47-55.
- Ortíz C., J.; Sánchez del C., F.; Mendoza C., C. y Torres G., A. 2009. Características deseables de plantas de pepino crecidas en invernadero e hidroponía en altas densidades de población. *Revista Fitotecnia Mexicana* 32(4): 289-294.

- Osuna R., J. M. 2011. Comparación de sistemas con y sin recirculación de la solución nutritiva en un cultivo hidropónico de jitomate. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 94 p.
- Oztekin, G. B.; Tüzel, Y.; Tüzel, I. H.; Meric, K. M. 2008. Effects of EC levels of nutrient solution on tomato crop in open and closed systems. *Acta Hort.* 801: 1243-1250.
- Páez, O. F.; Ramírez, R. G.; Ruiz, F. A. C.; Soto, J. M. F. 2007. Contaminación por nutrientes de las aguas costeras, pp. 55-67. *In*: La contaminación por nitrógeno y fósforo en Sinaloa: flujos, fuentes, efectos y opciones de manejo. Serie lagunas costeras de Sinaloa. Universidad Autónoma de México.
- Pardossi, A.; Incrocci, L.; Massa, D.; Carmassi, G.; Maggini, R. 2009. The influence of fertigation strategies on water and nutrient efficiency of tomato grown in closed soilless culture with saline water. *Acta Hort.* 807: 445-450.
- Parra, M.; Raya, V.; Cid, M. C.; Haroun, J. 2009. Alternative to tomato soilless culture in open system in the Canary Islands: preliminary results. *Acta Hort.* 807:509-514.
- Pellicer, C.; Paredes, A.; Abadía, A.; Pérez, A.; Rincón, L.; Balsalobre, E. 2007. Balance de micronutrientes en un cultivo de pimiento sobre sustrato perlita con reutilización de las diluciones lixiviadas. XI Congreso SECH. *Actas de Horticultura* nº 48. Sociedad Española de Ciencias Hortícolas 473:476.

- Pineda-Pineda, J.; Ramírez-Arias, A.; Sánchez del C. F.; Castillo-González, A. M.; Valdez-Aguilar, L. A.; Vargas-Canales, J.M. 2011. Extraction and nutrient efficiency during the vegetative growth of tomato under hydroponics conditions. *Acta Hort.* 893: 997-1005.
- Resh, H. M. 2006. *Cultivos Hidropónicos*. Ed. Mundi-Prensa. 5ta ed. España. 558 p.
- Rodríguez, C. E. 1986. El cultivo del Pepino (*Cucumis sativus*, L.) bajo el sistema de grava con subirrigación. Chapingo, México. 86 p.
- SAGARPA. 2010. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación 2010. <http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Paginas/Agricultura.aspx> fecha de consulta: 23/Diciembre/2010.
- Sánchez del C., F.; Escalante, R, E., R. 1988. *Hidroponía*. 3ª ed. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 194 p.
- Sánchez del C., F.; Ortiz C., J.; Mendoza C, C.; González H.; V.A.; Bustamante O., J. 1998. Parámetros fisiológicos y agronómicos de jitomate en dos sistemas nuevos de producción. *Rev. Fitotec. Mex.* 21:1-13.
- Sánchez del C., F.; Moreno P., E.; Contreras M., E. y González E., V.; 2006. Reducción del ciclo de crecimiento en pepino europeo mediante trasplante tardío. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29 Num. Especial 2:87-90.

SAS INSTITUTE. 2002. SAS software release 6,12. Versión 9.00 SAS Institute Inc.  
Cary, NC., USA.

Savvas, D.; Sigrimis, N.; Chatzieustratiou, E.; Paschalidis, C. 2009. Impact of  
a progressive Na and Cl accumulation in the root zone on pepper grown in  
a closed-cycle hydroponic system. *Acta Hort.* 807: 451-456.

Serrano C., Z. 1979. Cultivo de Hortalizas en invernaderos. AEDOS. España. 360  
p.

Steiner, A. 1966. The influence of the chemical composition of a nutrient solution  
on the production of tomato plants. *Plant and Soil.* 48: 259-267.

SIAP. 2012. Servicio de Información Agroalimentaria y Pecuaria. El cultivo del  
pepino. [www.siap.gob.mx](http://www.siap.gob.mx). Fecha de consulta: 24/01/2012.

Takahashi, K. 1984. Injury by continuous cropping in vegetalbes: various problems  
in the cultivation using grafted plants. *Yasaishikenjo Kenkyu Shiryo* 18: 87-  
89.

Tüzel, I. H.; Tunalı, U.; Tüzel, Y.; Öztekin, G. B. 2009. Effects of salinity on tomato  
in a closed system. *Acta Hort.* 807: 457-462.

Urrestarazu G., M.; Salas S., C. 2004. Sistemas con sustrato y recirculación de la  
disolución nutritiva, pp. 362-420. *In: Tratado de cultivo sin suelo.* 2ª Ed.

- Urrestarazu, G. M. 2000. Bases y sistemas de los cultivos sin suelo, pp. 51-94. *In*: Manual de cultivos sin suelo 5. Urrestarazu, G. M. (ed.). Mundi-Prensa. España.
- Valadéz, L. A. 1990. Producción de Hortalizas. LIMUSA. México, D.F. 298 p.
- Van Os, E. A. 2009. Comparison of Some Chemical and Non-Chemical Treatments to Disinfect a Recirculating Nutrient Solution. *Acta Hort.* 843: 229-234.
- Whitaker, T. W.; Davis, G. N. 1962. Cucurbits. Interscience Publishers Inc. Nueva York. 189 p.
- Zekki, H.; Gauthier, L.; Gosselin, A. 1996. Growth, productivity and mineral composition of hydroponically cultivated greenhouse tomatoes, with or without nutrient solution recycling. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 121: 1082-1088.