

PRODUCCIÓN HIDROPÓNICA DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) CON Y SIN RECIRCULACIÓN DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA

HYDROPONIC TOMATO (*Solanum lycopersicum* L.) PRODUCTION WITH AND WITHOUT RECIRCULATION OF NUTRIENT SOLUTION

Felipe Sánchez-Del Castillo^{1*}, Esaú del C. Moreno-Pérez¹, Joel Pineda-Pineda¹,
José M. Osuna², Juan E. Rodríguez-Pérez¹, Tomás Osuna-Encino²

¹Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. km. 38.5 Carretera México-
Texcoco. 56230. Chapingo, Estado de México, México. (fsanchezdelcastillo@yahoo.com.mx).

²Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. Carretera Culiacán-El Dorado, Km.
5.5. Sinaloa, México.

RESUMEN

Los sistemas hidropónicos con recirculación de la solución nutritiva, ahorran agua y fertilizantes, pero con el tiempo es difícil mantener el balance nutricional y controlar las enfermedades que atacan a la raíz, lo que causa un rendimiento menor respecto a sistemas donde dicha solución no se recircula. El objetivo de este estudio fue comparar la eficiencia de utilización de agua y nutrimentos, así como el rendimiento en el cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.), entre sistemas hidropónicos abiertos y cerrados usando la estrategia de manejo del cultivo a base de ciclos cortos, mediante el despunte a tres racimos por planta. El diseño experimental fue bloques al azar con cinco repeticiones y cinco tratamientos: 1) camas sin recirculación de los drenajes (cama abierta); 2) camas con recirculación de los drenajes (cama cerrada); 3) bolsas sin recirculación de los drenajes (bolsa abierta); 4) bolsas con recirculación de los drenajes (bolsa cerrada); 5) hidroponía profunda. Con los datos se realizó un ANDEVA y las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Se midieron caracteres morfológicos, rendimiento y aprovechamiento del agua y fertilizantes. Los rendimientos mayores fueron con hidroponía profunda (16.7 kg m^{-2}) y con bolsa con recirculación (15.3 kg m^{-2}) en un ciclo de cuatro meses. El ahorro de fertilizante (K, Ca, N y P) en los sistemas de recirculación con sustrato fue 41 % y 35 % de agua respecto a los sistemas sin recirculación.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum* L., cultivo sin suelo, hidroponía profunda, sustrato, tezontle.

ABSTRACT

The hydroponic systems with recirculation of nutrient solution save water and fertilizer, but over time it is difficult to maintain the nutritional balance and control diseases that attack the roots, causing lower performance compared to systems where the solution is not recirculated. The objective of this study was to compare the water use efficiency and nutrients, as well as the yield in growing tomato (*Solanum lycopersicum* L.), between open and closed hydroponic systems using a crop management strategy based on short cycles, by the pruning at three clusters per plant. The experimental design was randomized blocks with five replications and five treatments: 1) beds without recirculation of drainage (open bed); 2) beds with recirculation of drainage (closed bed); 3) bags without recirculation of drainage (open bag); 4) bags with recirculation of drains (closed bag); 5) deep hydroponics. With the data an ANOVA was performed and means were compared using the Tukey test ($p \leq 0.05$). Morphological traits, yield, water use and fertilizers were measured. The highest yields were obtained with deep hydroponics (16.7 kg m^{-2}) and with closed bags (15.3 kg m^{-2}) in a crop cycle of four months. The fertilizer savings (K, Ca, N and P) in recirculation systems with substrate was 41 % and 35 % of water in relation to the systems without recirculation.

Key words: *Solanum lycopersicum* L., soilless culture, deep hydroponics, substrate, tezontle.

INTRODUCTION

In Mexico the area of greenhouse vegetable production increased from 300 ha in the late 1990s to more than 10 000 ha in 2010 (Juarez *et al.*, 2011) and the most important crop in this system

*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: noviembre, 2013. Aprobado: febrero, 2014.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 48: 185-197. 2014.

INTRODUCCIÓN

En México la superficie de producción de hortalizas bajo invernadero aumentó de 300 ha a fines de la década de 1990 a más de 10 000 ha en 2010 (Juárez *et al.*, 2011) y el cultivo más importante en este sistema es el jitomate (*Solanum lycopersicum* L.), pero debido a las condiciones de manejo se favorece el establecimiento de patógenos en el suelo después de algunos ciclos de cultivo (Takahashi, 1984). La acumulación de sales es otro factor relacionado con el manejo intensivo del suelo afectando el rendimiento por los cambios en las propiedades químicas y físicas (Liang *et al.*, 2006).

Una alternativa para solucionar estos problemas es la hidroponía o cultivo sin suelo, en el cual las plantas crecen en una solución nutritiva, con o sin un sustrato como medio de soporte (Urrestarazu, 2000), lo cual permite desarrollar el sistema radical de las plantas en completa independencia del suelo. Para que las plantas de jitomate crezcan sin limitantes nutricionales, la solución nutritiva hidropónica debe tener un pH de 5.5 a 6.5, una conductividad eléctrica (CE) de 1.5 a 3.5 dS m⁻¹ y los nutrimentos minerales disociados, en forma iónica, y en proporciones y concentraciones que eviten precipitados y antagonismos (Adams, 2004). La planta modifica el consumo de nutrimentos en función de sus fases de crecimiento y desarrollo, condiciones climáticas (temperatura, intensidad y calidad de luz y humedad relativa), carga de frutos, CE, oxígeno disuelto en la solución nutritiva, flujo de la solución nutritiva y pH (Jones, 2005; Sonneveld y Voogt, 2009). Así, las proporciones y concentraciones de los iones en la rizósfera se modifican, pero aumenta la CE que se corrige con un sobre riego que genere un drenaje de 10 a 40 % (Lieth y Oki, 2008). El sistema hidropónico es abierto cuando la solución drenada no se reutiliza y se permite la infiltración en el sitio o se conduce fuera del invernadero, y es un sistema cerrado si la solución nutritiva se recoge para volverse a usar en el cultivo, previa esterilización y ajuste del pH, CE y nutrimentos.

El agua es un recurso natural cada vez más limitado, por lo cual es necesario buscar sistemas de producción donde su uso sea más eficiente para la producción de alimentos. Asimismo, los fertilizantes son cada vez más caros y representan un porcentaje

es el tomate crop (*Solanum lycopersicum* L.), but due to the management conditions the establishment of pathogens in the soil is promoted after a few crop cycles (Takahashi, 1984). Salt accumulation is another factor associated with intensive land management affecting yield by changes in the chemical and physical properties (Liang *et al.*, 2006).

An alternative to solve these problems is hydroponics or soilless culture, in which plants are grown in a nutrient solution with or without a substrate as a support (Urrestarazu, 2000), which allows to develop the root system of plants in complete independence of the soil. In order to grow tomato plants without limiting nutrients, the hydroponic nutrient solution should have a pH of 5.5 to 6.5, electrical conductivity (EC) of 1.5 to 3.5 dS m⁻¹ and the mineral nutrients dissociated in ionic form and must be in proportions and concentrations to avoid precipitates and antagonisms (Adams, 2004). The plant modifies nutrient intake according to their stages of growth and development, climatic conditions (temperature, light intensity and quality, and relative humidity), fruit load, EC, dissolved oxygen in the nutrient solution, nutrient solution flow and pH (Jones, 2005; Sonneveld and Voogt, 2009). Thus, the proportion and concentration of ions in the rhizosphere is modified, but increases EC which is corrected with overwatering which generates drainage of 10 to 40 % (Oki and Lieth, 2008). The hydroponic system is open when the drained solution is not reused and infiltration is allowed on site or driving outside the greenhouse and it is a closed system if the nutrient solution is collected for reuse in the culture after sterilization and pH, EC and nutrients adjustment.

Water is an increasingly limited natural resource, so it is necessary to seek production systems where its use might be more efficient to food production. In addition, fertilizers are increasingly expensive and represent a significant percentage of the cost of production in hydroponic systems (Huang, 2009). Thus, the closed systems have advantages over the open ones: saving water and fertilizers, lower environmental impact by preventing large amounts of nitrogen, phosphorus and other minerals pollute rivers, lakes, groundwater and seas (Pardossi *et al.*, 2009; Massa *et al.*, 2010; Nakano *et al.*, 2010).

In closed systems there are disadvantages: gradual increase in EC of the nutrient solution over time, imbalance of the nutrient solution and increased

alto del costo de producción en sistemas hidropónicos (Huang, 2009). Así, los sistemas cerrados presentan ventajas respecto a los abiertos: ahorro de agua y fertilizantes, impacto ambiental menor al evitar que grandes cantidades de nitrógeno, fósforo y otros minerales contaminen ríos, lagos, mantos freáticos y mares (Pardossi *et al.*, 2009; Massa *et al.*, 2010; Nakano *et al.*, 2010).

En los sistemas cerrados hay desventajas: incremento gradual de la CE de la solución nutritiva con el paso del tiempo, desbalance de la solución nutritiva y riesgo mayor de dispersar enfermedades que atacan a la raíz por la recirculación de la solución nutritiva en todo el sistema (Tüzel *et al.*, 2009; Massa *et al.*, 2010). El desbalance de la solución nutritiva se genera por un exceso de los iones menos consumidos por la planta (SO_4^{2-} , Ca^{2+} y Mg^{2+}), lo que rompe el equilibrio de nutrimentos y muchas veces aumenta la CE hasta afectar el crecimiento y rendimiento, sobre todo con la presencia de un contenido alto de Na^+ y Cl^- en el agua, obligando a desechar con frecuencia la solución nutritiva (Savvas *et al.*, 2009).

Para minimizar el problema de alta CE se ha propuesto: renovar la solución nutritiva cada vez que alcance un valor de $4.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Dasgan y Ekici, 2005), reponer el agua transpirada con agua simple hasta que la concentración de N-NO_3^- baje a 1.0 mol m^{-3} , compensar el agua transpirada con la solución nutritiva estándar hasta que la CE aumente a 4.5 dS m^{-1} y que la concentración de N-NO_3^- baje a 1.0 mol m^{-3} (Massa *et al.*, 2010), y adicionar todos los nutrimentos con base en el consumo diario estimado previamente (Nakano *et al.*, 2010).

Los estudios en jitomate han utilizado sistemas de producción con cultivares de tipo indeterminado, donde coexisten etapas vegetativas con reproductivas; estas últimas son la más afectadas cuando aumenta la CE. En un sistema cerrado es fundamental mantener una CE correcta durante el ciclo de cultivo, que en el jitomate de crecimiento indeterminado es hasta 11 meses, lo cual puede resultar técnicamente complicado y, debido al ciclo tan largo, las plantas están expuestas a enfermedades por más tiempo. Para que los sistemas cerrados se puedan implementar con mayor probabilidad de éxito y aprovechar sus ventajas, es conveniente buscar formas de manejo sencillas para el productor, sin reducir el rendimiento o la calidad. Una estrategia sería producir con ciclos de

risk of spreading diseases that attack the root by recirculation of the nutrient solution throughout the system (Tüzel *et al.*, 2009; Massa *et al.*, 2010). The imbalance of the nutrient solution is generated by an excess of ions less consumed by plant (SO_4^{2-} , Ca^{2+} and Mg^{2+}), which breaks the nutrient balance and often increases EC to affect the growth and yield, especially with the presence of a high content of Na^+ and Cl^- in water, often forcing to discard frequently the nutrient solution (Savvas *et al.*, 2009).

It has been proposed to minimize the problem of high EC: renew the nutrient solution every time that reaches a value of $4.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Dasgan and Ekici, 2005), replenish the transpired water with plain water until the concentration of N-NO_3^- drops to 1.0 mol m^{-3} , compensate for the transpired water with standard nutrient solution until the EC increase to 4.5 dS m^{-1} and the concentration of N-NO_3^- drops to 1.0 mol m^{-3} (Massa *et al.*, 2010), and add all nutrients based on the previously estimated daily intake (Nakano *et al.*, 2010).

Studies in tomato have used production systems with indeterminate type cultivars, where coexist vegetative with reproductive stages, the latter are more affected when EC increases. In a closed system it is essential to maintain a proper EC during the growing season, which in the tomato of indeterminate growth is up to 11 months, which can be technically complicated and, due to the very long cycle, plants are exposed for a longer time to diseases. In order to implement closed systems with greater probability of success and reap their benefits, it is desirable to find ways of easier handling for the producers, without compromising yield or quality. One strategy would be to produce with shorter growing cycles because the shorter the time from transplanting until the end of harvest, the smaller the increase in EC, nutrient imbalance and the likelihood of disease transmission. At the University of Chapingo a production system was developed in which belated transplants are done (up to 60 d after planting), plant prunings above the third inflorescence, removing side shoots and using high population densities allowing to produce an average of 16 kg m^{-2} in a cycle of 90 d after transplantation at the end of harvest (Ucan *et al.*, 2005; Sánchez *et al.*, 2010). Despite the advantages of this system, such as ease of handling, concentration of crops in high price windows, reduction of diseases and lower

cultivo cortos porque entre más breve sea el tiempo desde trasplante hasta fin de cosecha, el aumento de la CE, el desbalance de nutrimentos y la probabilidad de transmisión de enfermedades se reducen. En la Universidad Autónoma Chapingo se desarrolló un sistema de producción en el cual se hacen trasplantes tardíos (hasta 60 d después de la siembra), después de las plantas por encima de la tercera inflorescencia, eliminando los brotes laterales y usando altas densidades de población que permitan producir un promedio de 16 kg m^{-2} en un ciclo de 90 d de trasplante al final de la cosecha (Ucan *et al.*, 2005; Sánchez *et al.*, 2010). A pesar de las ventajas de este sistema, como facilidad mayor de manejo, concentración de las cosechas en ventanas de precio alto, disminución de enfermedades y costos menores de producción (Sánchez *et al.*, 1999), en México se usa el sistema hidropónico abierto, lo cual implica un porcentaje elevado de los costos de producción en fertilizantes y la eventual contaminación de mantos acuíferos.

Con base en lo anterior, el objetivo del presente estudio fue comparar diferentes sistemas hidropónicos abiertos y cerrados en la producción de jitomate manejado con despunte a tres racimos en alta densidad de población, así como la eficiencia de utilización de agua y fertilizantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en invernadero en la Universidad Autónoma Chapingo, en Chapingo, Estado de México, de abril a agosto de 2010, y se usó el híbrido comercial de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) 'Juan Pablo' tipo saladette de la compañía US Agriseeds, el cual presenta crecimiento indeterminado, excelente vigor y madurez de sus primeros frutos de 70 a 75 d después del trasplante (ddt). Sus frutos presentan hombros redondos y peso promedio de 130 a 135 g con extraordinaria firmeza (www.usagriseeds.com). Para el trasplante se usaron plántulas de 35 d de edad, provenientes de charolas de 200 cavidades, en las que se utilizó turba (peat moss) como sustrato.

Los tratamientos fueron los siguientes:

- 1) Camas sin recirculación de los drenajes (cama abierta), para lo cual se construyeron camas con polietileno negro calibre 1000 ($250 \mu\text{m}$) en el fondo y con tablas de madera en los costados, con dimensiones de 1.9 m de largo por 0.9 m de ancho y 0.3 m de altura. El plástico sobresalió de las camas 30 cm hacia el pasillo formando un canal para recuperar la solución del drenaje. Para rellenar la cama se depositaron

production costs (Sanchez *et al.*, 1999), in Mexico the open hydroponic system is used, which implies a high percentage of production costs in fertilizers and the potential contamination of aquifers. Based on the above, the objective of this study was to compare different open and closed hydroponic systems in the production of tomato handled with pruning at three clusters in a high-density population and water use and fertilizer efficiency.

MATERIALS AND METHODS

This research was conducted in a greenhouse at the University of Chapingo, Chapingo, Estado de Mexico, from April to August 2010, and the commercial tomato hybrid (*Solanum lycopersicum* L.) 'Juan Pablo' saladette type of the company US Agriseeds, was used which has indeterminate growth, excellent vigor and maturity of their first fruits 70 to 75 d after transplanting (dat). Its fruits are square round and have an average weight of 130-135 g with extraordinary firmness (www.usagriseeds.com). For the transplantation we used seedlings of 35 d of age, from trays with 200 cavities where peat moss was used as substrate.

The treatments were:

- 1) Beds without recirculation of drainage (open bed), for which beds were built with black polyethylene 1000 gauge ($250 \mu\text{m}$) in the background and wooden boards on the sides, with dimensions of 1.9 m long by 0.9 m wide and 0.3 m high. Plastic exceeded beds 30 cm into the path forming a channel to recover the drainage solution. To fill the bed 5 cm of volcanic rock gravel (particles of 4 to 8 cm) were deposited in the bottom to facilitate drainage and over 25 cm of red volcanic sand (particles 1 to 3 mm) as a substrate. With a bicolor polyethylene (white with black) the area was mulched. To recover the drainage, in the bottom of the bed the plastic was drilled and led by gravity to a bucket of 19 L. In the drained solution volume, pH and EC, was measured and then removed.
- 2) Beds with recirculation of drainage (closed bed), which were built in the same way that the treatment of closed bed. Each day volume, pH and EC of the drainage solution was measured and lead to a 400 L tank to adjust and recycle it, as shown below.
- 3) Bags without recirculation of drainage (open bag), polythene bags of 15 L capacity color black inside and white outside. The bags were filled with red volcanic sand (particles of 1 to 3 mm) and placed on PVC gutters for collecting the drainage solution. The gutters were placed with a 2 % slope so that

- 5 cm de grava de tezontle (partículas de 4 a 8 cm) en el fondo para facilitar el drenaje y encima 25 cm de arena de tezontle rojo (partículas de 1 a 3 mm) como sustrato. Con un polietileno bicolor (blanco con negro) se acolchó la superficie. Para recuperar el drenaje, en la parte baja de la cama se perforó el plástico y se condujo por gravedad a una cubeta de 19 L. En la solución drenada se midió volumen, pH y CE, y después se eliminó.
- 2) Camas con recirculación de los drenajes (cama cerrada), las cuales se construyeron de la misma manera que el tratamiento de cama cerrada. Cada día se midió volumen, pH y CE de la solución de drenaje y se condujo a un depósito de 400 L para ajustarla y reciclarla, como se indica más adelante.
 - 3) Bolsas sin recirculación de los drenajes (bolsa abierta), bolsas de polietileno de 15 L de capacidad de color negro por dentro y blanco por fuera. Las bolsas se llenaron con arena de tezontle rojo (partículas de 1 a 3 mm) y se colocaron sobre canaletas de PVC para recolectar la solución de drenaje. Las canaletas se colocaron con una pendiente del 2 % para que el drenaje de la bolsa se dirigiera hacia una cubeta de 19 L donde se midió diariamente volumen, pH y CE.
 - 4) Bolsas con recirculación de los drenajes (bolsa cerrada), las bolsas se colocaron y usaron igual que en el tratamiento de bolsa cerrada. Cada día se midió volumen, pH y CE de la solución nutritiva recolectada y se condujo a un depósito de 400 L para ajustarla y reciclarla, como se indica más adelante.
 - 5) Hidroponía profunda (HP). Las camas se forraron completamente con polietileno calibre 1000 para contener 400 L de solución nutritiva y encima flotaba una placa de poliestireno expandido. El interior del cajón se cubrió con plástico negro calibre 1000. El nivel máximo de la solución nutritiva se marcó y se hizo un orificio a esa altura para que, al reponer el agua, el volumen fuera constante. La solución nutritiva de cada tina se oxigenaba con dos bombas de aire marca Resum[®], AC-9602. En el momento del trasplante las plántulas se pusieron dentro de vasos de plástico perforados para que sólo las raíces quedaran sumergidas. El agua traspirada por las plantas se restablecía al final de cada día. El pH y la CE se midió diariamente.

El diseño experimental fue bloques completos al azar con cinco repeticiones. La unidad experimental fue de 1.7 m² (1.9×0.9 m) donde 18 plantas estaban distribuidas en tres hileras (30 cm entre plantas y 30 cm entre hileras). Cada tratamiento de cama y bolsa cerrada era abastecida con solución nutritiva por su propio tinaco de 1000 L mientras que los tratamientos de cama y bolsa abierta compartían un solo tinaco. Para cada tratamiento se usó una bomba de ½ HP (Dica[®] modelo BPHP:50), un temporizador STEREN[®] modelo TEMP-08E, un filtro de

the drainage bag is directed towards a bucket of 19 L where volume, pH and EC were measured daily.

- 4) Bags with recirculation of drains (closed bag), the bags were placed and used as in the treatment of closed bag. Each day volume, pH and EC of the collected nutrient solution were measured and led to 400 L tank to adjust and recycle it, as shown later.
- 5) Deep hydroponics (DH). The beds were fully sheathed with polyethylene 1000 gauge to contain 400 L of nutrient solution and above floated a plate of expanded polystyrene. The interior of the box was covered with black plastic 1000 gauge. The maximum level of the nutrient solution was marked and a hole was made at that point to replenish the water so the volume was constant. The nutrient solution of each tub was oxygenated with two air pumps Resum[®], AC-9602. At the time of transplant the seedlings were placed in perforated plastic cups so that only the roots were submerged. The water transpired by plants was restored at the end of each day. EC and pH were measured daily.

The experimental design was a completely randomized blocks design with five replications. The experimental unit was 1.7 m² (1.9×0.9 m) where 18 plants were distributed in three rows (30 cm between plants and 30 cm between rows). Each treatment of closed bed and bag was supplied with nutrient solution by its own water tank of 1000 L while treatments of open bed and bag shared only a tank. For each treatment a ½ HP pump (Dica[®] model BPHP:50), a timer STEREN[®] model TEMP-08E, a filter of rings (Irritec[®]) of 120 mesh, a flow meter Dorot 19 mm diameter, 1" pipe and an irrigation tape with integrated drip with spending of 1L h⁻¹ were used.

In open and closed systems it was measured daily the volume of nutrient solution supplied with the flow meter and the amount of nutrient solution drained and collected in buckets. EC and pH were also determined with a portable meter (Hanna model HI 98130), in the HP system the amount of supplied water, pH and EC were also measured.

At 39, 46, 57, 63, 70, 78, 89, 97 and 106 dat, intervals in which about 400 L of drained solution was accumulated, samples of each water tank and HP system were taken to analyze the content of N, P, K, and Ca. For K, Ca and N-NO₃ an electrode of selective ion was used (Thermo Scientific[®] Orion 4 Star model), and for P it was used the colorimetric technique by the molybdovanadate method (Chapman and Pratt, 1973).

In closed systems with substrate the nutrient solution passed through a mesh filter (80 mesh) and then was disinfected with a UV lamp with a capacity of 25 watts and 22.71 L min⁻¹ (Philips brand) and poured to the water tank of 1000 L, according with the treatment (closed bag or closed bed). Once in the water tank missing elements were replenished trying to

anillos (Irritec®) de 120 mesh, un medidor de flujo marca Dorot de 19 mm de diámetro, tubería de 1" y cinta de riego con gotero integrado con gasto de 1 L h⁻¹.

En los sistemas abiertos y cerrados se midió cada día el volumen de solución nutritiva aportada con el medidor de flujo, así como la cantidad de solución nutritiva drenada y colectada en las cubetas. También se determinó el pH y CE con un medidor portátil (Hanna, modelo HI 98130); en el sistema de HP también se medía la cantidad de agua aportada, pH y CE.

A los 39, 46, 57, 63, 70, 78, 89, 97 y 106 ddt, intervalos en los que se acumulaban cerca de 400 L de solución drenada, se tomaron muestras de cada tinaco y muestras del sistema de HP, para analizar el contenido de N, P, K, y Ca. Para K, Ca y N-NO₃⁻ se utilizó un electrodo de ion selectivo (Thermo Scientific®, modelo Orion 4 Star), y para P la técnica colorimétrica por el método de molibdovanadato (Chapman y Pratt, 1973).

En los sistemas cerrados con sustrato la solución nutritiva pasaba por un filtro de mallas (80 mesh) y después se desinfectaba con una lámpara UV con capacidad de 25 watts y 22.71 L min⁻¹ (marca Philips) y se vertía al tinaco de 1000 L, de acuerdo con el tratamiento (bolsa cerrada o cama cerrada). Una vez en el tinaco se reponían los elementos faltantes procurando alcanzar la concentración de la solución inicial. La solución ajustada se aforaba a 1000 L (capacidad de los tinacos) con la solución nutritiva normal. En las tinas de HP la solución nutritiva se ajustaba individualmente en cada repetición agregando agua simple o, de ser necesario, reponiendo los elementos minerales faltantes.

La composición de la solución nutritiva inicial (mg L⁻¹) fue: N 200, P 60, K 250, Ca 200, Mg 60, S 200, Fe 1, Mn 0.7, B 0.5, Cu 0.01 y Zn 0.01 (Sánchez *et al.*, 2009). Como fuentes se usaron los siguientes fertilizantes comerciales: nitrato de calcio, nitrato de potasio, sulfato de potasio, ácido fosfórico al 85 %, sulfato de magnesio, sulfato de amonio, quelato de hierro (Fe-EDTA), sulfato de manganeso, tetraborato de sodio, sulfato de cobre y sulfato de zinc. El volumen de riego aplicado dependía de las condiciones climáticas y la etapa fenológica del cultivo, y se procuraba un drenaje de 20 a 30 % de lo aplicado.

La densidad fue 6.5 plantas m⁻² y las plantas fueron tutoradas con rafia amarrada a un alambre sostenido de la estructura superior del invernadero. En todos los sistemas las plantas fueron despuntadas (remoción de la yema terminal del tallo principal) a los 36 ddt, dos hojas por encima de la tercera inflorescencia. Los cortes de fruto fueron cinco, el primero a los 87 ddt y el último a los 114 ddt.

Las variables morfológicas medidas a los 25, 36, 51 y 92 ddt fueron: altura de la planta (cm), grosor del tallo (cm) a la altura del sexto entrenudo usando un vernier digital, índice de área foliar (m² m⁻²) calculado a partir de la integración del área foliar (AF) de cada planta por m² cubierto por el cultivo usando un

reach the concentration of the initial solution. The adjusted solution was appraised to 1000 L (capacity of water tanks) with normal nutrient solution. In the HP tubs nutrient solution was adjusted individually for each repetition adding plain water or, if necessary, replacing the missing minerals.

The composition of the initial nutrient solution (mg L⁻¹) was: N 200, P 60, K 250, Ca 200, Mg 60, S 200, Fe 1, Mn 0.7, B 0.5, Cu 0.01 and Zn 0.01 (Sánchez *et al.*, 2009). As sources the following commercial fertilizers were used: calcium nitrate, potassium nitrate, potassium sulfate, 85 % phosphoric acid, magnesium sulfate, ammonium sulfate, iron chelate (Fe-EDTA), manganese sulfate, sodium tetraborate, copper sulfate and zinc sulfate. The volume of applied irrigation depended on weather conditions and the phenological stage of the crop, and it was sought a drainage of 20 to 30 % of that applied.

The density was 6.5 plants m⁻² and the plants were staked with raffia tied to a wire held from the upper structure of the greenhouse. In all systems, plants were topped (removing the terminal bud of the main stem) at 36 dat, two leaves above the third inflorescence. There were five pickings of fruits, the first at 87 dat and the last 114 dat.

Morphological traits measured at 25, 36, 51 and 92 dat were: plant height (cm), stem thickness (cm) at the height of the sixth internode using a digital vernier, leaf area index (m² m⁻²) calculated from the integration of leaf area (LA) of each plant per m² covered by the crop using an integrator of LA (LICOR-300 Lincoln, Nebraska) and dry biomass per plant (g) calculated from samples of two plants per replication, which were dried in an oven at 70 °C to constant weight. At the end of the cycle the total yield (kg), number of fruits per unit area (sum of five picks) and the average fruit weight (g) were measured.

With the data an ANOVA was performed and a comparison of means was carried out using Tukey test (p ≤ 0.05).

In addition the water consumption and saving and N, P, K and Ca were evaluated. Water consumption (L) was calculated using data recorded with the flow meter and the volume of drainage collected in each system. In the HP system the restored volume of water was used. Nutrient intake (g) was determined by chemical analyzes to drains 39, 46, 57, 63, 70, 78, 89, 97 and 106 dat. Due to the form of collection of samples, statistical tests for water consumption and saving and mineral nutrients were not made.

RESULTS AND DISCUSSION

Morphological traits

At 25 dat plant height was significantly higher in the HP treatment from the closed bag (Table 1);

integrador de AF (LICOR-300 Lincon, Nebraska) y biomasa seca por planta (g) calculada a partir de muestreos de dos plantas por repetición, que se secaron en estufa a 70 °C hasta peso constante. Al final del ciclo se midió el rendimiento total (kg), número de frutos por unidad de superficie (suma de cinco cortes) y el peso medio de fruto (g).

Con los datos se realizó un ANDEVA y una prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$).

Además se evaluó el consumo y ahorro de agua y de N, P, K, y Ca. El consumo de agua (L) se calculó con los datos registrados con el medidor de flujo y el volumen de drenaje recolectado en cada sistema. En el sistema de HP se usó el volumen de agua restablecido. El consumo de nutrientes (g) se determinó con los análisis químicos realizados a los drenajes a 39, 46, 57, 63, 70, 78, 89, 97 y 106 ddt. Debido a la forma de recolección de las muestras, no se efectuaron pruebas estadísticas para el consumo y ahorro de agua y nutrimentos minerales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracteres morfológicos

A los 25 ddt la altura de planta fue significativamente mayor en el tratamiento HP respecto al de bolsa cerrada (Cuadro 1); también en HP el diámetro

also in HP stem diameter was statistically higher than treatments of open bed and closed bed. In leaf area index and dry weight (Table 2) there were differences between treatments at 25 and 36 dat, the highest corresponded to the first measurement, where the values were higher for the HP system ($p \leq 0.05$) than other treatments, while at 36 dat there were only significant differences between deep hydroponics and open bag system.

In subsequent measurements there were no differences between treatments ($p \leq 0.05$). Probably in the first days after transplanting the roots were more easily adapted to the HP system, because the temperature in the root system was more uniform and constant (21-24 °C) than in the bags and above all, in beds temperatures were higher and came to exceed 30 °C. Chong and Ito (1982) studied temperatures of the nutrient solution in a NFT system (nutrient film technique) and observed that root growth and aerial parts in tomato plants was favored at 25 °C, which is similar to those reported by Ikeda and Osawa (1988). The initial differences in growth diminished over time, when the plants formed new roots and the canopy was sufficient to cause shadow on the substrate, reducing the temperatures in the root.

Cuadro 1. Altura de la planta y diámetro del tallo de plantas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) manejadas con cinco sistemas hidropónicos.

Table 1. Plant height and stem diameter of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants managed with five hydroponic systems.

Tratamiento	Días después del trasplante			
	25	36	51	92
	Altura de planta (cm)			
Cama abierta	64.0 ab	86.0 a	86.0 a	89.0 a
Bolsa abierta	63.4 ab	84.2 a	88.4 a	88.0 a
Cama cerrada	63.3 ab	84.7 a	88.9 a	89.0 a
Bolsa cerrada	62.7 b	87.8 a	91.9 a	92.0 a
Hidroponía profunda	65.2 a	87.4 a	92.4 a	92.0 a
DMS	2.4	7.3	8.1	9.1
	Diámetro de tallo (cm)			
Cama abierta	1.04 b	1.20 a	1.25 a	1.21 a
Bolsa abierta	1.08 ab	1.20 a	1.31 a	1.33 a
Cama cerrada	1.05 b	1.24 a	1.26 a	1.32 a
Bolsa cerrada	1.07 ab	1.31 a	1.27 a	1.25 a
Hidroponía profunda	1.17 a	1.31 a	1.34 a	1.40 a
DMS	0.10	0.21	0.19	0.21

Valores con diferente letra en una columna son significativamente diferentes (Tukey; $p \leq 0.05$). DMS: Diferencia mínima significativa ❖ Values with different letter in a column are significantly different (Tukey, $p \leq 0.05$). MSD: Minimum significant difference.

de tallo fue estadísticamente superior a los tratamientos de cama abierta y cama cerrada. En el índice de AF y peso seco (Cuadro 2) hubo diferencias entre tratamientos a los 25 y 36 ddt, las mayores correspondieron a la primera medición, con los valores mayores en el sistema de HP ($p \leq 0.05$) al resto de los tratamientos, mientras que a los 36 ddt sólo hubo diferencias significativas entre hidroponía profunda y el sistema de bolsa abierta.

En mediciones posteriores no hubo diferencias entre tratamientos ($p \leq 0.05$). Probablemente en los primeros días después del trasplante las raíces se adaptaron con mayor facilidad al sistema de HP, ya que la temperatura en el sistema radical fue más uniforme y constante (21 a 24 °C) que en las bolsas y, sobre todo, en las camas las temperaturas fueron más altas y llegaron a sobrepasar 30 °C. Chong e Ito (1982) estudiaron temperaturas de la solución nutritiva en un sistema NFT (nutrient film technique) y observaron que el crecimiento radical y parte aérea en plantas de tomate fue favorecido con 25 °C, lo cual es similar a lo señalado por Ikeda y Osawa (1988). Las diferencias iniciales del crecimiento disminuyeron con el tiempo, una vez que las plantas formaron nuevas raíces y el dosel fue suficiente para

With the increase in EC (about 6 dS m⁻¹) near the end of the growing cycle in systems of closed bag and bed, a negative effect would be expected on growth (Savvas *et al.*, 2009) but it was not so, this indicates that when handling short crop cycles, salinity does not reach critical levels as those reported with closed systems of a long cultivation cycle (Tüzel *et al.*, 2009; Massa *et al.*, 2010).

Yield and components

The yield per unit area in tomato is determined by weight and number of harvested fruit. Except bag system without recirculation, the HP system had statistically better yield than the other systems (Table 3). The difference in yield between bags with and without recirculation was not significant, nor was between beds with and without recirculation which coincides with the observations of Oztekin *et al.* (2008) and Nakano *et al.* (2010), but differs from those of Pardossi *et al.* (2009), who reported that a high salinity in the recirculation system reduces yield. In this study there were high levels of salinity (6 dS m⁻¹) with bed and bag systems with recirculation, but only at the stage of harvest

Cuadro 2. Índice de área foliar y peso seco de planta de plantas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) manejadas con cinco sistemas hidropónicos.

Table 2. Leaf area index and plant dry weight of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants conducted with five hydroponic systems.

Tratamiento	Días después del trasplante			
	25	36	51	92
	Índice de área foliar (m ² m ⁻²)			
Cama abierta	2.0 b	4.7 ab	5.7 a	5.9 a
Bolsa abierta	1.7 b	3.8 b	5.6 a	5.7 a
Cama cerrada	1.9 b	4.7 ab	5.7 a	5.8 a
Bolsa cerrada	1.9 b	4.6 ab	5.7 a	5.8 a
Hidroponía profunda	2.6 a	5.4 a	5.9 a	6.0 a
DMS	0.4	1.4	1.2	1.3
	Peso seco de planta (g)			
Cama abierta	15.6 b	49.5 ab	98.7 a	248.8 a
Bolsa abierta	14.0 b	42.5 b	103.8 a	223.6 a
Cama cerrada	16.6 b	49.3 ab	94.8 a	243.3 a
Bolsa cerrada	15.0 b	49.0 ab	92.8 a	224.6 a
Hidroponía profunda	22.0 a	60.4 a	112.7 a	244.7 a
DMS	3.4	14.9	34.4	75.6

Valores con diferente letra en una columna son significativamente diferentes (Tukey; $p \leq 0.05$). DMS: Diferencia mínima significativa ❖ Values with different letter in a column are significantly different (Tukey; $p \leq 0.05$). MSD: Minimum significant difference.

ocasionar sombra sobre el sustrato, reduciendo las temperaturas en la raíz.

Con el aumento de la CE (alrededor de 6 dS m⁻¹) al acercarse el final del ciclo de cultivo en los sistemas de bolsa y cama cerrada, se esperaría un efecto negativo en el crecimiento (Savvas *et al.*, 2009), pero no fue así, lo que indica que al manejar ciclos cortos, la salinidad no alcanza niveles críticos como los reportados con los sistemas cerrados de ciclo de cultivo largo (Tüzel *et al.*, 2009; Massa *et al.*, 2010).

Rendimiento y sus componentes

El rendimiento por unidad de superficie en jitomate está determinado por el peso y número de los frutos cosechados. Con excepción del sistema de bolsa sin recirculación, el sistema de HP tuvo estadísticamente mayor rendimiento que los demás sistemas de producción (Cuadro 3). La diferencia del rendimiento entre bolsas con y sin recirculación no fue significativa, tampoco lo fue entre camas con y sin recirculación lo cual coincide con lo observado por Oztekin *et al.* (2008) y Nakano *et al.* (2010), pero difiere de los resultados de Pardossi *et al.* (2009), quienes reportaron que la salinidad alta en el sistema con recirculación reduce el rendimiento. En el presente estudio hubo niveles elevados de salinidad (6 dS m⁻¹) con los sistemas de cama y bolsa con recirculación, pero sólo en la etapa de cosecha (106 ddt), cuando ya no había crecimiento vegetativo ni reproductivo. En el tercer racimo la mayoría de los frutos ya estaban madurando lo cual redujo la posibilidad de afectar la producción; es decir, lo corto del

(106 dat), when there was no vegetative or reproductive growth. In the third cluster most of the fruits were already maturing which reduced the possibility of affecting the production, *i.e.*, the shortness of the growing season allowed the escape of negative effects of salinity.

Since the average fruit weight was similar for all treatments, the difference in yield between HP and beds (closed and open) was due to the fact that in the first one there were more fruits per unit area (Table 3), which could be explained by a more stable environment in the rhizosphere with HP. In contrast, in bed systems there was greater fluctuation in temperature, EC and moisture content and nutrient at the root level, especially in the periods between successive irrigations, due to the increased surface of substrate exposed to evapotranspiration and which could cause stress in plants (Dasgan and Ekici, 2005; Liang *et al.*, 2006).

Whereas the crop cycle of transplant at the end of harvest was completed in 114 d, it is possible to achieve three production cycles per year, which represents an annual potential yield close to 500 t ha⁻¹ year⁻¹, which is carried out by the Dutch producers (Resh, 2001) with sophisticated difficult technology and with a higher production cost than those systems proposed here.

Water use and nutrients efficiency

Water and nutrient saving, without reduction in yield and without increasing production costs,

Cuadro 3. Rendimiento por unidad de superficie (kg m⁻²) y sus componentes, en jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado en diferentes sistemas hidropónicos.

Table 3. Yield per unit area (kg m⁻²) and its components in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) grown in different hydroponic systems.

Tratamiento	Rendimiento (kg m ⁻²)	Frutos m ⁻²	Peso medio de fruto (g)
Cama abierta	13.0 c	115.9 b	112.4 a
Cama cerrada	13.9 bc	122.4 b	113.2 a
Bolsa abierta	14.4 bc	127.3 ab	113.1 a
Bolsa cerrada	15.3 ab	140.1 ab	109.0 a
Hidroponía profunda	16.7 a	142.1 a	117.6 a
DMS	2.1	15.8	11.1

Valores con diferente letra en una columna son significativamente diferentes (Tukey; p≤0.05). DMS: Diferencia mínima significativa ❖ Values with different letter in a column are significantly different (Tukey, p≤0.05). MSD: Minimum significant difference.

ciclo de cultivo permitió escapar a los efectos negativos de la salinidad.

Dado que el peso medio de fruto fue similar para todos los tratamientos, la diferencia del rendimiento entre HP y camas (cerrada y abierta) se debió a que en el primero hubo más frutos por unidad de superficie (Cuadro 3), lo que podría explicarse por un ambiente más estable en la rizósfera con HP. En cambio, en los sistemas de cama hubo fluctuación mayor de la temperatura, CE y contenido de humedad y nutrimentos en la zona de la raíz, sobre todo en los periodos entre riegos sucesivos, debido a la superficie mayor del sustrato expuesta a la evapotranspiración y que pudo provocar estrés en las plantas (Dasgan y Ekici, 2005; Liang *et al.*, 2006).

Considerando que el ciclo de cultivo del trasplante al final de la cosecha se completó en 114 d, es posible lograr tres ciclos de cultivo al año, lo que representa un rendimiento potencial anual cercano a las 500 t ha⁻¹ año⁻¹, lo cual realizan los productores holandeses (Resh, 2001) con tecnología sofisticada, difícil y con un costo de producción más elevado que el de los sistemas aquí propuestos.

Uso y eficiencia de agua y nutrimentos

El ahorro de agua y nutrimentos, sin disminución del rendimiento y sin incrementar costos de producción, es importante para el productor, además de reducir las descargas de fertilizantes al ambiente. El uso de nutrientes en cama sin recirculación de los drenajes respecto a la cama con recirculación se redujo 46, 30, 27 y 38 % para N, P, K y Ca, respectivamente, mientras que en bolsa cerrada respecto a bolsa abierta fue 52, 40, 48 y 52 % menor (Cuadros 4 y 5). Dasgan y Ekici (2005) y Parra *et al.* (2009) reportan ahorros altos de fertilizantes cuando se recircula la solución nutritiva, pero señalan reducción del rendimiento, y Pellicer *et al.* (2007) y Oztekin *et al.* (2008) indican que el rendimiento no cambia.

El sistema HP condujo al rendimiento mayor por unidad de superficie, aunque estadísticamente fue similar ($p > 0.05$) al de la bolsa cerrada, fue más difícil de manejar que los otros sistemas y no ahorró la cantidad calculada de fertilizante porque al final del ciclo la solución nutritiva remanente estaba desequilibrada y con una CE elevada (4.3 dS m⁻¹); esto limitó su uso para otro ciclo de cultivo. Del total aplicado en

is important for the producer, as well as reducing fertilizer discharges to the environment. The use of nutrients in bed without recirculation of the drainages with respect to bed with recirculation was reduced 46, 30, 27 and 38 % for N, P, K and Ca, respectively; while in closed bag with respect to open bag was 52, 40, 48 and 52 % lower (Tables 4 and 5). Dasgan and Ekici (2005) and Parra *et al.* (2009) report significant savings in fertilizer when the nutrient solution is recirculated but point out reduction in the yield, while Pellicer *et al.* (2007) and Oztekin *et al.* (2008) indicate that the yield does not change.

The HP system gave the highest yield per unit area, but was statistically similar ($p > 0.05$) to the closed bag, it was more difficult to handle than other systems and the calculated amount of fertilizer was not saved because at the end of the cycle the remnant nutrient solution was unbalanced and with a high EC (4.3 dS m⁻¹); this limited its use for other growing cycle. Of the total applied to the HP system, the cultivar used 62 % N, 54 % P, 74 % K and 80 % Ca and the remainder would be discarded at the end of the cycle; nevertheless, the savings were 20.4, 48.1, 25.0 and 31.7 % with respect to the bed system without recirculation (Tables 4 and 5).

The efficiencies in grams of fruit produced (fresh weight) per g of nutrient applied of the closed system (bed or bag) was approximately twice than open system (Tables 4 and 5). Also the HP system was more efficient in the use of nutrients than the open bed and this efficiency is translated into less fertilizer costs and is favorable for producer.

Water consumption by the crop (evapotranspiration) during the production cycle varied from a maximum of 471.6 L m⁻² for the depth hydroponics system to a minimum of 428.4 L m⁻² for the open bed (Table 6).

Closed systems in substrate with respect to their open controls presented water savings of 32.6 % in bed and 35.8 % in bag. In HP, a 78 % of water used was re-utilized remaining 22 % in the tank at the end of the cycle. The solution discarded in closed systems with substrate was low (Table 6), since only the solution of the drainage of the last days was missed which was not recirculated. In HP, at the end of the cycle remained 133.2 L m⁻² (22 % of total expenditure).

Cuadro 4. Uso y eficiencia de nitrógeno y fósforo aplicados a plantas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivadas en diferentes sistemas hidropónicos.
Table 4. Use and efficiency of nitrogen and phosphorus applied to tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants grown in different hydroponic systems.

Tratamiento	Aplicado (g m ⁻²)	Desechado (g m ⁻²) [†]	Consumo aparente (g m ⁻²) [‡]	Ahorro (%) [§]	Eficiencia (g g ⁻¹) ^p
Nitrógeno					
Cama abierta	110.4	48.2	62.2	-	117.8
Cama cerrada	59.3	7.2	52.1	46.2	234.4
Bolsa abierta	116.9	46.2	70.7	-	123.2
Bolsa cerrada	55.6	9.5	46.1	52.4	275.2
Hidroponía profunda	87.9	33.3	54.6	20.4	190.0
Fósforo					
Cama abierta	44.5	19.4	25.1	-	292.1
Cama cerrada	31.0	1.2	29.8	30.4	448.4
Bolsa abierta	47.2	18.6	28.6	-	305.1
Bolsa cerrada	28.1	1.8	26.3	40.4	544.5
Hidroponía profunda	23.1	10.5	12.6	48.1	722.9

[†]Valores calculados con el porcentaje de la solución drenada y desechada. [‡]Aplicado – desechado. [§]Con respecto al mismo sistema, pero abierto; para el caso de hidroponía profunda el ahorro es respecto al sistema de cama abierta; ^pgramos de fruto obtenido (peso fresco) por gramo de fertilizante aplicado ❖ [†]Values calculated by percentage of the solution drained and discarded. [‡]Applied – discarded. [§]With respect to the same system, but open, in the case of deep hydroponics saving is with respect to the open bed system; ^pgrams of fruit obtained (fresh weight) per gram of fertilizer applied.

Cuadro 5. Uso y eficiencia de potasio y calcio aplicados en plantas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivadas en diferentes sistemas hidropónicos.
Table 5. Potassium and calcium use and efficiency applied to tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants grown in different hydroponic systems.

Tratamiento	Aplicado (g m ⁻²)	Desechado (g m ⁻²) [†]	Consumo aparente (g m ⁻²) [‡]	Ahorro (%) [§]	Eficiencia (g g ⁻¹) ^p
Potasio					
Cama abierta	185.5	81.0	104.5	-	70.1
Cama cerrada	135.0	6.1	128.9	27.2	103.0
Bolsa abierta	196.5	77.7	118.8	-	73.3
Bolsa cerrada	101.8	9.5	92.3	48.8	150.3
Hidroponía profunda	139.1	36.2	102.9	25.0	120.1
Calcio					
Cama abierta	151.7	66.2	85.5	-	85.7
Cama cerrada	93.3	1.7	91.6	38.5	149.0
Bolsa abierta	160.6	63.5	97.1	-	89.7
Bolsa cerrada	82.6	3.8	78.8	48.6	185.2
Hidroponía profunda	103.6	19.9	83.7	31.7	161.2

[†]Valores estimados con el porcentaje de la solución drenada y desechada. [‡]Aplicado – desechado. [§]Con respecto al mismo sistema, pero abierto; para el caso de hidroponía profunda el ahorro es respecto al sistema de cama abierta; ^pgramos de fruto obtenido (peso fresco) por gramo de fertilizante aplicado ❖ [†]Values estimated by percentage of the solution drained and discarded. [‡]Applied – discarded. [§]With respect to the same system, but open, in the case of deep hydroponics saving is with respect to the open bed system; ^pgrams of fruit obtained (fresh weight) per gram of fertilizer applied.

el sistema HP, el cultivo utilizó 62 % de N, 54 % de P, 74 % de K y 80 % de Ca, y el resto se desecharía al final del ciclo; a pesar de ello, los ahorros fueron 20.4, 48.1, 25.0 y 31.7 % respecto al sistema de cama sin recirculación (Cuadros 4 y 5).

La eficiencia en gramos de fruto producido (en peso fresco) por g de nutrimento aplicado del sistema cerrado (cama o bolsa) fue aproximadamente el doble que la del sistema abierto (Cuadros 4 y 5). También el sistema HP fue más eficiente en el uso de nutrimentos que el de cama abierta y esta eficiencia se traduce en menos costos por fertilizantes, y es favorable para el productor.

El consumo de agua por el cultivo (evapotranspiración) durante el ciclo de producción varió de un máximo de 471.6 L m⁻² en el sistema de hidroponía profunda a un mínimo 428.4 L m⁻² en el de cama abierta (Cuadro 6).

Los sistemas cerrados en sustrato con respecto a sus testigos abiertos, presentaron ahorros de agua de 32.6 % en cama y 35.8 % en bolsa. En HP se aprovechó 78 % del agua utilizada quedando 22 % en la tina al final del ciclo. La solución desechada en los sistemas cerrados con sustrato fue mínima (Cuadro 6), pues sólo se desperdició la del drenaje de los últimos días que ya no se recirculó. En HP, al final del ciclo quedaron 133.2 L m⁻² (22 % del gasto total).

Como consecuencia de la reutilización de la solución nutritiva, los sistemas cerrados fueron más eficientes en el uso de agua, con 27.1, 27.6 y 30.4 g de fruto producidos por L de agua usada en cama cerrada, HP y bolsa cerrada (Cuadro 4), lo cual coincide con lo reportado por Parra *et al.* (2009).

As a consequence of the reuse of the nutrition solution, the closed systems were more efficient in use of water, with 27.1, 27.6, and 30.4 g of fruit produced per L of water used in closed bed, HP and closed bag (Table 4), which agrees with that reported by Parra *et al.* (2009).

CONCLUSIONS

The plant growth and fruit yield were similar between systems with and without recirculation of the nutrient solution; even with deep hydroponics yield was greater per unit area compared to open systems without recirculation, meaning that with a tomato crop handling based on short cycles, it is possible to recirculate the nutrient solution without affecting yield and with a higher saving than 30 % in water and 40 % in nutrients compared to systems without recirculation. The bag system with recirculation was easier to handle compared to deep hydroponics, so that to have a substrate locally would be preferred to be used by the producer.

—End of the English version—



CONCLUSIONES

El crecimiento de las plantas y el rendimiento de fruto fueron similares entre los sistemas con y sin recirculación de la solución nutritiva; incluso, con la hidroponía profunda el rendimiento fue mayor por

Cuadro 6. Uso y eficiencia del agua en plantas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivadas en diferentes sistemas hidropónicos.

Table 6. Water use and efficiency in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants grown in different hydroponic systems.

Tratamiento	Volumen aplicado (L)	Volumen desechado (L) [†]	Consumo del cultivo (L) [‡]	Ahorro (%) [§]	Eficiencia (g L ⁻¹) [¶]
Cama abierta	760	331	428	-	17.1
Cama cerrada	512	56	457	32.6	27.1
Bolsa abierta	782	309	473	-	18.5
Bolsa cerrada	501	47	455	35.8	30.4
Hidroponía profunda	605	133	472	20.4	27.6

[†]Valores estimados con el porcentaje de la solución drenada y desechada. [‡]Aplicado – desechado. [§]Con respecto al mismo sistema, pero abierto; para el caso de hidroponía profunda el ahorro es respecto al sistema de cama abierta. [¶]gramos de fruto obtenido (peso fresco) por litro de agua aplicado. [†]Values estimated by percentage of the solution drained and discarded. [‡]Applied – discarded. [§]With respect to the same system, but open; in the case of deep hydroponics saving is with respect to the open bed system. [¶]Grams of fruit obtained (fresh weight) per liter of water applied.

unidad de superficie respecto a los sistemas abiertos sin recirculación, lo que significa que con un manejo del cultivo de jitomate basado en ciclos cortos, es posible recircular la solución nutritiva sin afectar el rendimiento y con un ahorro mayor a 30 % de agua y a 40 % de nutrientes comparado con los sistemas sin recirculación. El sistema de bolsa con recirculación fue más fácil de manejar respecto al de hidroponía profunda, por lo que de disponer de un sustrato localmente, sería preferible para su uso por el productor.

LITERATURA CITADA

- Adams, P. 2004. Aspectos de la nutrición mineral en cultivos sin suelo en relación al suelo. *In*: Urrestarazu, G. M. (ed). Tratado de Cultivo sin Suelo. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. pp: 81-111.
- Chapman, H. D., y P. E. Pratt. 1973. Métodos de Análisis para Suelos, Plantas y Agua. Trillas. México, D. F. 195 p.
- Chong, P. K., and T. Ito. 1982. Growth, fruit yield and nutrient absorption of tomato plant as influenced by solution temperature in nutrient film technique. *J. Jap. Soc. Hort. Sci.* 51: 44-50.
- Dasgan, H. Y., and B. Ekici. 2005. Comparison of open and recycling systems for ion accumulation of substrate, nutrient uptake and water and water use of tomato plants. *Acta Hort.* 697: 399-408.
- 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.
- Ikeda, H., and T. Osawa. 1988. The effects of NO₃/NH₄ ratios and temperature of nutrient solution on growth, yield and blossom-end rot incidence in tomato. *J. Jap. Soc. Hort. Sci.* 57: 62-69.
- Jones, J. B. 2005. The plant root: its roles and functions. *In*: Jones, J. B. (ed). Hydroponics: A Practical Guide for the Soiless Grower. CRS PRESS. USA. pp: 19-28.
- Juárez, L. P.; M. R. Bugarín; B. R. Castro; M. A. L. Sánchez; C. E. Cruz; R. C. R. Juárez; S. G. Alejo y M. R. Balois. 2011. Estructuras utilizadas en la agricultura protegida. *Revista Fuente* 3: 1-7.
- Liang, W., Y. Jiang, and Y. Zhang. 2006. Accumulation of soil soluble salt in vegetable greenhouses under heavy application of fertilizers. *Agric. J.* 1: 123-127.
- Lieth, J. H., and L. R. Oki. 2008. Irrigation in soilless production. *In*: Raviv, M., and J. H. Lieth (eds). Soilless Culture: Theory and Practice. ELSEVIER. USA. pp: 117-156.
- Massa, D., L. Incrocci, R. Maggini, G. Carmassi, C. A. Campiotti, and 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.
- Nakano, Y., H. Sasaki, A. Nakano, K. Suzuki, and M. Takaichi. 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.
- Oztekin, G. B., Y. Tüzel, I. H. Tüzel, and K. M. Meric. 2008. Effects of EC levels of nutrient solution on tomato crop in open and closed systems. *Acta Hort.* 801: 1243-1250.
- Pardossi, A., L. Incrocci, D. Massa, G. Carmassi, and R. Maggini. 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., V. Raya, M. C. Cid, and J. Haroun. 2009. Alternative to tomato soilless culture in open system in the Canary Islands: preliminary results. *Acta Hort.* 807: 509-514.
- Pellicer, C., A. Paredes, A. Abadía, A. Pérez, L. Rincón, and E. Balsalobre. 2007. Balance de micronutrientes en un cultivo de pimiento sobre sustrato perlita con reutilización de las diluciones lixiviadas. XI Congreso SECH. Actas de Horticultura 48. Sociedad Española de Ciencias Hortícolas 473: 476.
- Resh, H. M. 2001. Cultivos Hidropónicos. Mundi-Prensa. Madrid, España. 558 p.
- Sánchez, C. F., P. E. C. Moreno, R. R. Coatzín, L. M. T. Colinas, y L. A. Peña. 2010. Evaluación agronómica y fisiotécnica de cuatro sistemas de producción en dos híbridos de jitomate. *Rev. Chapingo Serie Hort.* 16: 207-214.
- Sánchez, C. F., C. J. Ortiz, C. C. Mendoza, H. V. A. González, y L. M. T. Colinas. 1999. Características morfológicas asociadas con un arquetipo de jitomate apto para un ambiente no restrictivo. *Agrociencia* 33: 21-29.
- Sánchez, C. F., P. E. C. Moreno, A. E. C. Cruz. 2009. Producción de jitomate hisopónico bajo invernadero en un sistema de dosel en forma de escalera. *Rev. Chapingo Serie Hort.* 15: 67-73.
- Savvas, D., N. Sigrimis, E. Chatzieustratiou, and C. Paschalidis. 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.
- Sonneveled, C., and W. Voogt. 2009. Substrates: Chemical characteristics and preparation. *In*: Sonnevled, C., and W. Voogt (eds). Plant Nutrition of Greenhouse Crops. Springer. pp: 227-252.
- Takahashi, K. 1984. Injury by continuous cropping in vegetables: various problems in the cultivation using grafted plants. *Yasaishikenjo Kenkyu Shiryo* 18: 87-89.
- Tüzel, I. H., U. Tunali, Y. Tüzel, and G. B. Öztekin. 2009. Effects of salinity on tomato in a closed system. *Acta Hort.* 807: 457-462.
- Ucán, C., C. F. Sánchez, S. T. Corona, y M. E. Contreras. 2005. Efecto del manejo de relaciones fuente-demanda sobre el tamaño de fruto de jitomate. *Fitotec. Mex.* 28: 33-38.
- Urrestarazu, G. M. 2000. Bases y sistemas de los cultivos sin suelo. *In*: Urrestarazu, G. M. (ed). Manual de Cultivos sin Suelo 5. Mundi-Prensa. España. pp: 51-94.