

La subirrigación como sistema de producción de pimiento (*Capsicum annuum* L.) en cultivo sin suelo*

Subirrigation as production system of pepper (*Capsicum annuum* L.) in soilless crop

Juana Cruz García-Santiago, Luis Alonso Valdez-Aguilar[§], Valentín Robledo-Torres, Rosalinda Mendoza-Villarreal y Armando Hernández-Pérez

Doctorado en Agricultura Protegida, Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Col. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. C.P. 25315. Tel. 018444110200. (jhoana_gs@yahoo.com.mx; luisalonso.valdez@uaaan.mx; vrobtor@uaaan.mx; rosalingdamendoza@hotmail.com; hernandez865@hotmail.com). [§]Autor para correspondencia: luisalonso.valdez@uaaan.mx.

Resumen

La producción en sistemas cerrados promueve mayor eficiencia en el uso de agua y fertilizantes. El objetivo del presente estudio fue determinar algunos requerimientos del sistema de subirrigación para la producción de pimiento y su efecto en el crecimiento, rendimiento y algunas características químicas del sustrato. Se evaluaron dos láminas (10 y 15 cm) y tres tiempos (10, 20 y 30 min) de riego en dos tamaños de contenedor (13 y 25 L) con sustrato a base de una mezcla de turba ácida y perlita. El contenido de humedad del sustrato fue mayor con láminas de subirrigación de 10-15 cm durante 30 min, en ambos contenedores. Con lo anterior, se procedió a evaluar la respuesta del pimiento al sistema de subirrigación comparado contra riego superficial. Se obtuvo mayor rendimiento de fruto subirrigando con una lámina de 15 cm por 20 min, igualando el rendimiento de las plantas con riego superficial. El peso seco de plantas fue mayor con una lámina de 15 cm por 30 min. El pH fue más bajo en el estrato superior del sustrato con láminas de 10 y 15 cm durante 20 y 30 min, respectivamente. La CE fue mayor en el estrato superior con lámina de 15 cm por 30 min. El Ca^{2+} , NO_3^- y K^+ fue mayor en el estrato superior en riego superficial. Se concluye que la producción de pimiento en subirrigación es posible ya que se obtienen rendimientos similares a los obtenidos con riego superficial al implementar una lámina de 15 cm durante 20 min.

Abstract

Production in a closed system promotes higher efficiency in the use of water and fertilizers. The aim of this study was to determine some of subirrigation system requirements for the production of pepper and its effect on growth, yield and some chemical characteristics of the substrate. Two irrigation lamina (10 and 15 cm) at three irrigation times (10, 20 and 30 min) in two container sizes (13 and 25 L) with a substrate mixture of peat and perlite were evaluated. Moisture content of the substrate was higher with subirrigation lamina of 10-15 cm for 30 min, in both containers. With this, it proceeded to evaluate the response of pepper to subirrigation system compared with surface irrigation. Greater fruit yield was obtained subirrigating with a lamina of 15 cm for 20 min leveling plant yield with surface irrigation. Plant dry weight was greater with a lamina of 15 cm for 30 min. The pH was lower in the upper layer with lamina if 10 and 15 cm for 20 and 30 min, respectively. EC was higher in the upper layer with lamina of 15 cm for 30 min. Ca^{2+} , NO_3^- and K^+ was higher in the upper layer with surface irrigation. It is concluded that the production of pepper in subirrigation is possible as similar yields to those obtained with surface irrigation are obtained by applying a lamina of 15 cm for 20 min.

* Recibido: mayo de 2015
Aceptado: septiembre de 2015

Palabras clave: agricultura protegida, eficiencia en el uso de fertilizantes, eficiencia en el uso del agua, nutrición.

Keywords: efficient use of fertilizers, efficient water use, protected agriculture, nutrition.

Introducción

Los sistemas de cultivo sin suelo permiten un control adecuado del crecimiento y el desarrollo de las plantas ayudando a obtener altos rendimientos. Sin embargo, estos sistemas de producción requieren de riego frecuente y altas tasas de fertilización, y cuando se utiliza con drenaje libre (sistema abierto) ocasiona la contaminación de las fuentes de agua subterráneas y superficiales (Van Os, 1999). El manejo de sistemas de cultivo cerrados ofrecen excelentes perspectivas en términos de limitar el problema de la pérdida de agua y nutrientes, además de permitir una producción más eficiente y respetuosa del medio ambiente en comparación con los sistemas de cultivo abiertos (Van Os, 1999; Ahmed *et al.*, 2000; Siddiqi *et al.*, 1998; Roupael *et al.*, 2004; Roupael y Colla, 2005).

Mínimizar los requerimientos de fertilizantes y agua para la producción de cultivos en invernadero se ha convertido cada vez más importante para los productores, ya que muchos se enfrentan a mayores costos de agua y fertilizantes, disminución de la disponibilidad de agua de calidad, y a las disposiciones gubernamentales para proteger la superficie y las aguas subterráneas (Van Os, 1999; Uva *et al.*, 2001). Una alternativa prometedora para ser más eficientes en la producción de cultivos de importancia es la adopción del sistema de subirrigación con recirculación de solución nutritiva, también referido como subirrigación de cero escurrimiento (Uva *et al.*, 2001; Santamaria *et al.*, 2003; Roupael *et al.*, 2006). Este sistema funciona al permitir que el agua se mueva desde un depósito en donde se almacena la solución nutritiva (SN) a una bandeja de aplicación dentro de la cual se encuentran los contenedores, manteniendo la SN por un tiempo determinado para permitir que esta se mueva a través del medio de cultivo por acción capilar (Bouchaaba *et al.*, 2015). Después que el riego se completa, la cantidad de SN no absorbida por el medio de cultivo, se regresa de nuevo al tanque de almacenamiento para su reutilización en riegos posteriores (van Os, 1999; Incrocci *et al.*, 2006; Pinto *et al.*, 2008), para lo cual se necesita realizar ajustes periódicos al volumen de agua, pH y la concentración de nutrientes, valorándose estos últimos generalmente por la medición de la CE (Cox, 2001; Incrocci *et al.*, 2006).

Introduction

Soilless systems allow an adequate control of growth and plant development helping to obtain high yields. However, these production systems require frequent irrigation and high rates of fertilization and when free-draining (open system) is used caused ground and surface pollution of water sources (Van Os, 1999). The management of closed cultivation systems offer excellent advantages in terms of limiting the problem of water and nutrients loss, it also allows a more efficient production and environmentally friendly compared to open crop systems (Van Os, 1999; Ahmed *et al.*, 2000; Siddiqi *et al.*, 1998; Roupael *et al.*, 2004; Roupael and Colla, 2005).

Reducing of fertilizer and water requirements for crop production under greenhouse has become increasingly important for producers, since many are facing higher costs of water and fertilizer, decreased water quality and government regulations to protect surface and groundwater (Van Os, 1999, Uva *et al.*, 2001). A promising alternative to be more efficient in the production of crops of importance is the adoption of ubirrigation systems with recirculating nutrient solution, also referred to as zero runoff subirrigation (Uva *et al.*, 2001; Santamaria *et al.*, 2003; Roupael *et al.*, 2006). This system works by allowing water to move from a reservoir where nutrient solution (SN) is stored to a tray application within which are containers, keeping SN for a certain time to allow it to move through the culture medium by capillary action (Bouchaaba *et al.*, 2015). After irrigation is complete, the amount of SN that is not absorbed by the medium, is returned back to the storage tank to be reused in subsequent irrigations (van Os, 1999; Incrocci *et al.*, 2006; Pinto *et al.*, 2008), for which is necessary to perform periodic adjustments to water volume, pH and nutrient concentration, the latter being assessed through EC measurement (Cox, 2001; Incrocci *et al.*, 2006).

Subirrigation systems offers many advantages, such as a lower nutrients and water requirements, provides nutrients in a uniform manner, prevents leaf wetness (disease prevention), irrigation uniformity, less substrate compaction, more uniform crops, improved productivity; reduced discharge of nutrients into surrounding ecosystems and reduce production

El sistema de subirrigación ofrece muchas ventajas, tales como un menor requerimiento de nutrientes y agua, proporciona nutrientes de una manera uniforme, evita la humectación foliar (prevención de enfermedades), uniformidad de riego, menor compactación del sustrato, cultivos más uniformes, mejor productividad; reduce la descarga de nutrientes a los ecosistemas circundantes y reduce los costos de producción (Cox, 2001; Santamaria *et al.*, 2003; Rouphael y Colla, 2005; Rouphael *et al.*, 2008; Montesano *et al.*, 2010). Estos beneficios generan ahorros en mano de obra, insumos materiales y pérdidas de producto (Purvis *et al.*, 2000; Santamaria *et al.*, 2003). Además, el sistema de subirrigación puede facilitar el manejo de la SN ya que mantiene estables los parámetros de la misma, puesto que los elementos que no son absorbidos por la planta se acumulan en la parte superior del sustrato, en lugar de la acumulación en la SN como lo haría en un sistema de riego abierto (Reed, 1996; Kent y Reed, 1996; Morvant *et al.*, 1997; Santamaria *et al.*, 2003; Rouphael y Colla, 2005; Rouphael *et al.*, 2006; Montesano *et al.*, 2010).

Sin embargo, la tendencia de la acumulación de sales en la parte superior del medio de crecimiento representa un inconveniente para los sistemas de subirrigación, ya que puede resultar en la reducción del crecimiento de los cultivos, sobre todo en cultivos de ciclo largo y en condiciones ambientales secas y calientes (Kent y Reed, 1996; Reed, 1996; Morvant *et al.*, 1997; Cox, 2001; Bouchaaba *et al.*, 2015). La acumulación de sales en la parte superior del medio de crecimiento puede ocurrir si la SN es demasiado concentrada, debido a que el medio de crecimiento no se lixivia durante la producción (Martinetti *et al.*, 2008). Por lo anterior, la concentración de fertilizantes en los sistemas de subirrigación deben ser más bajos que en los sistemas de riego superficial (Klock-Moore y Broschat, 1999; Cox, 2001; Mak y Yeh, 2001; Yeh *et al.*, 2004; Martinetti *et al.*, 2008).

Se han reportado diversas ventajas del sistema de subirrigación para el cultivo en invernadero de plantas ornamentales, sin embargo, se ha prestado menos atención a la aplicación de esta técnica para la producción de hortalizas (James y Van Iersel, 2001; Santamaria *et al.*, 2003; Serio *et al.*, 2004). Es necesario verificar la validez de éstos sistemas para la producción en hortalizas en invernadero, ya que estas se caracterizan por un ciclo cultural largo, tienen una alta tasa de crecimiento y una gran demanda de agua y nutrientes (Santamaria *et al.*, 2003; Rouphael y Colla, 2005), además de estudiar la idoneidad de diferentes cultivares a este método de riego como consecuencia de su tolerancia a la salinidad

costs (Cox, 2001; Santamaria *et al.*, 2003; Rouphael and Colla, 2005; Rouphael *et al.*, 2008; Montesano *et al.*, 2010). These benefits generate savings in labor, material inputs and output losses (Purvis *et al.*, 2000; Santamaria *et al.*, 2003). Also, subirrigation systems can facilitate SN management as it maintains stable parameters of the same, since the elements that are not absorbed by the plant accumulate in the upper part of the substrate instead of accumulating in SN as it would in an open irrigation system (Reed, 1996; Kent and Reed, 1996; Morvant *et al.*, 1997; Santamaria *et al.*, 2003; Rouphael and Colla, 2005; Rouphael *et al.*, 2006; Montesano *et al.*, 2010).

However, the tendency of salt accumulation on the upper part of the growth medium represents a disadvantage for subirrigation systems as it can result in reduction of crop growth, especially in long-term crops and in dry and hot environmental conditions (Kent and Reed, 1996; Reed, 1996; Morvant *et al.*, 1997; Cox, 2001; Bouchaaba *et al.*, 2015). Salts accumulating on the upper part of the growth medium can occur if SN is too concentrated, because the growth medium does not leach during production (Martinetti *et al.*, 2008). Therefore, fertilizers concentration in subirrigation systems should be lower than in surface irrigation systems (Broschat Klock-Moore, 1999; Cox, 2001; Mak and Yeh, 2001; Yeh *et al.*, 2004; Martinetti *et al.*, 2008).

Several advantages of subirrigation system have been reported for ornamental plants under greenhouse production, however, it has been paid less attention to this technique for vegetable production (James and Van Iersel, 2001; Santamaria *et al.*, 2003; Serio *et al.*, 2004). It is necessary to verify the validity of these systems for vegetable production under greenhouse, as these are characterized by a long crop cycle, have a high growth rate and high demand for water and nutrients (Santamaria *et al.*, 2003; Rouphael and Colla, 2005), besides studying the suitability of different cultivars to this irrigation system as consequence of its tolerance to salinity (Martinetti *et al.*, 2008). The present study aimed to determine some subirrigation system requirements for pepper production and its effect on growth, yield and some chemical characteristics of the substrate.

Materials and methods

This work was carried out in 2014 in a greenhouse from the Horticulture Department of the Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro, in Saltillo, Coahuila. Environmental

(Martinetti *et al.*, 2008). El presente estudio se planteó el objetivo de determinar algunos requerimientos del sistema de subirrigación para la producción de pimienta y su efecto en el crecimiento, rendimiento y algunas características químicas del sustrato.

Materiales y métodos

El presente trabajo se realizó en 2014 en un invernadero del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo, Coahuila. Las condiciones ambientales durante el experimento incluyeron una temperatura promedio de 17.6 °C (promedio mínima de 11.2 °C y promedio máxima de 29.9 °C), y una humedad relativa promedio de 77% (promedio mínima de 40% y promedio máxima de 95%). La radiación fotosintéticamente activa incidente diurna fue en promedio de 164 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ y la incidente al medio día solar en promedio fue de 306 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

El estudio fue dividido en dos etapas; en la primera se planteó el objetivo de generar información sobre la lámina de subirrigación y el tiempo de inmersión en la SN en dos contenedores de diferente volumen, mientras que en la segunda etapa se evaluó la respuesta de plantas de pimienta a estos tratamientos.

Etapas 1. Lámina de subirrigación, tiempo de inmersión y tamaño del contenedor

Se realizaron evaluaciones previas al establecimiento del cultivo para determinar las dimensiones que debe tener el contenedor, la lámina de riego y el tiempo a la que se dejaría la SN para efectuar el riego por subirrigación. Los tratamientos evaluados consistieron en dos láminas (10 y 15 cm), tres tiempos de inmersión (10, 20 y 30 min) y dos contenedores de diferente volumen (13 y 25 L), empleándose cuatro repeticiones por tratamiento. El sustrato utilizado fue compuesto de una mezcla de turba ácida (80% v/v) y perlita (20% v/v). Cada contenedor fue colocado dentro de bandejas de plástico rígido (69 cm de largo, 39 cm de ancho y 16 cm de altura), mismo que contenía agua a determinada altura, y se dejó cada contenedor a un tiempo de inmersión correspondiente a cada tratamiento. Una vez transcurrido el tiempo de inmersión se retiró el contenedor y se tomó una muestra de sustrato a diferentes alturas del cepellón (de la base a la abertura del contenedor: 1-7, 7-14, 14-21 y

condiciones durante el experimento incluyeron un promedio de temperatura de 17.6 °C (promedio mínima de 11.2 °C y promedio máxima de 29.9 °C), y un promedio de humedad relativa de 77% (promedio mínima de 40% y promedio máxima de 95%). La radiación fotosintéticamente activa incidente diurna fue en promedio de 164 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ y a las 12:00 h promedio fue de 306 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

El estudio fue dividido en dos etapas; la primera etapa tuvo como objetivo generar información sobre la lámina de subirrigación y el tiempo de inmersión en la SN en dos contenedores de diferente volumen, mientras que en la segunda etapa se evaluó la respuesta de plantas de pimienta a estos tratamientos.

Etapas 1. Lámina de subirrigación, tiempo de inmersión y tamaño del contenedor

Antes del establecimiento del cultivo se realizaron evaluaciones para determinar las dimensiones que debe tener el contenedor, la lámina de riego y el tiempo a la que se dejaría la SN para efectuar el riego por subirrigación. Los tratamientos evaluados consistieron en dos láminas (10 y 15 cm), tres tiempos de inmersión (10, 20 y 30 min) y dos contenedores de diferente volumen (13 y 25 L), usando cuatro repeticiones por tratamiento. El sustrato fue compuesto de una mezcla de turba ácida (80% v/v) y perlita (20% v/v). Cada contenedor fue colocado en bandejas de plástico rígido (69 cm de largo, 39 cm de ancho y 16 cm de altura), mismo que contenía agua a determinada altura, y se dejó cada contenedor a un tiempo de inmersión correspondiente a cada tratamiento. Una vez transcurrido el tiempo de inmersión se retiró el contenedor y se tomó una muestra de sustrato a diferentes alturas del cepellón (de la base a la abertura del contenedor: 1-7, 7-14, 14-21 y 21-28 cm) y el peso húmedo de cada muestra fue determinado. Luego las muestras fueron llevadas a un horno de secado a 70 °C por 72 h y se registró el peso de las muestras secas, las cuales fueron usadas para determinar el contenido de humedad (CH) y el volumen de agua retenida (VAR) en cada uno de los estratos evaluados del cepellón.

El diseño experimental fue completamente aleatorizado con un arreglo factorial, siendo los factores la lámina de riego, el tiempo de inmersión, el tamaño del contenedor y el sustrato. Cada tratamiento tuvo cuatro repeticiones por contenedor. Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) usando el Sistema de Análisis Estadístico (SAS) versión 9.2.

21-28 cm) y se determinó el peso húmedo de cada muestra. Posteriormente, las muestras fueron llevadas a un horno de secado a 70 °C por 72 h y se registró el peso de las muestras secas, los cuales fueron utilizados para determinar el contenido de humedad (CH) y el volumen de agua retenida (VAR) en cada uno de los estratos evaluados del cepellón.

El diseño experimental utilizado fue el completamente al azar con arreglo factorial, siendo los factores la lámina de riego junto con el tiempo de inmersión, el tamaño del contenedor, y el estrato del sustrato. Cada tratamiento tuvo cuatro repeticiones de un contenedor cada una. Los datos obtenidos se sometieron en un análisis de varianza (ANOVA) y la comparación de medias fue de acuerdo a la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) utilizando el programa Statistical Analysis System (SAS) versión 9.2.

Etapa 2. Respuestas del pimiento a la subirrigación

Plántulas de pimiento (*Capsicum annuum* L.) cv. TOP 141 fueron trasplantadas el 12 de agosto de 2014 en un contenedor de polietileno negro con un volumen de 13 L. El contenedor se seleccionó basado en los resultados de la etapa 1, y fueron llenados con un sustrato compuesto de una mezcla de turba ácida (80% v/v) y perlita (20% v/v) hasta una altura de 28 cm. El pH inicial del sustrato fue de 6.1 y la conductividad eléctrica (CE) de 0.6 dS m⁻¹.

Se emplearon cinco tratamientos para evaluar la respuesta del pimiento al sistema de subirrigación y riego superficial, los cuales fueron; dos láminas de riego (10 y 15 cm) y dos tiempos de riego (20 y 30 min); el tratamiento testigo fue el riego superficial empleando el sistema de riego por goteo. La unidad experimental consistió en dos contenedores con una planta cada uno, y cada tratamiento tuvo cuatro repeticiones. Para la subirrigación, cada unidad experimental se colocó en una bandeja; con una distancia entre contenedores de 20 cm y una distancia entre bandejas de 30 cm, obteniendo así un total de 40 plantas.

Se consideró las propiedades químicas del agua de riego para la formulación de la SN. La SN utilizada en ambos sistemas de riego fue la solución universal propuesta por Steiner (1961). Los riegos se efectuaron según las necesidades hídricas de las plantas en ambos sistemas de riego; en riego superficial se colocó cuatro goteros por contenedor con un gasto total de 4 LPH, y se aplicó un volumen suficiente para mantener una fracción de lixiviado de 25%, mientras que en el sistema de subirrigación una vez transcurrido el tiempo

Stage 2. Pepper response to subirrigation

Pepper seedlings (*Capsicum annuum* L.) cv. TOP 141 were transplanted on August 12, 2014 on a black polyethylene container with a volume of 13 L. The container was selected based on the results from stage 1, and were filled with a substrate consisting of a mixture of peat (80% v/v) and perlite (20% v/v) to a height of 28 cm. The initial pH of the substrate was 6.1 and the electrical conductivity (EC) of 0.6 dS m⁻¹.

Five treatments were used to evaluate pepper response to subirrigation and surface irrigation, which were; two irrigation lamina (10 and 15 cm) and two immersion times (20 and 30 min); the control was surface irrigation using drip irrigation. The experimental unit consisted of two containers with a plant each, and each treatment had four replications. For subirrigation, each experimental unit was placed in a tray; with a distance between containers of 20 cm and a distance between trays of 30 cm, thus obtaining a total of 40 plants.

The chemical properties of irrigation water for the formulation of SN were considered. The SN used in both irrigation systems was the universal solution proposed by Steiner (1961). Irrigation was performed according to water requirements of plants in both irrigation systems; in surface irrigation four droppers per container were placed with a total expenditure 4 LPH, and applied enough volume to keep a fraction of leachate 25%, while in subirrigation system once irrigation time has elapsed; SN was drained to a holding tank; SN evapotranspired in each irrigation was compensated for subsequent irrigation. The pH of SN was adjusted to 6 ± 0.1 with H₂SO₄ before each irrigation and EC on average remained at 2.3 dS m⁻¹ throughout the crop cycle.

The experiment ended at 165 days after transplanting, starting fruit harvest at 120 days after transplantation when this had 80% of color characteristic of the variety. At the end of the crop cycle fruit number and yield per plant was recorded. Two plants per replication were taken and subjected to root wash with tap water to remove the excess of substrate; then the plants were separated into roots, stems and leaves. These organs were placed in a drying oven at 70 °C for 72 h to record weight of dry matter using an analytical scale (VELABVE-1000). The harvest index was calculated by dividing the weight of fresh fruit by the total dry weight and the relationship between shoot and root considered the

de riego, la SN fue drenada a un tanque de almacenamiento. La SN evapotranspirada en cada riego fue compensada para el riego posterior. El pH de la SN fue ajustado a 6 ± 0.1 antes de cada riego con H_2SO_4 y la CE en promedio se mantuvo en 2.3 dS m^{-1} durante todo el ciclo del cultivo.

El experimento finalizó a los 165 días después del trasplante, iniciando la cosecha de frutos a los 120 días después del trasplante cuando estos presentaban 80% de la coloración característica de la variedad. Al final del ciclo del cultivo se contabilizó el número de frutos y el rendimiento por planta. Se tomaron las dos plantas por repetición y fueron sometidas a un lavado del sistema radicular con agua de la llave para eliminar el exceso de sustrato; posteriormente, las plantas se separaron en raíz, tallo y hojas. Estos órganos se introdujeron en un horno de secado a 70°C durante 72 h y consecutivamente se registró el peso de la materia seca utilizando una balanza analítica (VELABVE-1000). El índice de cosecha se calculó dividiendo el peso de fruto fresco entre el peso seco total y la relación entre la parte aérea y la raíz consideró el peso seco del tallo más hojas dividido entre el peso seco de raíz. Además, se determinó el pH y CE, la concentración de Ca^{2+} , K^+ y NO_3^- del sustrato en los cuatro estratos del cepellón ya señalados anteriormente. Se extrajo una muestra representativa de cada estrato y se colocó en bolsas de polietileno transparente para su posterior exposición a la radiación solar por 5 días; posteriormente se preparó una mezcla del sustrato con agua destilada (1:2 v/v) la cual se dejó en reposo por 30 min para después registrar las propiedades antes mencionada con la ayuda de un ionómetro portátil (Horiba LAQUA Twin).

El diseño experimental utilizado fue el de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones por cada tratamiento; cada repetición consistió en dos contenedores. Los datos obtenidos se sometieron en un análisis de varianza (ANOVA) y la comparación de medias fue de acuerdo a la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) utilizando el programa Statistical Analysis System (SAS) versión 9.2.

Resultados

En general, con el contenedor de 25 L se obtuvo un mayor VAR que en 13 L, aunque el CH fue mayor con el contenedor de 13 L (Cuadro 1). Un mayor VAR y CH se observaron cuando la lámina de agua fue de 15 cm y el tiempo de inmersión fue más prolongado (Cuadro 1).

dry weight of stem plus leaves divided by root dry weight. In addition, pH and EC, concentration of Ca^{2+} , K^+ and NO_3^- from substrate in the four layers of the root ball as outlined above were determined. A representative sample of each layer was taken and placed in transparent plastic bags for subsequent exposure to sunlight for 5 days; then a mixture of the substrate was prepared with distilled water (1:2 v/v) which was allowed to rest for 30 min and then record the aforementioned properties with the help of a portable ion meter (Horiba LaQua Twin).

The experimental design was a randomized complete block, with four replications per treatment; each replication consisted in two containers. The data was subjected to an analysis of variance (ANOVA) and mean comparison test Tukey ($p \leq 0.05$) using the Statistical Analysis System (SAS) version 9.2.

Results

In general, the container of 25 L obtained a higher VAR than 13 L, although CH was higher with container of 13 L (Table 1). Greater VAR and CH were observed when water lamina was 15 cm and immersion time was longer (Table 1). Similarly, at higher height on the substrate layer there was a tendency to decrease both VAR and CH (Table 1).

The interaction between the factors under study (Table 1) suggests that VAR in the strata was greater by using immersion times of 30 min in both laminas, observing this trend in both types of container (Figure 1); however, this difference was more pronounced when a lamina of 15 cm (Figure 1) was used. When the solution lamina was 15 cm and this was maintained for 20 min, VAR was similar to that obtained when the lamina was 10 cm maintained for 30 min in both types of container. VAR was decreasing as strata height was greater in the container, retaining higher volume in the highest strata when lamina of the solution was 15 cm and this was maintained for 30 min (Figure 1).

CH was higher in the lowest strata of the container, but in relative terms, this was decreasing as immersion time increased from 10 to 30 min, regardless of lamina used (Figure 2). In the strata 7-14 cm CH was lower with immersion times

Similarmente, a mayor altura en el estrato del sustrato se presentó una tendencia a disminuir tanto el VAR así como el CH (Cuadro 1).

of 30 min in both lamina of the container 13 L; however, the container 25 L, CH of these strata was greater with a longer immersion time (Figure 2). In strata 14-21 cm, CH was

Cuadro 1. Comportamiento del volumen de agua retenida y contenido de humedad en cada estrato del contenedor según la lámina de riego, tiempo de inmersión y volumen del contenedor empleado.

Table 1. Behavior of retained water volume and moisture content in each layer of the container according to irrigation lamina, immersion time and volume from the container used.

	Volumen de agua retenida (L)	Contenido de humedad (%)
Contenedor		
13 L	1.37b	43.3a
25 L	2.72a	41.4b
Tratamiento (lámina/ tiempo de inmersión)		
10 cm/10 min	1.81c	37.9c
10 cm/20 min	1.92c	40.1c
10 cm/30 min	2.12b	40.4c
15 cm/10 min	1.91c	40.8bc
15 cm/20 min	2.11b	44.1b
15 cm/30 min	2.41a	50.7a
Estrato		
0-7 cm	3.08a	64.2a
7-14 cm	2.37b	49.6b
14-21 cm	1.58c	31.1c
21-28 cm	1.15d	24.4d
ANOVA		
Contendor*tratamiento	$p < 0.003$	$p < 0.001$
Contendor*estrato	$p < 0.001$	$p < 0.001$
Tratamiento*estrato	$p < 0.001$	$p < 0.001$
Contendor*tratamiento*estrato	$p < 0.001$	$p < 0.001$

Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Tukey con $p \leq 0.05$.

La interacción entre los factores en estudio (Cuadro 1) sugiere que el VAR en los estratos fue mayor al utilizar tiempos de inmersión de 30 min en ambas láminas, observándose esta tendencia en ambos tipos de contenedor (Figura 1); sin embargo, esta diferencia fue más marcada cuando se empleó una lámina de 15 cm (Figura 1). Cuando la lámina de la solución fue de 15 cm y esta se mantuvo por 20 min, el VAR fue similar al obtenido cuando la lámina fue de 10 cm mantenida por 30 min en ambos tipos de contenedor. El VAR fue disminuyendo conforme fue mayor la altura del estrato en el contenedor, retenándose mayor volumen en el estrato más alto cuando la lámina de la solución fue de 15 cm y esta se mantuvo por 30 min (Figura 1).

greater as immersion time increased in both containers, regardless of the lamina used (Figure 2). In the upper layer of the container 13 L, CH was higher with an immersion time of 30 min, on the contrary, with container 25 L, CH from the upper layer decreased with this immersion time (Figure 2).

Compared with surface irrigation, fruit number was not affected by subirrigation treatments (Table 2); however, fruit yield and harvest index were higher in plants subjected to subirrigation with a lamina of 15 cm for 20 min, similar to those obtained by plants with surface irrigation (Table 2).

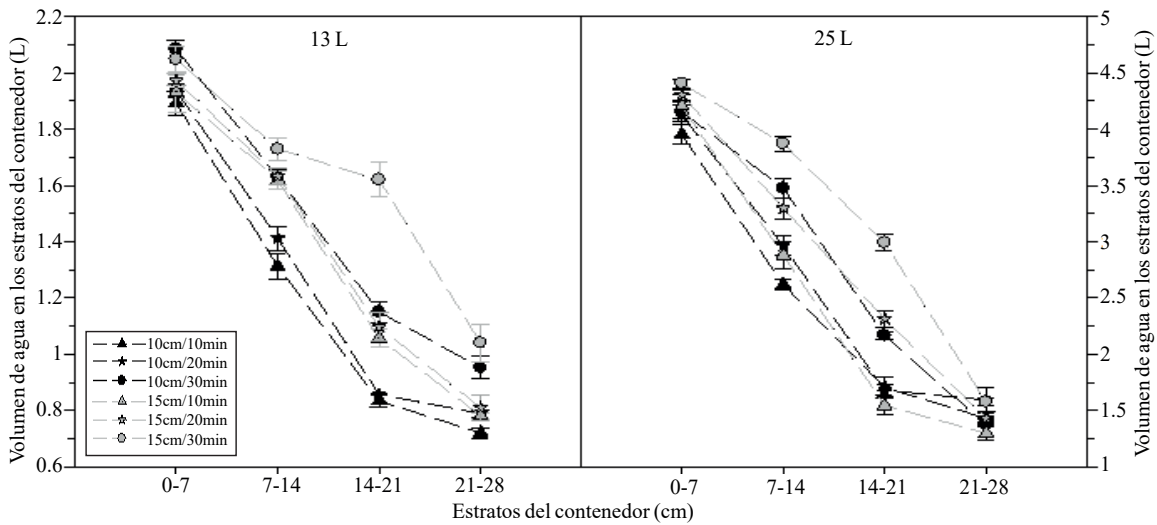


Figura 1. Volumen de agua retenida en los estratos de los contenedores de 13 y 25 L, dos láminas de riego (10 y 15 cm) y tres tiempos de inmersión (10, 20 y 30 min) en la solución. Las barras representan el error estándar de la media.
Figure 1. Retained water volume in the layers of the containers 13 and 25 L, two irrigation lamina (10 and 15 cm) and three immersion times (10, 20 and 30 min) in the solution. The bars represent the standard error of the mean.

El CH fue mayor en el estrato más bajo del contenedor, aunque en términos relativos, este fue disminuyendo conforme el tiempo de inmersión fue aumentando de 10 a 30 min, independientemente de la lámina utilizada (Figura 2). En el estrato de 7-14 cm el CH fue menor con tiempos de inmersión de 30 min en ambas láminas del contenedor de 13 L, en cambio, con el contenedor de 25 L, el CH de éste estrato fue mayor al utilizar un mayor tiempo de inmersión (Figura 2). En el estrato de 14-21 cm, el CH fue mayor conforme el tiempo de inmersión se incrementó en ambos contenedores, independientemente de la lámina empleada (Figura 2). En el estrato superior del contenedor de 13 L, el CH fue mayor con un tiempo de inmersión de 30 min, por el contrario, con el contenedor de 25 L, el CH del estrato superior se redujo con éste tiempo de inmersión (Figura 2).

En comparación con el riego superficial, el número de frutos no fue afectado por los tratamientos de subirrigación (Cuadro 2); sin embargo, el rendimiento de fruto y el índice de cosecha fueron mayores en plantas sometidas a subirrigación con una lámina de 15 cm por 20 min, similares a los obtenido por las plantas con riego superficial (Cuadro 2).

El peso seco de hojas fue afectado negativamente por la subirrigación, obteniéndose mayor biomasa foliar en plantas tratadas con riego superficial (Cuadro 3), en tanto que el peso seco de tallo, raíz y el peso seco total fueron mayores en plantas sometidas a una lámina de subirrigación de 15 cm por 30 min (Cuadro 3). Estos cambios en la distribución del peso seco se reflejaron en una modificación de la relación entre

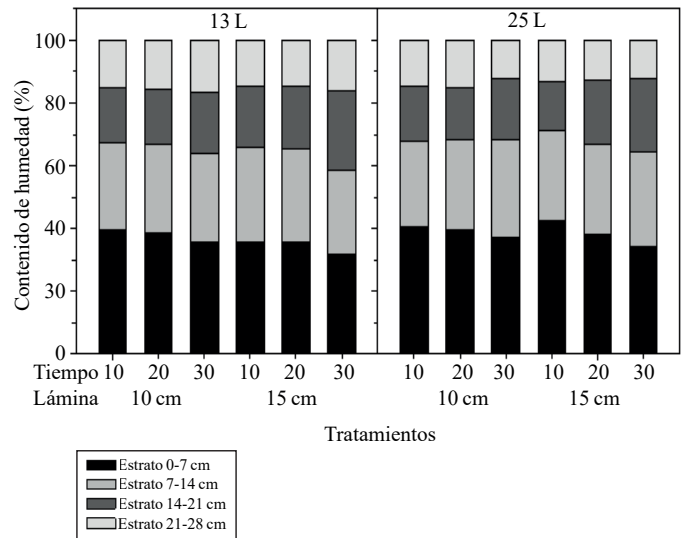


Figura 2. Contenido de humedad en los estratos de los contenedores con volumen de 13 y 25 L, dos láminas de riego (10 y 15 cm) y tres tiempos de inmersión (10, 20 y 30 min) en la solución.
Figure 2. Moisture content in the layers from the containers with volume of 13 and 25 L, two irrigation lamina (10 and 15 cm) and three immersion times (10, 20 and 30 min) in the solution.

The dry weight of leaves was negatively affected by subirrigation, obtaining higher leaf biomass in plants treated with surface irrigation (Table 3), while dry weight of stem, root and total dry weight were higher in plants subjected to a subirrigation lamina of 15 cm for 30 min (Table 3). These changes in the distribution of dry weight were reflected in a

la parte aérea/raíz, ya que en comparación con las plantas con riego superficial, las plantas subirrigadas mostraron en términos relativos un mayor desarrollo de la raíz que de la parte aérea (Cuadro 3).

change of the relationship between shoot/root, as compared to surface irrigation plants, subirrigated plants showed relatively greater root development than in shoot (Table 3).

Cuadro 2. Efecto del sistema de riego (subirrigación y riego superficial) en la producción de frutos en plantas de pimiento (*Capsicum annuum* L.) cultivadas en contenedor de 13 L.

Table 2. Effect of irrigation system (subirrigation and surface irrigation) in fruit production of pepper plants (*Capsicum annuum* L.) grown in container of 13 L.

Lámina/tiempo de inmersión	Número de frutos	Rendimiento de fruto (g planta ⁻¹)	Índice de cosecha (g g ⁻¹)
10 cm/20min	6.13	664.6b	7.63ab
10 cm/30min	6	513.7c	6.01c
15 cm/20min	5.63	806.7a	8.79 a
15 cm/30min	5.88	672.5b	6.47bc
Riego superficial	7.13	790.8ab	8.1a
ANOVA	<i>p</i> < 0.24	<i>p</i> < 0.001	<i>p</i> < 0.001

Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Tukey con *p* ≤ 0.05.

Cuadro 3. Efecto del sistema de riego (subirrigación y riego superficial) en el peso seco en plantas de pimiento (*Capsicum annuum* L.) cultivadas en contenedor de 13 L.

Table 3. Effect of irrigation system (subirrigation and surface irrigation) on dry weight of pepper (*Capsicum annuum* L.) grown in container of 13 L.

Lámina / Tiempo de inmersión	Peso seco (g planta ⁻¹)				Relación parte aérea/raíz (g g ⁻¹)
	Hoja	Tallo	Raíz	Total	
10 cm/20min	27.7bc	29.9 b	29.8ab	87.4c	1.95b
10 cm/30min	25.6c	28.4b	31.6ab	85.6c	1.72b
15 cm/20min	28.9abc	31.6b	31.4ab	91.8bc	1.93b
15 cm/30min	31.3ab	38.1a	35.2a	104.6a	1.98b
Riego superficial	33.1a	36.9a	27.8b	97.8ab	2.52a
ANOVA	<i>p</i> < 0.002	0.001	<i>p</i> < 0.024	<i>p</i> < 0.001	<i>p</i> < 0.001

Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Tukey con *p* ≤ 0.05.

Al finalizar el estudio, el pH promedio en el sustrato se incrementó cuando las plantas se subirrigaron con una lámina de 10 cm por 30 min, mientras que la CE fue mayor al utilizar una lámina de 15 cm mantenida por 30 min (Cuadro 4). La concentración de Ca²⁺ y K⁺ en el sustrato fue mayor cuando las plantas se manejaron con riego superficial; en cambio, la concentración de NO₃⁻ fue mayor al emplearse la subirrigación con una lámina de inmersión de 15 cm por 20 min (Cuadro 4). El pH fue más ácido en el estrato 14-21 cm, mientras que la CE y la concentración de Ca²⁺ fueron mayores en el estrato superior del contenedor (Cuadro 4). La concentración de K⁺ y NO₃⁻ tendió ser mayor en el estrato inferior del contenedor (Cuadro 4).

Upon completion of the study, the average pH in the substrate increased when plants were subirrigated with a lamina of 10 cm for 30 min, while EC was higher when using a lamina of 15 cm for 30 min (Table 4). The concentration of Ca²⁺ and K⁺ in the substrate was higher when plants were managed with surface irrigation; however, the concentration of NO₃⁻ was higher when used a subirrigation lamina of 15 cm with an immersion time of 20 min (Table 4). The pH was more acidic in the strata 14-21 cm while EC and Ca²⁺ concentration were higher in the upper strata of the container (Table 4). The concentration of K⁺ and NO₃⁻ tended to be higher in the lower strata of the container (Table 4).

Cuadro 4. Comportamiento del pH, conductividad eléctrica (CE) y concentración de calcio (Ca²⁺), potasio (K⁺) y nitrato (NO₃⁻) del sustrato en función del estrato y el sistema de riego, lámina de riego y tiempo de inmersión.

Table 4. Behavior of pH, electrical conductivity (EC) and concentration of calcium (Ca²⁺), potassium (K⁺) and nitrate (NO₃⁻) from the substrate in function of the strata and irrigation system, irrigation lamina and immersion time.

	pH	CE (dS m ⁻¹)	Ca ²⁺ (ppm)	K ⁺ (ppm)	NO ₃ ⁻ (pm)
Tratamiento (lámina/tiempo de inmersión)					
10 cm/20 min	5.2b	1.37b	112.2b	91.4b	393.9b
10 cm/30 min	5.6a	1.24b	67.8c	75.3c	307.8c
15 cm/20 min	5.26b	1.39b	94.2bc	91.2b	464.5a
15 cm/30 min	5.26b	1.66a	89.6bc	91.6b	351.6bc
Riego superficial	5.26b	1.24b	155.3a	167.9a	385.2b
Estrato					
0-7 cm	5.36a	1.11c	71.6bc	153.6a	559.1a
7-14 cm	5.37a	1.12c	48.9c	96.8b	381.6b
14-21 cm	5.18b	1.32b	83.7b	72.3c	301.7c
21-28 cm	5.34a	2a	211.2a	91.4b	280.1c
ANOVA					
Tratamiento	<i>p</i> <0.001	<i>p</i> <0.001	<i>p</i> <0.001	<i>p</i> <0.001	<i>p</i> <0.001
Estrato	<i>p</i> <0.007	<i>p</i> <0.001	<i>p</i> <0.001	<i>p</i> <0.001	<i>p</i> <0.001
Tratamiento*Estrato	<i>p</i> <0.001	<i>p</i> <0.007	<i>p</i> <0.001	<i>p</i> <0.001	<i>p</i> <0.001

Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Tukey con *p* ≤ 0.05.

La interacción entre los factores en estudio (Cuadro 4) sugiere que los sistemas de riego empleados durante el desarrollo del cultivo, así como las láminas y tiempos de inmersión evaluados en el sistema de subirrigación mostraron diferente efecto sobre las propiedades químicas del sustrato al finalizar el estudio (Figura 3). El pH en los estratos se incrementó en plantas subirrigadas con lámina de 15 cm mantenida durante 20 min y en plantas con riego superficial, siendo superior en el estrato de 21-28 cm, mientras que este se redujo cuando la lámina fue de 10 y 15 cm mantenidas durante 20 y 30 min, respectivamente (Figura 3). La CE se incrementó conforme se elevó la altura de los estratos del contenedor, siendo superior en el estrato de 21-28 cm; sin embargo, en el sustrato de plantas subirrigadas con láminas de 15 cm durante 30 min, la CE fue mayor en todos los estratos que en los restantes tratamientos de subirrigación o en las plantas con riego superficial (Figura 3). La concentración de Ca²⁺ tendió a aumentar en el estrato superior, siendo más alta con riego superficial (Figura 3). La concentración de NO₃⁻ decreció conforme se eleva la altura del estrato en el contenedor, siendo menor en el estrato de 21-28 cm en los tratamientos de subirrigación; en contraste, con riego superficial, la concentración de NO₃⁻ tendió a elevarse con la altura de los estratos, siendo más alta en el

The interaction between the factors under study (Table 4) suggests that irrigation systems used during crop development, as well as lamina and immersion time evaluated in subirrigation systems showed different effect on the chemical properties of the substrate at the end study (Figure 3). The pH in the stratas increased in plants subirrigated with 15 cm lamina maintained for 20 min and in plants with surface irrigation, being higher in the 21-28 cm strata while this was reduced when the lamina was 10 and 15 cm maintained for 20 and 30 min, respectively (Figure 3). EC increased as strata height from the container raised, being higher in strata 21-28 cm; however, substrate from plants subirrigated with lamina of 15 cm for 30 min, the EC was higher in all stratas in the remaining subirrigation treatments or in plants with surface irrigation (Figure 3). Ca²⁺ concentration tended to increase in the upper strata, being higher with surface irrigation (Figure 3). NO₃⁻ concentration decreased as strata height increases in the container, being lower in 21-28 cm strata in subirrigation treatments; in contrast with surface irrigation, the concentration of NO₃⁻ tended to increase with strata height, being higher in 21-28 cm strata (Figure 3). K⁺ concentration tended to decrease with height of the stratas in the container in plants with subirrigation; however, in plants with superficial irrigation, K⁺ increased in the upper strata (Figure 3).

estrato 21-28 cm (Figura 3). La concentración de K^+ tendió a disminuir con la altura de los estratos en el contenedor en plantas con subirrigación; sin embargo, en plantas con riego superficial, el K^+ se incrementó en el estrato superior (Figura 3).

Some of the chemical properties of the substrate at the end of the study were correlated with fruit yield, as this tended to increase quadratically when average concentration of NO_3^- , K^+ , and Ca^{2+} increased, while pH levels of 5.26 were associated with increased production (Figure 4).

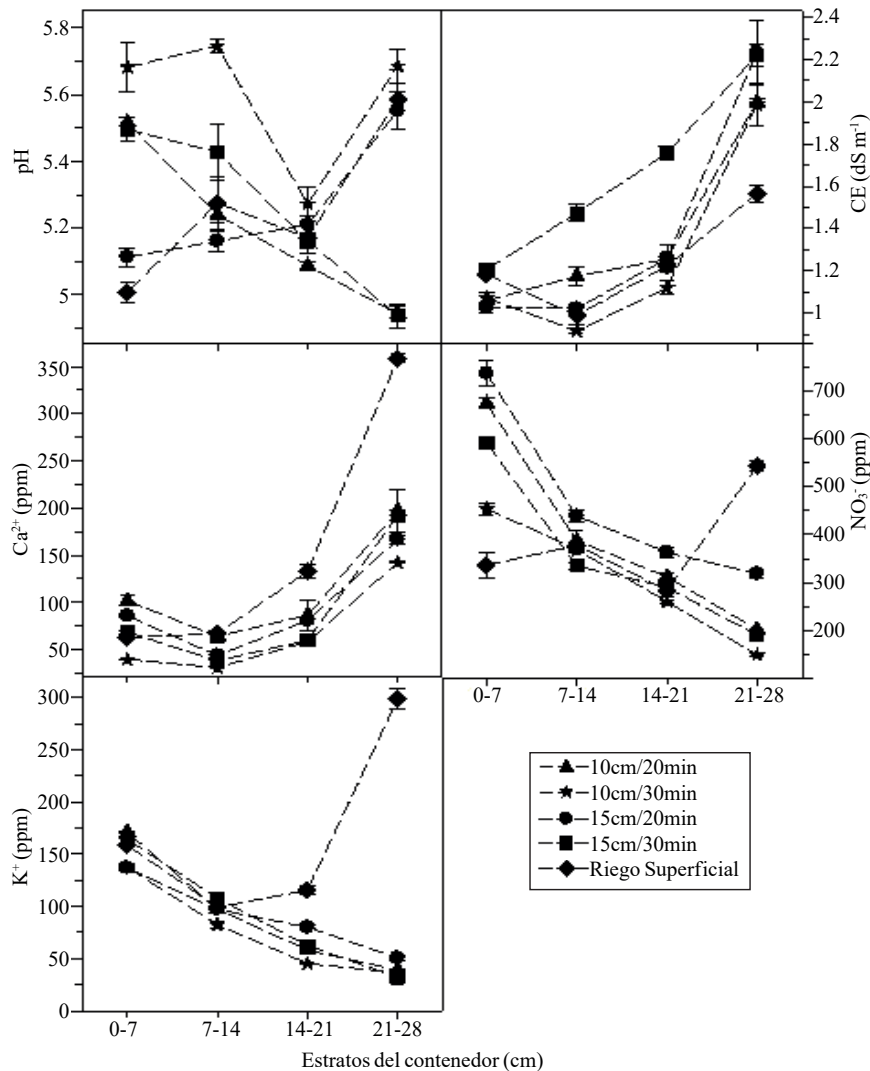


Figura 3. Efecto de la lámina de subirrigación y el tiempo de inmersión sobre el pH, conductividad eléctrica (CE), y concentración de calcio (Ca^{2+}), potasio (K^+) y nitrato (NO_3^-) en los estratos del contenedor. Las barras representan el error estándar de la media.

Figure 3. Effect of the subirrigation lamina and immersion time on pH, electrical conductivity (EC), and calcium (Ca^{2+}), potassium (K^+) and nitrate (NO_3^-) in the stratas of the container. The bars represent the standard error of the mean.

Algunas de las propiedades químicas del sustrato al finalizar el estudio estuvieron correlacionadas con el rendimiento de fruto, ya que este tendió a aumentar cuadráticamente cuando se elevó la concentración promedio de NO_3^- , K^+ , y Ca^{2+} , en tanto que niveles de pH de 5.26 estuvieron asociados con una mayor producción (Figura 4).

Discussion

Proportionally, substrate moisture was higher in the container of 13 L than in 25 L, however, this was even greater when subirrigation lamina was 15 cm maintained for 30 min, confirming that mentioned by NeSmith

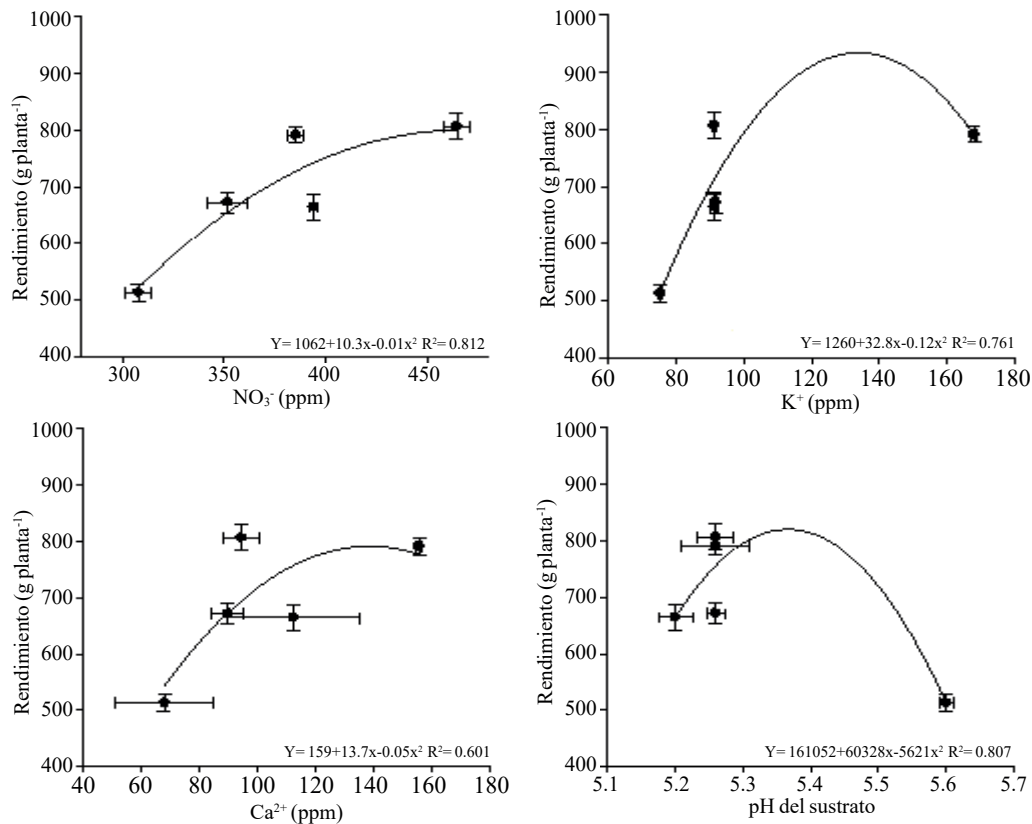


Figura 4. Relación entre promedio de la concentración de nitrato (NO₃⁻), potasio (K⁺), calcio (Ca²⁺) y pH del sustrato con el rendimiento de fruto en plantas de pimienta (*Capsicum annuum* L.) cultivadas en contenedor de 13 L. Las barras representan el error estándar de la media.

Figure 4. Relationship between average concentration of nitrate (NO₃⁻), potassium (K⁺), calcium (Ca²⁺) and pH from substrate with fruit yield in pepper (*Capsicum annuum* L.) grown in container of 13 L. The bars represent the standard error of the mean.

Discusión

Proporcionalmente, la humedad en el sustrato fue mayor en el contenedor de 13 L que en el de 25 L, sin embargo, esta fue aún mayor cuando la lámina de subirrigación fue de 15 cm mantenida por 30 min, lo cual confirma lo mencionado por NeSmith y Duval (1998); Vence (2008) en el sentido de que el porcentaje volumétrico de agua retenida por el sustrato dependerá de la altura, diámetro, volumen y forma del contenedor. Con este manejo de la subirrigación se obtuvo además una distribución más uniforme de la humedad en el perfil del contenedor, aunque el estrato más alto siempre tuvo el más bajo CH, factor de suma importancia en las fases iniciales del cultivo ya que en este es en donde las raíces se establecerán después del trasplante.

and Duval (1998); Vence (2008) in the sense that percentage of retained volume of water by the substrate depends on height, diameter, volume and shape of the container. With this management subirrigación obtained a more uniform moisture profile in container distribution, although the highest strata always had the lowest CH, an important factor in early stages of the crop as this is in where the roots are established after transplantation.

Lower CH suggests that capillary movement of water through peat requires more time and greater irrigation lamina to reach the highest stratas, however, the irrigation lamina should not be sustained for a longer time due to prolonged anoxic conditions since can affect root plants. Reed (1996) mentions that in subirrigation systems SN should not be maintained for a long period (over 45 min), otherwise it may

El menor CH sugiere que el movimiento capilar del agua a través de la turba requiere de mayor tiempo y una mayor lamina de riego para poder llegar hasta los estratos más altos, sin embargo, la lámina de riego no debe sostenerse por un tiempo más largo debido a que las condiciones de anoxia prolongada pueden afectar las raíces de las plantas. Reed (1996) menciona que en sistemas de subirrigación la SN no se debe mantener por un periodo prolongado (más de 45 min), de lo contrario puede dañar las raíces por anegamiento, señalando que lo ideal sería de 10 a 15 min y que la profundidad de inundación sólo tiene que ser de 2 a 2.5 cm o bien, inundar alrededor de 20% a 25% de la altura del contenedor. Condiciones similares en cuanto a lámina y tiempo de riego se han empleado para realizar investigaciones con subirrigación; por ejemplo, Whitcher *et al.* (2005); Richards y Reed (2004) utilizaron una lámina de 2 cm por un tiempo de 10 min para producir impacientes Nueva Guinea (*Impatiens hawkeri* Bull.) en un contenedor con 4.6 L de sustrato, mientras que Incrocci *et al.* (2006) emplearon una lámina de 2-2.2 cm por 15 min para tomate (*Solanum lycopersicon* L.) en un contenedor con 3.2 L. Las láminas y tiempos de inmersión en la SN utilizadas en los estudios anteriormente mencionados difieren de los utilizados en el presente estudio, debido principalmente a que el contenedor requerido para la producción de hortalizas necesariamente debe de ser de mayor volumen, pues la lámina así como el tiempo de inmersión ideal para subirrigación dependerá de la especie con el que se trabaje, necesidades hídricas, composición y volumen del sustrato, y de las dimensiones del contenedor.

El VAR fue directamente proporcional al volumen de sustrato contenido en cada recipiente ya que el de 25 L retuvo más agua que el de 13 L, sin embargo, en el contenedor de 13 L el volumen retenido aumenta cuando se usa una lámina de 15 cm que se sostuvo por 30 min. Este efecto se presentó en el contenedor de 25 L sólo en los estratos de la parte central (7-14 y 14-21 cm). Estas observaciones sugieren que en subirrigación el diámetro del contenedor afecta el movimiento capilar del agua, y que entre mayor sea el diámetro del contenedor el movimiento del agua a estratos superiores es más lento. La forma y tamaño del contenedor determina la distribución tridimensional del sustrato, lo que puede influir considerablemente en el rendimiento de la planta ya que las dimensiones definen la porosidad llena de aire y la capacidad de retención de agua por parte del mismo, y esto dependerá en gran medida de sus propiedades físicas (Da Silva *et al.*, 1993; Gizas y Savvas, 2007).

damage the roots by waterlogging, noting that ideally 10 to 15 minutes and that flood depth only has to be 2 to 2.5 cm or, flood about 20% to 25% of the height of the container. Similar conditions in terms of lamina and immersion time have been used to perform research with subirrigation; e.g. Whitcher *et al.* (2005); Richards and Reed (2004) used a lamina of 2 cm for 10 min to produce impatient New Guinea (*Impatiens hawkeri* Bull.) in a container with 4.6 L of substrate while Incrocci *et al.* (2006) used a lamina of 2-2.2 cm for 15 min in tomato (*Solanum lycopersicon* L.) in a container with 3.2 L. The lamina and immersion time in SN used in the aforementioned studies differ from those used in this study, mainly because the required container for the production of vegetables necessarily must be of higher volume, as ideal lamina and immersion time for subirrigation will depend on the species with which works, water needs, composition and substrate volume, and container dimensions.

VAR was directly proportional to substrate volume contained in each container as the 25 L container retained more water than 13 L, however, the container of 13 L; the retained volume increases when a lamina of 15 cm sustained for 30 min was used. This effect was made in the container of 25 L only in strata from the central part (7-14 and 14-21 cm). These observations suggest that in subirrigation the diameter of the container affects the capillary movement of water, and as the diameter of the container increases water movement to upper strata is slower. The shape and size of the container determines the three-dimensional distribution of the substrate, which may considerably influence plant yield as the dimensions define air-filled porosity and water retention capacity by the same and this will depend largely on its physical properties (Da Silva *et al.*, 1993; Gizas and Savvas, 2007).

In general, the vegetative growth of the plants was higher when subirrigated with a lamina of 15 cm for 30 min, or when received surface irrigation, since the dry weight of the plants was higher. This response was related to EC since the increase of this chemical property of the substrate obtained an increase total dry weight. Opposite results to those obtained in this study were reported by Kent and Reed (1996) in impatient New Guinea and peace lilies (*Spathiphyllum* Schott) and by Roupael and Colla (2005), who found that with drip irrigation biomass production in zucchini was 44% higher than with subirrigation as a result of the lower EC. Incrocci *et al.* (2006) reported that high EC

En general, el crecimiento vegetativo de las plantas fue mayor cuando se subirrigaron con una lámina de 15 cm durante 30 min, o bien, cuando recibieron el riego superficial, ya que el peso seco de las plantas fue mayor. Esta respuesta estuvo relacionada con la CE ya que al elevarse esta propiedad química del sustrato se obtuvo un aumento en el peso seco total. Resultados contrarios a los obtenidos en este estudio fueron reportados por Kent y Reed (1996) en impacientes Nueva Guinea y cuna de Moisés (*Spathiphyllum* Schott) y por Roupael y Colla (2005), quienes encontraron que con riego por goteo la producción de biomasa de calabacín fue de 44% mayor que con subirrigación como resultado de la CE inferior. Incrocci *et al.* (2006) reportaron que una alta CE en la parte superior del sustrato no causó estrés por salinidad en tomate sometido a subirrigación, argumentando que las raíces crecieron en su mayoría en los estratos inferiores del sustrato; los autores reportaron que no existen diferencias entre plantas tratadas con subirrigación y riego por goteo en términos de crecimiento de la planta, lo cual coincide con los resultados de nuestro estudio.

Santamaría *et al.* (2003); Scoggins (2005) mencionan que los sistemas de riego por goteo y subirrigación determinan una diferente estratificación de sales en el medio de cultivo, las cuales se concentran en la parte inferior con el primer método y en la parte superior con el segundo, y dependiendo de la especie, estos niveles pueden o no pueden plantear problemas. Los resultados del presente estudio no concuerdan totalmente con lo anterior ya que si bien si se detectó un aumento en la concentración de sales en el estrato superior del sustrato en plantas subirrigadas, este igualmente fue detectado en las plantas con riego por goteo; sin embargo, el impacto del riego superficial sobre la salinidad del sustrato si se detectó en los estratos centrales. Bouchaaba *et al.* (2015) mencionan que la salinidad excesiva que se produce en el sustrato puede tener efectos dramáticos sobre el crecimiento de las raíces de las plantas que son particularmente sensibles al estrés salino por la presencia de posible estrés osmótico debido a la mayor salinidad alcanzado en sustratos subirrigados.

A pesar de que el crecimiento de los órganos vegetativos fue promovido en plantas subirrigadas con una lámina de 15 cm mantenida por 30 min, esto no se reflejó en una mayor producción de fruto, ya que el rendimiento fue mayor en plantas subirrigadas con una lámina de 15 cm mantenida por 20 min, así como en las plantas con riego superficial. Esto puede deberse a que el pH y la CE de los estratos 0-7, 7-14 y 14-21 cm, así como otras propiedades químicas del mismo,

in the upper part of the substrate caused no salinity stress in tomato under subirrigation, arguing that roots grew mostly in the lower strata of the substrate; the authors reported no differences between plants treated with subirrigation and drip irrigation in terms of plant growth, which coincides with the results of this study.

Santamaría *et al.* (2003); Scoggins (2005) mention that drip irrigation and subirrigation systems determine a different stratification of salts in the culture medium, which concentrate in the lower part with the first method and in the top with the second and depending on the species, these levels may or may not pose a problem. The results of this study do not fully agree with the above because although an increase was detected in salt concentration in the upper strata of the substrate in subirrigated plants, this also was detected in plants with drip irrigation; however, the impact of surface irrigation on salinity of the substrate if detected in the central stratas. Bouchaaba *et al.* (2015) state that the excessive salinity produced in the substrate can have dramatic effects on root growth of plant that are particularly sensitive to salt stress by the presence of possible osmotic stress due to higher salinity reached in subirrigated substrates.

Although the vegetative growth of organs was promoted in subirrigated plants with a lamina of 15 cm maintained for 30 min, this was not reflected in increased fruit production, since yield was higher in plants subirrigated with a lamina of 15 cm maintained for 20 min as well as in plants with surface irrigation. This may be because pH and EC of the 0-7, 7-14 and 14-21 cm stratas as well as other chemical properties thereof, maintained at levels closer to the optimum than other treatments from subirrigation and surface irrigation. Fruit yield was associated with an increase in average concentration of NO_3^- , K^+ and Ca^{2+} in the substrate, suggesting that the irrigation method used can dramatically impact plant productivity with subirrigation systems. Roupael *et al.* (2008) mention the importance of maintaining a favorable EC in lower strata of the substrate to maintain optimum crop yield due to the presence of greater proportion from the root system at this depth.

The results reported by Santamaría *et al.* (2003); Scholberg and Locascio (1999) differ from those obtained in this research, reporting that with drip irrigation tomato production was greater than with subirrigation as a result of EC in subirrigation. Martinetti *et al.* (2008) mention that

se mantuvieron en niveles más cercano al óptimo que el resto de los tratamientos de subirrigación y riego superficial. El rendimiento de fruto estuvo asociado con un aumento en la concentración promedio de NO_3^- , K^+ y Ca^{2+} en el sustrato, lo cual sugiere que el método de riego utilizado puede impactar marcadamente la productividad de las plantas cultivadas con sistemas de subirrigación. Rouphael *et al.* (2008) mencionan que es importante mantener una CE favorable en las capas inferiores del sustrato para obtener un rendimiento óptimo de los cultivos debido a la presencia de una mayor proporción del sistema radicular a esta profundidad.

Los resultados reportados por Santamaría *et al.* (2003); Scholberg y Locascio (1999) difieren de los obtenidos en esta investigación, ya que reportan que con riego por goteo la producción de tomate fue mayor que con subirrigación como resultado de la CE en subirrigación. Martinetti *et al.* (2008) mencionan que la diferencia en cuanto a rendimiento de los sistemas de subirrigación y riego por goteo se debe a que con subirrigación la CE se concentra en la parte superior, mientras que con riego por goteo la CE es menor y se distribuye de manera uniforme en todo el volumen del sustrato, lo cual fue confirmado en el presente estudio.

El hecho de que las plantas que obtuvieron el mayor rendimiento no coincida con una mayor producción de materia seca se reflejó en el índice de cosecha, lo que sugiere que en las plantas subirrigadas con una lámina de 15 cm mantenida por 20 min, así como en las plantas con riego superficial, se establece una distribución de la biomasa más favorable hacia la producción de fruto. A pesar de que en el sustrato de plantas subirrigadas con láminas de 15 cm mantenidas durante 30 min se obtuvo un mayor CH, esto no fue favorable para las plantas porque promovió un mayor crecimiento de las partes vegetativas en lugar de promover la producción de frutos. Lo anterior también sugiere que en el caso del pimiento, las láminas de subirrigación no deben sostenerse por un tiempo de más de 20 min, pues las condiciones de anoxia prolongada pueden estar afectando el crecimiento.

El pH inicial del sustrato fue de 6.1, sin embargo, al finalizar el experimento este fue acidificado en función del estrato así como el tratamiento aplicado, lo cual puede deberse a la extrusión de ion hidrógeno (H^+) cuando la planta absorbe cationes (Voogt, 1995). En los tratamientos en los que se obtuvo el mayor rendimiento (lámina de 15 cm mantenida durante 20 min y el riego superficial), el pH tendió a aumentar conforme se eleva la altura del estrato, siendo más alto en el estrato superior, lo que sugiere que en la parte más baja

the difference regarding yield of subirrigation systems and drip irrigation is due to with subirrigation EC concentrates on the upper part, while with drip irrigation EC is lower and is distributed uniformly throughout the volume of the substrate, which was confirmed in this study.

The fact that plants obtained higher yield did not matched to a higher production of dry matter which reflected in harvest index, suggesting that subirrigated plants with a lamina of 15 cm maintained for 20 min as well as surface irrigation, a more favorable biomass distribution towards fruit production was established. Although substrate from subirrigated plants with lamina of 15 cm maintained for 30 min was obtained with higher CH, this was not favorable for plants because it promoted higher growth of vegetative parts instead of promoting fruit production. This also suggests that in the case of pepper, subirrigation laminas should not be sustained for a period over 20 minutes, because the prolonged anoxia conditions may be affecting growth.

The initial pH of the substrate was 6.1, however, at the end of the experiment this was acidified in function of the strata and the applied treatment, which may be due to the extrusion of hydrogen ion (H^+) when the plant absorbs cations (Voogt, 1995). In treatments where the highest yield (lámina 15 cm mantenida for 20 min and the surface irrigation) was obtained, pH tended to increase as strata height rises, being higher in the upper strata, suggesting that in the lower part of the container, the most acidified and where a greater amount of root accumulates, nutrient uptake was more intense. An opposite behavior was presented by subirrigating with laminas of 10 cm for 20 min and 15 cm for 30 min and pH tended to decrease in the upper strata, suggesting that the highest activity of nutrient uptake was carried in the upper part of the substrate. Martinetti *et al.* (2008) reported that with subirrigation pH was more acidic in upper layers of the substrate, while with drip irrigation pH remained stable in the different strata of the container.

EC from substrate at the beginning of the study was 0.6 dS m^{-1} , but at the end of the experiment was 1.02-1.2 dS m^{-1} in the lower strata to 1.56-2.23 dS m^{-1} in the upper strata, having a rising behavior to the upper strata in all treatments. A similar pattern of salt accumulation with subirrigation systems has been reported in numerous studies (Cox, 2001; Zheng *et al.*, 2004). Kang and van Iersel (2001) mentions that salt accumulation in the culture medium depends on salt

del contenedor, las más acidificada y en la que se acumula una mayor cantidad de raíces, la absorción de nutrientes fue más intensa. Un comportamiento opuesto se presentó al subirrigar con láminas de 10 cm durante 20 min y 15 cm durante 30 min ya que el pH tendió a disminuir en los estratos más elevados, lo que sugiere que la mayor actividad de absorción de nutrientes se llevó a cabo en la parte más alta del sustrato. Martinetti *et al.* (2008) reportaron que con subirrigación el pH fue más ácido en la capa superior del sustrato, mientras que con riego por goteo el pH se mantuvo estable en las diferentes capas del contenedor.

La CE del sustrato al inicio del estudio fue de 0.6 dS m^{-1} , pero al finalizar el experimento fue de $1.02\text{-}1.2 \text{ dS m}^{-1}$ en el estrato inferior a $1.56\text{-}2.23 \text{ dS m}^{-1}$ en el estrato superior, teniendo un comportamiento creciente hacia los estratos superiores en todos los tratamientos. Un patrón similar de acumulación de sales con los sistemas de subirrigación se ha informado en numerosos estudios (Cox, 2001; Zheng *et al.*, 2004). Kang y van Iersel (2001) mencionan que la acumulación de sales en el medio de cultivo depende de la concentración de sales aplicadas con la SN, el sistema de riego, y la demanda de evaporación del medio ambiente. Al implementar una lámina de 15 cm por 30 min la CE fue mayor en cada uno de los estratos, lo cual puede deberse a que con esta lámina y tiempo de riego se obtuvo un mayor volumen de SN en el perfil del sustrato, lo que aumentó la acumulación de minerales aplicados en la SN. La mayor CE en las capas superiores con subirrigación es debido a que el movimiento del agua en el interior del sustrato es favorecido por la fuerza de capilaridad, flujo de masas de nutrientes, captación selectiva de minerales por la raíz (Rouphael y Colla, 2005; Reed, 1996; Incrocci *et al.*, 2006; Rouphael *et al.*, 2006) y por la evaporación desde la superficie del sustrato (Rouphael *et al.*, 2008); en contraste, la CE tendió a ser menor en cada estrato cuando se utilizó el riego superficial. Bouchaaba *et al.* (2015); Incrocci *et al.* (2006) asociaron el incremento de la CE del medio de crecimiento al incremento en las concentraciones de Na^+ y Cl^- en la capa superior del sustrato mientras que Incrocci *et al.* (2006) encontraron que el K^+ no influye en el incremento de la CE en sistemas de subirrigación.

El Ca^{2+} tendió a incrementarse en el estrato superior de ambos sistemas de riego, siendo de 358 ppm con riego por goteo y de 142-197 ppm con subirrigación, lo que sugiere que el movimiento de Ca^{2+} al estrato superior fue afectado por subirrigación. El K^+ y NO_3^- tendieron a reducirse en el estrato superior en plantas subirrigadas, contrario a lo que ocurrió

concentración aplicada con SN, el sistema de riego, y la demanda por evaporación ambiental. Al implementar una lámina de 15 cm por 30 min la EC fue mayor en cada uno de los estratos, lo cual puede deberse a que con esta lámina y tiempo de riego se obtuvo un mayor volumen de SN en el perfil del sustrato, lo que aumentó la acumulación de minerales aplicados en la SN. La mayor EC en las capas superiores con subirrigación es debido a que el movimiento del agua en el interior del sustrato es favorecido por la fuerza de capilaridad, flujo de masas de nutrientes, captación selectiva de minerales por la raíz (Rouphael y Colla, 2005; Reed, 1996; Incrocci *et al.*, 2006; Rouphael *et al.*, 2006) and by evaporation from the substrate surface (Rouphael *et al.*, 2008); in contrast, EC tended to be lower in each strata when the surface irrigation was used. Bouchaaba *et al.* (2015) Incrocci *et al.* (2006) associated the increase of EC of the growth medium to increased concentrations of Na^+ and Cl^- in the upper strata of the substrate while Incrocci *et al.* (2006) found that K^+ does not affect the increase of EC in subirrigation systems.

The Ca^{2+} tended to increase in the upper strata of both irrigation systems, being of 358 ppm with drip irrigation and 142-197 ppm with subirrigation, suggesting that Ca^{2+} movement to the upper strata was affected by subirrigation. K^+ and NO_3^- tended to decrease in the upper strata in subirrigated plants, contrary to what happened with drip irrigation. In other studies with subirrigation has been reported the accumulation of K^+ (Haley and Reed, 2004; Richards and Reed, 2004; Zheng *et al.*, 2004; Martinetti *et al.*, 2008; Montesano *et al.*, 2010), NO_3^- (Zheng *et al.*, 2004; Martinetti *et al.*, 2008; Montesano *et al.*, 2010), H_2PO_4^- , Mg^{2+} , Ca^{2+} and Na^+ (Zheng *et al.*, 2004; Martinetti *et al.*, 2008) in the upper strata of the container.

Conclusions

Pepper production under subirrigation systems is feasible as yields are similar to those obtained when grown with surface irrigation. To take advantage of subirrigation in pepper, the SN lamina must be 15 cm and this has to be maintained for a period of 20 min to achieve favorable water retention for this species.

End of the English version



con riego por goteo. En otros estudios con subirrigación se ha reportado la acumulación de K^+ (Haley y Reed, 2004; Richards y Reed, 2004; Zheng *et al.*, 2004; Martinetti *et al.*, 2008; Montesano *et al.*, 2010), NO_3^- (Zheng *et al.*, 2004; Martinetti *et al.*, 2008; Montesano *et al.*, 2010), $H_2PO_4^-$, Mg^{2+} , Ca^{2+} y Na^+ (Zheng *et al.*, 2004; Martinetti *et al.*, 2008) en la capa superior del contenedor.

Conclusiones

La producción de pimiento bajo sistemas de subirrigación es factible ya que los rendimientos son similares a los obtenidos cuando se cultiva con riego superficial. Para aprovechar las ventajas de la subirrigación en pimiento, la lámina de la SN debe de ser de 15 cm y esta debe de mantenerse por un tiempo de 20 min para lograr la retención de agua favorable para esta especie.

Literatura citada

- Ahmed, A. K.; Cresswell, G. C. and Haigh, A. M. 2000. Comparison of sub-irrigation and overhead irrigation of tomato and lettuce seedlings. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 75(3):350-354.
- Cox, D. A. 2001. Growth, nutrient content, and growth medium electrical conductivity of poinsettia irrigated by subirrigation or from overhead. *J. Plant Nutrit.* 24(3):523-533.
- Da Silva, F. F.; Wallach, R. and Chen, Y. 1993. Hydraulic properties of sphagnum peat moss and tuff (scoria) and their potential effects on water availability. *Netherlands. Plant Soil.* 154(1):119-126.
- Gizas, G. and Savvas, D. 2007. Particle size and hydraulic properties of pumice affect growth and yield of greenhouse crops in soilless culture. *USA. HortScience.* 42(5):1274-1280.
- Haley, T. B. and Reed, D. W. 2004. Optimum potassium concentrations in recirculating subirrigation for selected greenhouse crops. *HortScience.* 39(6):1441-1444.
- Incrocci, L.; Malorgio, F.; Della B. A. and Pardossi, A. 2006. The influence of drip irrigation or subirrigation on tomato grown in closed-loop substrate culture with saline water. *Scientia Hortic.* 107(4):365-372.
- James, E. and Van, I. M. 2001. Fertilizer concentrations affect growth and flowering of subirrigated petunias and begonias. *HortScience.* 36(1):40-44.
- Kang, J. G. and Van, I. M. W. 2001. Interactions between temperature and fertilizer concentration affect growth of subirrigated petunias. *J. Plant Nutrit.* 24(4-5):753-765.
- Kent, M. W. and Reed, D. W. 1996. Nitrogen nutrition of new Guinea Impatiens "Barbados" and *Spathiphyllum* "Petite" in a subirrigation system. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 121(5):816-819.
- Klock-Moore, K. A. and Broschat, T. K. 1999. Differences in bedding plant growth and nitrate loss with a controlled-release fertilizer and two irrigation systems. *HortTechnol.* 9(2):206-209.
- Mak, A. T. and Yeh, D. M. 2001. Nitrogen nutrition of *Spathiphyllum* "Sensation" grown in sphagnum-peat and coir-based media with two irrigation methods. *HortScience.* 36(4):645-649.
- Martinetti, L.; Ferrante, A. and Quattrini, E. 2008. Effect of drip or subirrigation on growth and yield of *Solanum melongena* L. in closed systems with salty water. *Res. J. Biol. Sci.* 3(5):467-474.
- Montesano, F.; Parente, A. and Santamaria, P. 2010. Closed cycle subirrigation with low concentration nutrient solution can be used for soilless tomato production in saline conditions. *Scientia Hortic.* 124(3):338-344.
- Morvant, J. K.; Dole, J. M. and Allen, E. 1997. Irrigation systems alter distribution of roots, soluble salts, nitrogen, and pH in the root medium. *HortTechnol.* 7(2):156-160.
- NeSmith, D. S. and Duval, J. R. 1998. The effect of container size. *HortTechnol.* 8(4):495-498.
- Pinto, J. R.; Chandler, R. A. and Dumroese, R. K. 2008. Growth, nitrogen use efficiency, and leachate comparison of subirrigated and overhead irrigated pale purple coneflower seedlings. *HortScience.* 43(3):897-901.
- Purvis, P.; Chong, C. and Lumis, G. P. 2000. Recirculation of nutrients in container nursery production. *Canada. Canadian J. Plant Sci.* 80(1):39-45.
- Reed, D. W. 1996. Closed production systems for containerized crops: recirculating subirrigation and zero-leach system. *In: water, media and nutrition for greenhouse crops.* Reed, D. W. (Ed). 1^a (Ed.). Ball Publishing. Batavia, IL, USA. 221-245 pp.
- Richards, D. and Reed, D. 2004. New Guinea impatiens growth response and nutrient release from controlled-release fertilizer in a recirculating subirrigation and top-watering system. *HortScience.* 39(2):280-286.
- Rouphael, Y. and Colla, G. 2005. Growth, yield, fruit quality and nutrient uptake of hydroponically cultivated zucchini squash as affected by irrigation systems and growing seasons. *Scientia Hortic.* 105(2):177-195.
- Rouphael, Y.; Cardarelli, M.; Rea, E. and Colla, G. 2008. The influence of irrigation system and nutrient solution concentration on potted geranium production under various conditions of radiation and temperature. *Scientia Hortic.* 118(4):328-337.
- Rouphael, Y.; Cardarelli, M.; Rea, E.; Battistelli, A. and Colla, G. 2006. Comparison of the subirrigation and drip-irrigation systems for greenhouse zucchini squash production using saline and non-saline nutrient solutions. *Agric. Water Manag.* 82(1):99-117.
- Rouphael, Y.; Colla, G.; Battistelli, A.; Moscatello, S. and Rea, E. 2004. Yield, water requirement, nutrient uptake and fruit quality of zucchini squash grown in soil and soilless culture. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 79(3):423-430.
- Santamaría, P.; Campanile, G.; Parente, A. and Elia, A. 2003. Subirrigation vs. drip-irrigation: effects on yield and quality of soilless grown cherry tomato. *United Kingdom. J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 78(3):290-296.
- Scholberg, J. M. S. and Locascio, S. J. 1999. Growth response of snap bean and tomato as affected by salinity and irrigation method. *HortScience.* 34(2):259-264.
- Scoggins, H. L. 2005. Determination of optimum fertilizer concentration and corresponding substrate electrical conductivity for ten taxa of herbaceous perennials. *HortScience.* 40(5):1504-1506.
- Serio, F.; Elia, A.; Signore, A. and Santamaria, P. 2004. Influence of nitrogen form on yield and nitrate content of subirrigated early potato. *J. Sci. Food Agric.* 84(11):1428-1432.

- Siddiqi, M. Y.; Kronzucker, H. J.; Britto, D. T. and Glass, A. D. M. 1998. Growth of a tomato crop at reduced nutrient concentrations as a strategy to limit eutrophication. *J. Plant Nutrit.* 21(9):1879-1895.
- Steiner, A. A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil.* 15(2):134-154.
- Uva, W.; Weiler T. and Milligan R. 2001. Economic analysis of adopting zero runoff subirrigation systems in greenhouse operations in the northeast and north central United States. *HortScience.* 36(1):167-173.
- Van Os, E. A. 1999. Closed soilless growing systems: a sustainable solution for Dutch greenhouse horticulture. *Water Sci. Technol.* 39(5):105-112.
- Vence, L. B. 2008. Disponibilidad de agua-aire en sustratos para plantas. Argentina. *Ciencia del Suelo.* 26(2):105-114.
- Voogt, W. 1995. Effects of the pH on rockwool grown carnation (*Dianthus caryophyllus*). *Acta Hort.* 401:327-336.
- Whitcher, C. L.; Kent, M. W. and Reed, D. W. 2005. Phosphorus concentration affects New Guinea impatiens and vinca in recirculating subirrigation. *HortScience.* 40(7):2047-2051.
- Yeh, D. M.; Hsu, P. H. and Atherton, J. G. 2004. Growth and flowering response of *Canna x generalis* to nitrogen supplied to the growing medium via top- or sub- irrigation. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 79(4):511-514.
- Zheng, Y.; Graham, T.; Richard, S. and Dixon, M. 2004. Potted gerbera production in a subirrigation system using low-concentration nutrient solutions. *HortScience.* 39(6):1283-1286.