

Respuestas de lechuga a la conductividad eléctrica con riego superficial y subirrigación*

Lettuce response to electrical conductivity with surface irrigation and sub-irrigation systems

Alejandro Cepeda-Guzmán¹, Luis A. Valdez-Aguilar^{1§}, Ana M. Castillo-González², Norma A. Ruiz-Torres³, Valentín Robledo-Torres¹ y Rosalinda Mendoza-Villarreal¹

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Departamento de Horticultura. Calzada Antonio Narro 1923, Col. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. C. P. 25315. (acepeda89@hotmail.com; varoto@prodigy.net.mx; rosalandamendoza@hotmail.com). ²Universidad Autónoma Chapingo-Departamento de Fitotecnia. Carretera, México-Texcoco, km 38.5. (anasofiacasg@hotmail.com). ³Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Departamento de Fitomejoramiento, Calzada Antonio Narro 1923, Col. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. C. P. 25315. (n_nruiz@hotmail.com). [§]Autor para correspondencia: luisalonso.valdez@uaaan.mx.

Resumen

La salinidad inhibe el crecimiento de las plantas y reduce la productividad agrícola a causa de un déficit hídrico, toxicidad por los iones que la inducen y al desbalance nutrimental que ocasiona. Un sistema de subirrigación parte del principio del ascenso capilar del agua hasta la zona radical, reduciendo la lixiviación de nutrimentos en comparación con los sistemas tradicionales de riego. En las zonas áridas del norte de México se presentan con frecuencia altos niveles de calcio (Ca), magnesio y sulfato en el agua de riego, lo que impacta directamente en la conductividad eléctrica (CE). El presente estudio se planteó con el objetivo de evaluar el efecto de la CE sobre el crecimiento de plantas de lechuga empleando dos tipos de sistemas de riego: superficial y subirrigación. El diámetro de las plantas fue mayor en plantas con riego superficial en comparación con aquellas con subirrigación; sin embargo, las plantas subirrigadas con solución de 3.3 dS m⁻¹ mostraron un mayor peso fresco que aquellas con riego superficial, por lo que este sistema es una buena opción para mitigar el efecto por salinidad en lechuga. La tasa de fotosíntesis neta, transpiración y conductancia de la hojas no fueron afectadas por el sistema de riego empleado, pero la transpiración y conductancia fueron mayores en plantas subirrigadas. A mayor CE de la solución

Abstract

Salinity suppresses plant growth and reduce agricultural productivity due to a water deficit, ion toxicity, causing nutrient skewness. A sub-irrigation system on principle, is based on capillary rise of water, up to the root zone, decreasing nutrient leaching compared with traditional watering systems. In void areas of northern Mexico, there are often high levels of calcium (Ca), magnesium and sulphate in irrigation water, directly affecting the electrical conductivity (EC). This paper proposed to evaluate the effect of EC on the growth of lettuce plants using two types of irrigation systems: surface and sub-irrigation. The diameter of the plants was bigger in plants with surface irrigation system compared to those with sub-irrigation; however, plants sub-irrigated with solution 3.3 dS m⁻¹ showed a higher fresh weight than those with surface irrigation, so this system is a good option to meliorate the effect of salinity. The rate of photosynthesis, transpiration and leaf conductance were not altered by the irrigation system at all, but transpiration and conductance were higher in sub-irrigated plants. A higher EC of the nutrient solution increased the bottom EC of the substrate, and the middle and top layer, and the surface irrigation system was higher compared to that presented by

* Recibido: febrero de 2014
Aceptado: julio de 2014

nutritiva se presentó un aumento en la CE de la parte inferior del sustrato, así como del estrato medio y superior, y con riego superficial esta fue mayor en comparación con subirrigación. La alta CE de la solución nutritiva no afectó la concentración de nitrógeno ni de fósforo, pero al elevarse la CE de la solución se incrementó la concentración foliar de potasio.

Palabras clave: cultivos sin suelo, nutrición, salinidad, tolerancia al estrés.

Introducción

La salinización ha sido identificada como un factor muy importante en la degradación de los suelos agrícolas (Barkla *et al.*, 2007) ya que afecta 7% de la superficie terrestre del mundo (Szablocs 1994; FAO, 2008; Munns y Tester, 2008). Se estima que por una alta salinidad se pierden al año cerca de 1.5 millones de hectáreas de suelos irrigados, lo cual reduce la productividad agrícola (Barkla *et al.*, 2007). De los 1 500 millones de hectáreas de tierras cultivadas por la agricultura de secano, 32 millones de hectáreas (2.1%) se ven afectados por la salinidad en diversos grados (FAO, 2008).

Por otra parte, 30% de los 5.5 millones de hectáreas que son irrigadas en México están afectadas por una alta salinidad (Barkla *et al.*, 2007). El problema se produce por acumulación de sales solubles en la zona radical hasta niveles o concentraciones que causan pérdidas de rendimiento (Báez, 1999). La salinidad es causada por una excesiva acumulación de iones, principalmente sodio (Na), calcio (Ca), magnesio (Mg), cloro (Cl), sulfato (SO_4^{2-}), carbonatos (CO_3^{2-}) y bicarbonatos (HCO_3^-) (Cartmill *et al.*, 2007; Grattan y Grieve, 1999), y cuando la CE es igual o mayor de 4 dS m^{-1} (USDA-ARS, 2008), lo que equivale a aproximadamente 40 mM de NaCl y una presión osmótica de -0.2 MPa (Munns y Tester, 2008). Lo anterior provoca un incremento en el potencial osmótico y la presencia de algunos iones que alcanzan concentraciones tóxicas para algunos cultivos (INIFAP, 2001).

La salinidad puede inhibir el crecimiento de las plantas y reducir la productividad a causa de factores como: el déficit hídrico, la toxicidad por iones y un desbalance nutrimental (Munns, 2002). La reducción en la capacidad de la planta para absorber agua debido al bajo potencial hídrico rápidamente da lugar a reducciones en la tasa de crecimiento (Barrett-Lennard, 2003) junto con una serie de cambios metabólicos relacionados con los causados por el estrés hídrico. Las

sub-irrigation. High EC of the nutrient solution did not attain the concentration of nitrogen or phosphorus whatsoever, but at elevated EC of the substance, the foliar potassium concentration did increased.

Keywords: soilless crops, nutrition, salinity, stress tolerance.

Introduction

Salinization has been identified as a major factor in the degradation of agricultural soils, (Barkla *et al.*, 2007) affecting 7% of the world's land surface (Szablocs, 1994, FAO; 2008, Munns and Tester, 2008). It is estimated that because of high salinity, about 1.5 million hectares of irrigated soils are lost every year, reducing agricultural productivity (Barkla *et al.*, 2007). From the 1 500 million hectares of land cultivated by rainfed agriculture, 32 million hectares (2.1%) are indeed affected by salinity (FAO, 2008).

Moreover, 30% of the 5.5 million hectares irrigated in Mexico are affected by high salinity as well (Barkla *et al.*, 2007). The problem is caused by the accumulation of soluble salts in the root zone to levels or concentrations causing yield losses (Baez, 1999). Salinity is caused by an excessive accumulation of ions, especially sodium (Na), calcium (Ca), magnesium (Mg), chlorine (Cl), sulfate (SO_4^{2-}), carbonate (CO_3^{2-}) and bicarbonate (HCO_3^-) (Cartmill *et al.*, 2007; Grattan and Grieve, 1999), and when EC is equal to or greater than 4 dS m^{-1} (USDA-ARS, 2008), equivalent to approximately 40 mM NaCl and an osmotic pressure of -0.2 MPa (Munns and Tester, 2008). This causes an increase in osmotic potential and the presence of some ions reaching toxic levels for some crops (INIFAP, 2001).

Salinity can inhibit plant growth and reduce productivity because of factors such as water deficit, ion toxicity and nutrient imbalance (Munns, 2002). The reduction in the ability of the plant to absorb water due to low water potential rapidly leads to reductions in the rate of growth (Barrett-Lennard, 2003) along with a number of metabolic changes associated with those caused by water stress. Excessive amounts of ions that enter the plant under salt stress elevated concentrations of these in the older leaves, reaching toxic levels and causing premature aging, in addition to reduction in leaf area (Munns, 2002).

cantidades excesivas de iones que entran a la planta sometida a estrés por salinidad elevan las concentraciones de estos en las hojas más viejas, llegando a niveles tóxicos y causando envejecimiento prematuro, además de reducción en el área foliar (Munns, 2002).

El diseño del sistema de subirrigación parte del principio de que el estrato actúa como una barrera al movimiento vertical del agua, lo cual produce el movimiento lateral de la misma (Renny *et al.*, 2003; Schmal *et al.*, 2011). El ascenso del agua hasta la zona radical por efecto de la capilaridad reduce la cantidad de agua necesaria para el crecimiento de las plantas, permitiendo la utilización de aguas residuales y reduciendo la lixiviación de nutrientes, en comparación con los sistemas tradicionales de riego; además, la subirrigación produce beneficios adicionales como una mayor uniformidad de los cultivos y mejora del rendimiento (Schmal *et al.*, 2011).

Considerando que en las zonas áridas del norte de México se presentan con frecuencia altos niveles de Ca, Mg y SO_4^{2-} en el agua de riego, y que estos impactan directamente la conductividad eléctrica (CE), se planteó evaluar el crecimiento y estado nutricional de plantas de lechuga empleando dos tipos de sistemas de riego: superficial y subirrigación, con soluciones nutritivas de alta CE causada por alta concentración de los iones mencionados para definir si el sistema de subirrigación influye en la respuesta de las plantas a la salinidad al aprovechando el movimiento vertical de las sales, alejándolas de la zona radical.

Materiales y métodos

El presente trabajo se realizó en el invernadero del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicado en la ciudad de Saltillo, Coahuila, en las coordenadas geográficas: 25° 27' de latitud norte, 101° 02' de longitud oeste y a una altitud de 1 610 m.

Se utilizaron plántulas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cv. Iceberg las cuales fueron trasplantadas en un contenedor (bolsas de polietileno negro de 10 L) con un sustrato compuesto de una mezcla de turba ácida (80% v/v) y perlita (20% v/v). El pH del sustrato fue ajustado a 6 con bicarbonato de sodio y posteriormente lavado para eliminar el exceso del catión. El trasplante, una planta por contenedor, se realizó el 10 de octubre de 2012 y los contenedores se distribuyeron utilizando el sistema a tresbolillo.

The sub-irrigation design based on the principle that the layer acts as a barrier to vertical movement of the water, which causes the lateral movement (Renny *et al.*, 2003; Schmal *et al.*, 2011). The rise of the water to the root zone by capillary action reduces the amount of required for the growth of water plants, allowing the use of waste water and reducing the leaching of nutrients, in comparison with traditional watering systems; also the additional benefit of sub-irrigation is crop uniformity and yield improvement (Schmal *et al.*, 2011).

Considering that in the arid north of Mexico are often present high levels of Ca, Mg and SO_4^{2-} in the irrigation water, and that these directly affect the electrical conductivity (EC), the growth rate was raised and spent nutritional lettuce plants using two types of irrigation systems: surface and sub-irrigation with high EC nutrient solutions caused by high concentration of ions mentioned to define whether sub-irrigation influences the response of plants to salinity to advantage vertical movement of the salts, removing them from the root zone.

Materials and methods

This work was conducted in the greenhouse of the Department of Horticulture in Antonio Narro Agrarian Autonomous University, located in the city of Saltillo, Coahuila, in geographical coordinates: 25° 27' north latitude, 101° 02' west longitude and an elevation of 1 610 m.

Seedlings of lettuce (*Lactuca sativa* L.) cv. Iceberg which were transplanted in a container (in 10 L black polyethylene bags) with a substrate consisting of a mixture of peat acid (80% v/v) and perlite (20% v/v). Substrate pH was adjusted to 6 with sodium bicarbonate and then washed to remove excess of the cation. Transplantation, one plant per container, was held on October 10, 2012 and the containers were distributed using the staggered system.

The treatments consisted of nutrient solutions with varying concentrations of Ca, Mg and SO_4^{2-} , which allowed obtaining a particular CE, as shown in Table 1, and applied both in surface irrigation and sub-irrigation. The other nutrients were kept constant and corresponded to the concentration of the Hoagland solution.

Los tratamientos consistieron en soluciones nutritivas con concentraciones variantes de Ca, Mg y SO_4^{2-} , lo que permitió la obtención de una CE determinada, como se muestra en el Cuadro 1, y se aplicaron tanto en un sistema de riego superficial como en subirrigación. Los restantes nutrimentos se mantuvieron constantes y correspondieron a la concentración de la solución de Hoagland.

Los riegos se efectuaron según las necesidades del cultivo; durante los primeros 12 días las plantas se regaron con la solución de Hoagland al 100%; posteriormente, a partir de día 13 después del trasplante, se inició el riego con los tratamientos indicados. El riego superficial consistió en aplicar el agua manualmente, 3 a 4 L por planta, en la superficie del sustrato cuando se había evapotranspirado 50% del contenido de humedad. En el caso de la subirrigación, la solución se mantenía en un recipiente en donde se encontraban tres contenedores con su respectiva planta; la duración del riego fue de 20 min, administrando una lámina de 12 cm (15.5 L) de solución nutritiva en cada uno de los contenedores utilizados para mantenerla. En subirrigación, el sustrato retuvo entre 2.5 y 5.5 L de la solución por planta, dependiendo de la etapa fenológica del cultivo.

Para la preparación de las soluciones nutritivas se consideró la composición química del agua de riego previamente analizada y se utilizaron los siguientes sales fertilizantes: fosfato monopotásico (KH_2PO_4), nitrato de potasio (KNO_3), nitrato de calcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), ácido nítrico (HNO_3), sulfato de magnesio ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), cloruro de calcio (CaCl_2), y ácido sulfúrico (H_2SO_4); los micronutrientes fueron aplicados en forma de quelatos.

La cosecha se realizó cuando las plantas alcanzaron madurez comercial, a los 70 días después del trasplante. Se evaluaron las variables: diámetro de la planta y peso fresco, además de la CE del sustrato en el estrato inferior, medio y superior del cepellón. La CE se determinó en tres muestreos del sustrato durante el desarrollo del experimento (a los 25, 50 y 70 días después del trasplante), para lo cual el cepellón fue seccionado en los estratos mencionados y se secaron para posteriormente preparar una mezcla de sustrato más agua destilada en una proporción de 1:2 (v/v). Esta mezcla se mantuvo por 60 min y al filtrado se le cuantificó la CE con un conductímetro. Previo a la cosecha, se determinó la tasa de fotosíntesis neta, transpiración, y conductancia en hojas maduras de las plantas con un analizador de gases en infrarrojo (IRGA Li-cor LI-6200 Licor Inc.); esta medición se hizo entre las 12:00 y 14:00 h.

Irrigation was performed according to the crop needs; during the first 12 days the plants were watered with Hoagland solution at 100%; then from day 13 after transplantation, irrigation began with the indicated treatments. The surface irrigation consisted manually applying 3 to 4 L per plant, in the surface of the substrate when 50% moisture content had evapotranspired. For sub-irrigation, the solution was kept in a vessel in which three containers were with their respective plant; the run time was 20 min, administering a sheet of 12 cm (15.5 L) of nutrient solution in each of the containers used to hold. In sub-irrigation, the substrate held between 2.5 and 5.5 L of the solution per plant, depending on the phenological stage of cultivation.

Cuadro 1. Concentración de calcio (Ca), magnesio (Mg) y sulfato (SO_4^{2-}) en la solución nutritiva y conductividad eléctrica (CE) resultante.

Table 1. Concentration of calcium (Ca), magnesium (Mg) and sulphate (SO_4^{2-}), into the nutrient solution and the resulting electrical conductivity (EC).

CE (dS m^{-1})	Ca	Mg (meq L^{-1})	SO_4^{2-}
2.19 (control)	8	3.33	2
2.5	12	5.25	8.5
2.84	15	7.08	15
3.3	20	10.17	20

For the preparation of the nutrient solutions, considering the previously discussed irrigation water and fertilizers, the salts used were as following: potassium dihydrogen phosphate (KH_2PO_4), potassium nitrate (KNO_3), calcium nitrate ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), nitric acid (HNO_3), magnesium sulphate ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), calcium chloride (CaCl_2), and sulphuric acid (H_2SO_4); micronutrients were applied in the form of chelates.

The harvest took place when the plants reached commercial maturity at 70 days after transplantation. The variables evaluated were: plant diameter and fresh weight, plus the EC of the substrate in the bottom tier, middle and top of the root ball. The CE was determined on three samples of the substrate during the course of the experiment (at 25, 50 and 70 days after transplant), for which the rootball was sectioned in the layers above and dried to subsequently prepare a substrate mixture over distilled water in a ratio of 1:2 (v/v). This mixture was held for 60 min and the filtrate was quantified by an EC conductivity. Before harvest, the rate of photosynthesis, transpiration, and conductance in

Se realizó un análisis mineral de tejidos en la parte aérea de tres plantas por repetición. Las muestras fueron lavadas con agua destilada e introducidas en bolsas de papel y llevadas a un horno de secado a 70 °C, por 72 h. El material seco se llevó a molienda en un molino Analytical Mill (marca Tekmar Co. modelo A-10). Las muestras de las plantas se homogeneizaron para proceder a determinar la concentración de nitrógeno (N) por el método de Kjeldhal. La concentración de K en los tejidos se determinó con un flamómetro Corning 400, tomando una muestra del digestado obtenido a partir de 0.5 g de muestra molida (Alcántar y Sandoval, 1999). La concentración de fósforo (P), Ca, y Mg se determinaron por espectrometría de emisión de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES VARIAN, modelo Liberty) utilizando el extracto diluido (1:50) obtenido con la digestión ácida de las muestras secas.

El experimento se estableció en un diseño en bloques completos al azar con arreglo factorial, con cuatro niveles de CE y dos niveles de sistemas de riego. Cada tratamiento tuvo 4 repeticiones y cada unidad experimental estuvo constituida por tres contenedores con una planta cada uno. Los datos se analizaron mediante análisis de varianza con SAS v. 8.0.

Resultados

El diámetro fue mayor en plantas con riego superficial en comparación con aquellas con subirrigación (Figura 1), sin embargo, esta diferencia fue más marcada cuando las plantas se irrigaron con soluciones de baja CE ($\leq 2.84 \text{ dS m}^{-1}$). Las plantas irrigadas con soluciones con CE de 2.5 dS m^{-1} fueron las de mayor diámetro cuando se regaron superficialmente. En plantas subirrigadas no se detectó algún efecto en el diámetro.

El peso fresco fue afectado significativamente por la CE (Figura 1). En plantas con riego superficial se presenta un claro efecto entre las que recibieron una CE $\leq 2.5 \text{ dS m}^{-1}$ en comparación con el resto, siendo este superior en 50% comparado con el de las plantas que recibieron una CE de 3.3 dS m^{-1} . Las plantas subirrigadas con solución de 3.3 dS m^{-1} mostraron mayor peso fresco que aquellas con riego superficial, por lo que este sistema podría ser una buena opción para mitigar el efecto por salinidad en lechuga.

mature leaves of plants with infrared gas analyzer (IRGA Licor LI-6200, Licor Inc.) was determined; this measurement was made between 12:00 and 14:00.

Tissue mineral analysis was performed on the aerial parts of three plants per replication. The samples were washed with distilled water and inserted into paper bags and brought to a drying oven at 70 °C for 72 h. The dried material was milling for Analytical Mill (Tekmar Co. brand model A-10). The samples were homogenized to proceed to determine the concentration of nitrogen (N) using the Kjeldahl method. The concentration of K in the tissues was determined with a Firestop, Corning 400, taking a sample of digestate, obtained from 0.5 g of ground sample (Alcántar and Sandoval, 1999). The concentration of phosphorus (P), Ca, and Mg were determined by emission spectrometry inductively coupled plasma (ICP-AES Varian Liberty model) using the diluted extract (1:50) obtained by acid digestion of the dried samples.

The experiment was set in a design in complete randomized block with factorial arrangement with four EC levels and two levels of irrigation systems. Each treatment had 4 replications and each experimental unit consisted of three containers with one plant each. Data were tested by analysis of variance with SAS v. 8.0.

Results

The diameter was increased in surface irrigation plants compared to those sub-irrigation (Figure 1), however, this difference was even more marked when the plants were irrigated with a solution of EC ($\leq 2.84 \text{ dS m}^{-1}$) lower. Plants irrigated with solutions CE 2.5 dS m^{-1} were the larger diameter when watered surface. Sub-irrigated plants in some effect was detected in the diameter.

The fresh weight was significantly affected by the EC (Figure 1). In plants with surface irrigation clear effect among those who received a CE $\leq 2.5 \text{ dS m}^{-1}$ compared with other presents, being higher at 50% compared to plants that received an EC of 3.3 dS m^{-1} . The plants with sub-irrigated solution 3.3 dS m^{-1} showed that those with higher fresh weight surface irrigation, so this system could be a good option to mitigate the effect salinity in lettuce.

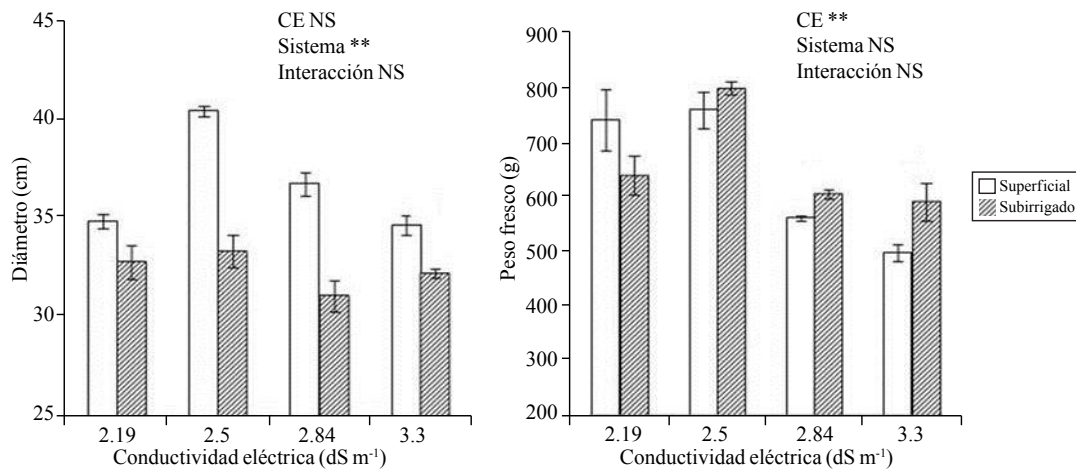


Figura 1. Diámetro y peso fresco de plantas de lechuga por efecto de la conductividad eléctrica (CE) causada por incrementos en la concentración de Ca, Mg y SO_4^{2-} en la solución nutritiva bajo dos sistemas de riego (superficial y subirrigación). Las barras representan el error estándar de la media ($n=4$). ns, **= no significativo y significativo con $p < 0.01$.

Figure 1. Diameter and fresh weight of lettuce plants due to the electrical conductivity (EC) caused by increases in the concentration of Ca, Mg and SO_4^{2-} . In the nutrient solution under two irrigation systems (surface and sub-irrigation). The bars represent the mean standard error ($n=4$). ns, **= not significant and significant at $p < 0.01$.

La tasa de fotosíntesis neta, transpiración y conductancia de la hojas (Figura 2) no fueron afectadas por el sistema de riego empleado, pero la transpiración y conductancia fueron mayores en plantas subirrigadas que en aquellas con riego superficial. Esta diferencia, incluida en la tasa de fotosíntesis, fue más notoria cuando la CE de las soluciones fue de 2.5 y 2.84 dS m⁻¹.

The rate of photosynthesis, transpiration and leaf conductance (Figure 2) were not affected by the irrigation system used, but the conductance and transpiration in plants were higher than those with sub-irrigated surface irrigation. This difference, including in the rate of photosynthesis was more pronounced when the EC of the solutions was 2.5 and 2.84 dS m⁻¹.

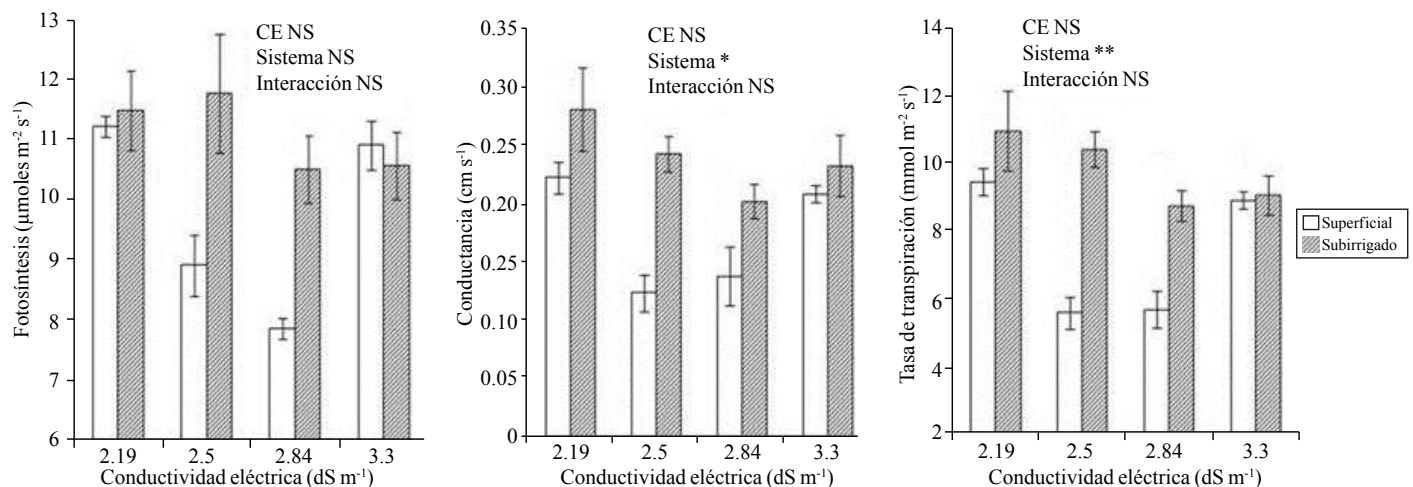


Figura 2. Tasa de fotosíntesis neta, conductancia y tasa de transpiración en plantas de lechuga por efecto de la conductividad eléctrica (CE) causada por incrementos en la concentración de Ca, Mg y SO_4^{2-} en la solución nutritiva bajo dos sistemas de riego (superficial y subirrigación). Las barras representan el error estándar de la media ($n=4$). ns, *, **= no significativo y significativo con $p < 0.05$ y $p < 0.01$, respectivamente.

Figure 2. Photosynthetic, conductance and transpiration rates in plants of lettuce by the effect of the electrical conductivity (EC) caused by increases in the concentration of Ca, Mg and SO_4^{2-} . Into the nutrient solution under two watering (surface and sub-irrigation.) The bars represent the mean standard error ($n=4$). ns, *, **= not significant and significant at $p < 0.05$ and $p < 0.01$, respectively.

El sistema de riego afectó de manera significativa la CE del sustrato en la parte inferior desde el primer muestreo, al igual que la CE de la solución nutritiva en el tercero de ellos (Figura 3). En general, a mayor CE de la solución nutritiva se presentó un aumento en la CE del sustrato, aunque en el primer muestreo no existe mucha diferencia entre los sistemas de riego; sin embargo, en el segundo y tercer muestreo se observó que la CE del medio de cultivo fue mayor en plantas que recibieron riego superficial.

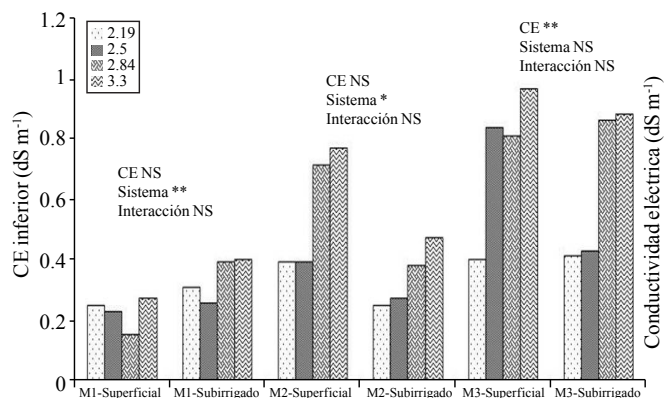


Figura 3. Conductividad eléctrica (CE) del estrato inferior del sustrato en tres muestreos (M1, M2, y M3 a los 25, 50 y 70 días después del trasplante, respectivamente) en plantas de lechuga bajo dos tipos de riego (superficial y subirrigación) y CE de la solución nutritiva causada por incrementos en la concentración de Ca, Mg y SO_4^{2-} . Las barras representan el error estándar de la media ($n=4$). ns, *, **= no significativo y significativo con $p < 0.05$ y $p < 0.01$, respectivamente.

Figure 3. Electric conductivity (EC) of the lower layer of the substrate in three samples (M1, M2, and M3 at 25, 50 and 70 days after transplantation, respectively) in lettuce plants under two types of irrigation (surface and sub-irrigation) and EC of the nutrient solution caused by increases in the concentration of Ca, Mg and SO_4^{2-} . The bars represent the mean standard error ($n=4$). ns, *, **= not significant and significant at $p < 0.05$ and $p < 0.01$, respectively.

La CE de la solución nutritiva afectó de manera significativa la CE del sustrato en el estrato medio en los primeros muestreos, así como el tipo de riego en el segundo (Figura 4). El riego superficial aumentó la CE del sustrato en la mayoría de los tratamientos por encima del sistema de subirrigación. Por el contrario, el riego por subirrigación estuvo asociado con una menor CE del sustrato de cultivo.

The irrigation system significantly affected the substrate EC in the bottom from the first sample, as the EC of the nutrient solution in the third of them (Figure 3). In general, the higher EC of the nutrient solution was an increase in the EC of the substrate, although there is not much difference between the first sampling irrigation systems; however, in the second and third sample it was observed that the EC culture medium was higher in plants given surface irrigation.

The EC of the nutrient solution significantly affected the EC of the substrate in the middle tier in the first sampling, and the type of irrigation in the second (Figure 4). The EC surface irrigation substrate increased in most of the treatments above sub-irrigation. By contrast, the sub-irrigation was associated with a lower EC culture substrate.

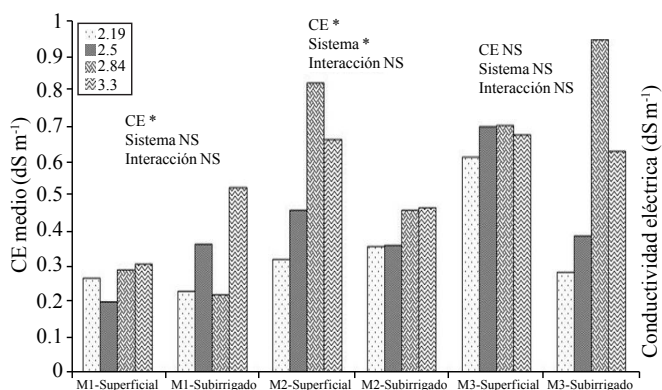


Figura 4. Conductividad eléctrica (CE) del estrato medio del sustrato en tres muestreos (M1, M2, y M3 a los 25, 50 y 70 días después del trasplante, respectivamente) en plantas de lechuga bajo dos tipos de riego (superficial y subirrigación) y CE de la solución nutritiva causada por incrementos en la concentración de Ca, Mg y SO_4^{2-} . Las barras representan el error estándar de la media ($n=4$). ns, *= no significativo y significativo con $p < 0.05$.

Figure 4. Electric conductivity (EC) of the middle layer of the substrate in three samples (M1, M2, and M3 at 25, 50 and 70 days after transplantation, respectively) in lettuce plants under two types of irrigation (surface and sub-irrigation) and EC of the nutrient solution caused by increases in the concentration of Ca, Mg and SO_4^{2-} . The bars represent the mean standard error ($n=4$). ns, *= not significant and significant at $p < 0.05$.

Las soluciones nutritivas aplicadas al cultivo, junto con el tipo de riego, afectaron de forma significativa la CE del estrato superior del sustrato (Figura 5). Los tratamientos aplicados aumentaron la CE del sustrato en plantas subirrigadas, superando a la CE cuando se utilizó el riego superficial. En el primer muestreo no se observa una tendencia clara de la forma en que actúan las sales de las soluciones en los sistemas de irrigación, sin embargo, a partir del segundo muestreo, se puede observar como la tendencia es a aumentar las cantidades de sales en el nivel superior en plantas subirrigadas.

La alta CE de la solución nutritiva no afectó significativamente la concentración de N o de P (Figura 6), en las plantas, pudiendo observarse como los tratamientos no muestran una tendencia definida. La CE en la solución nutritiva y el sistema de riego afectó significativamente la concentración foliar de K (Figura 6). Al elevarse la CE de la solución se incrementó la concentración foliar de K pero más marcadamente en plantas con riego superficial, lo cual también se observó con respecto al Ca (Figura 6). No se detectó efecto significativo en la concentración de Mg (Figura 6).

Discusión

El aumento en la CE de 2.19 a 2.84 dS m^{-1} en la solución nutritiva tuvo un efecto promotor del crecimiento en plantas con riego superficial pues las lechugas resultaron de mayor diámetro que aquellas irrigadas con la solución control. Incluso, el cultivar evaluado en este estudio muestra cierto nivel de tolerancia a la CE pues plantas irrigadas con soluciones con 3.3 dS m^{-1} resultaron con un diámetro similar al de las plantas control. Estos resultados coinciden con los reportados por Nagaz *et al.* (2013), quienes utilizaron agua para el riego de lechugas con una CE de 3.6 dS m^{-1} , resultando en una alta salinidad en el sustrato y un diámetro de la cabeza 33, 26 y 22 cm en el otoño-invierno de 2009-2010, y de 31, 24 y 20 cm en 2010-2011, cuando el aporte de agua fue de 100%, 60% y 30% de la evapotranspiración, respectivamente.

Los resultados del presente estudio indican que el diámetro de las lechugas fue muy afectado por la CE de la solución nutritiva, siendo el óptimo para el máximo crecimiento de 2.5 dS m^{-1} en plantas con riego superficial y entre 2.18 y 3.3 dS m^{-1} en plantas subirrigadas. El menor diámetro en plantas subirrigadas estuvo asociado con la mayor CE en el estrato superior del sustrato detectado en el segundo y tercer

The nutrient solutions applied to the crop, along with the type of irrigation significantly affected EC upper stratum of the substrate (Figure 5). The treatments increased the EC of the substrate sub-irrigated plants, bashing CE when surface irrigation is used. In the first sampling a clear trend of how they act salts solutions in irrigation systems is observed, however, from the second sampling, can be seen as the tendency is to increase the amount of salts in the upper level sub-irrigated plants.

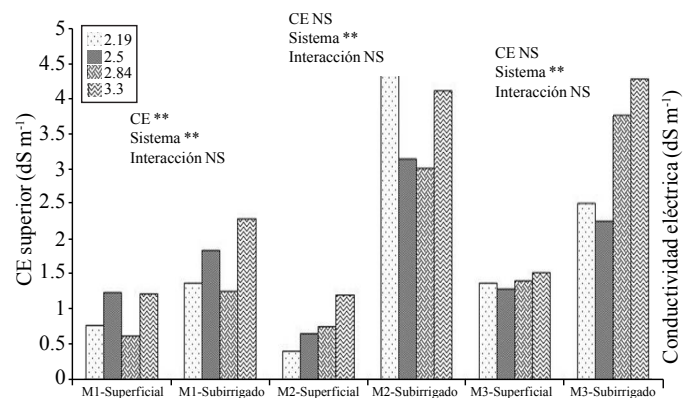


Figura 5. Conductividad eléctrica (CE) del estrato superior del sustrato en tres muestreos (M1, M2, y M3 a los 25, 50 y 70 días después del trasplante, respectivamente) en plantas de lechuga bajo dos tipos de riego (superficial y subirrigación) y CE de la solución nutritiva causada por incrementos en la concentración de Ca, Mg y SO_4^{2-} . Las barras representan el error estándar de la media ($n=4$). ns, **, no significativo y significativo con $p < 0.01$.

Figure 5. Electric conductivity (EC) of the upper layer of the substrate in three samples (M1, M2, and M3 at 25, 50 and 70 days after transplantation, respectively) in lettuce plants under two types of irrigation (surface and sub-irrigation) and EC of the nutrient solution caused by increases in the concentration of Ca, Mg and SO_4^{2-} . The bars represent the mean standard error ($n=4$). ns, **, not significant and significant at $p < 0.01$.

High EC did not significantly affect the concentration of N or P (Figure 6), in plants, can be seen as the treatments do not show a definite trend. EC in the nutrient solution and the irrigation system significantly affected foliar K concentration, (Figure 6). When raising the EC of the solution foliar K concentration but markedly increased in plants with surface irrigation, which was also observed Ca with respect to (Figure 6). No significant effect was detected in the Mg concentration (Figure 6).

muestreos, lo que sugiere que los niveles de tolerancia a la salinidad ya habían sido rebasados por la acumulación de las sales de Ca, Mg y SO_4^{2-} utilizados. En el muestreo a los 50 días después del trasplante, la CE alcanzada en este estrato fue de 4.5 hasta 6.5 dS m^{-1} . En contraste, en las plantas regadas superficialmente, la CE del estrato superior del sustrato varió entre 0.4 y 2.9 dS m^{-1} .

Discussion

The increase in EC from 2.19 to 2.84 dS m^{-1} in the nutrient solution had a growth promoting effect on plants as lettuce surface irrigation were larger in diameter than those irrigated with control solution. Even the cultivar evaluated

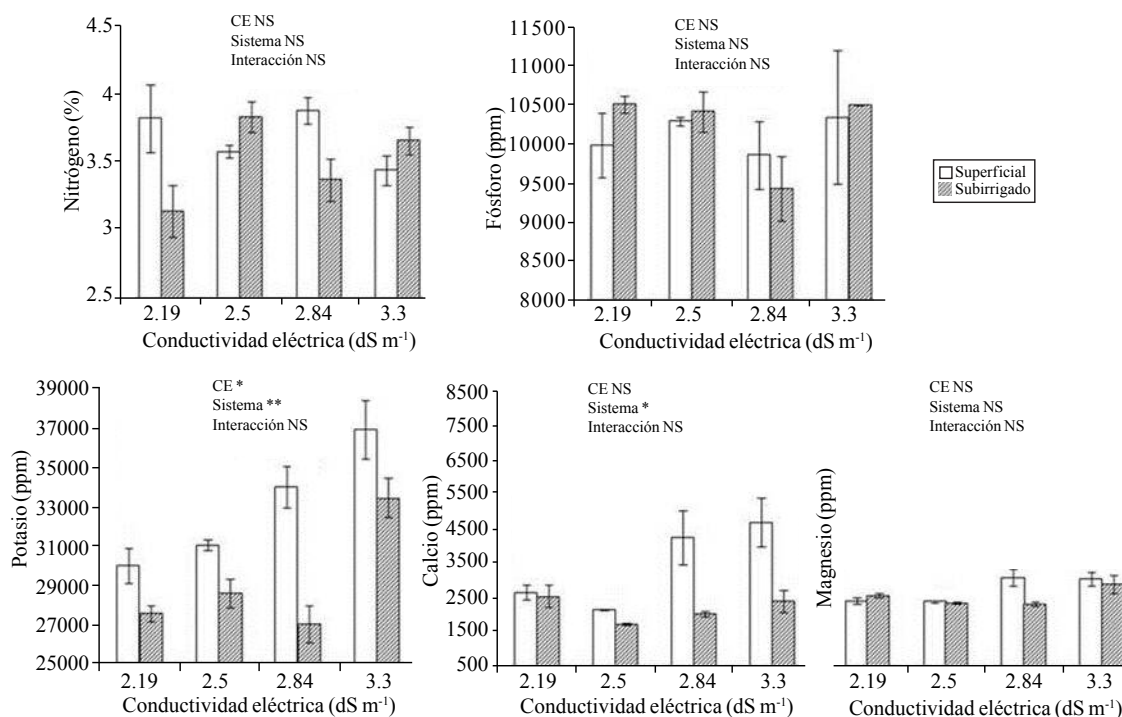


Figura 6. Concentración de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio en hojas de lechuga por efecto de la conductividad eléctrica (CE) causada por incrementos en la concentración de Ca, Mg y SO_4^{2-} en la solución nutritiva bajo dos sistemas de riego (superficial y subirrigación). Las barras representan el error estándar de la media ($n=4$). ns, *, **= no significativo y significativo con $p < 0.05$ y $p < 0.01$, respectivamente.

Figure 6. Concentration of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium in lettuce leaves due to the electrical conductivity (EC) caused by increases in the concentration of Ca, Mg and SO_4^{2-} . Into the nutrient solution under two systems irrigation (surface and sub-irrigation.) The bars represent the mean standard error ($n=4$). ns, *, **= not significant and significant at $p < 0.05$ and $p < 0.01$, respectively.

Se realizó un trabajo con lechuga en un sistema de subirrigación evaluando cintas de exudación de diferentes diámetros y varias líneas de riego, concluyendo que el desarrollo no fue dependiente del agua aplicada, sin embargo, el tratamiento que mostró un mejor peso a cosecha fue el testigo con riego superficial por goteo. Éstos resultados están en contraste con los obtenidos en la presente investigación ya que no se detectó algún efecto del sistema de riego en cuanto al peso fresco de las lechugas; sin embargo, cuando la CE de la solución nutritiva fue de 2.5, 2.84, y 3.3 dS m^{-1} , las plantas subirrigadas mostraron un peso fresco mayor (7%, 9%, y 20%, respectivamente) en comparación con las plantas con riego superficial, lo

in this study shows a certain level of tolerance for CE plants irrigated with solutions 3.3 dS m^{-1} resulted with a similar diameter. These results agree with those reported by Nagaz *et al.* (2013), who used water for irrigation of lettuce with an EC of 3.6 dS m^{-1} , resulting in high salinity in the substrate and a head diameter 33, 26 and 22 cm in the autumn-winter 2009 -2010, and 31, 24 and 20 cm during 2010-2011, when the water supply was 100%, 60% and 30% of evapotranspiration, respectively.

The results of this study indicate that the diameter of the lettuce was very concerned by the EC of the nutrient solution, with the optimum for maximum growth of 2.5

que permite sugerir que el efecto adverso de una alta CE en la solución nutritiva puede ser contrarrestado cuando se emplean sistemas de subirrigación.

Ahmed *et al.* (2000) mencionan que las plántulas de lechuga subirrigadas fueron más altas; sin embargo, la cabeza de las plantas con riego superficial tuvo más hojas y un peso seco más alto, lo que contrasta con los resultados del presente estudio ya que con subirrigación se superó al riego superficial cuando la CE de la solución nutritiva era más elevada. También están en contraste con los resultados reportados por Rouphael *et al.* (2006) que señalan que el rendimiento de calabacín fue 13% inferior con la subirrigación comparado con el riego por goteo, pero al elevar la CE en la solución nutritiva de 2 y 4.1 dS m⁻¹, la producción de calabacín con subirrigación fue aún más bajo (36%) en comparación al riego superficial.

A diferencia del diámetro de planta, tanto las lechugas regadas superficialmente como con subirrigación mostraron un aumento en el peso fresco al elevarse la CE de la solución nutritiva de 2.19 a 2.5 dS m⁻¹. Tesi *et al.* (2003) reportan que al elevar la salinidad causada por NaCl en la solución nutritiva se presenta una reducción tanto en el peso fresco y diámetro en lechuga; el contraste con nuestros resultados se puede deber a los niveles de CE probados por estos autores. Sin embargo, lo más interesante es que la marcada diferencia en el diámetro de plantas con riego superficial en comparación con las subirrigadas casi desaparece en cuanto al peso fresco.

Esto sugiere que las lechugas subirrigadas, aunque son más pequeñas, resultan con un peso comparable al de las lechugas más grandes obtenidas con riego superficial, por lo que las lechugas subirrigadas son de una mayor densidad. El comparativamente menor efecto sobre el peso fresco de las plantas subirrigadas puede estar asociado con una mayor eficiencia en el uso de nutrimentos y agua en las plantas reportado en impacientes Nueva Guinea (Blessington-Halley y Reed, 2004; Kent y Reed, 1996) y en vinca y petunia (Blessington-Halley y Reed, 2004), así como al menor incremento en la CE en los estratos inferior y medio detectado en el muestro final cuando la CE de la solución fue de 2.5 dS m⁻¹.

Han y Lee (2005) mencionan que la reducción del crecimiento en lechuga bajo estrés salino se debe a la alteración de actividades fisiológicas como la fotosintética, absorción de minerales y la actividad antioxidante; de acuerdo con estos autores, un aumento en la salinidad de 1.5 a 7.5 dS m⁻¹ estuvo asociado con una disminución en la tasa fotosintética, probablemente relacionado a su vez con la

dS m⁻¹ in surface irrigation plants and between 2.18 and 3.3 dS m⁻¹ sub-irrigated plants. The smaller diameter of sub-irrigated plants was associated with higher EC in the upper layer of the substrate detected in the second and third samples, suggesting that levels of salinity tolerance had already been overtaken by the accumulation of salts of Ca, Mg and SO₄²⁻ used. Sampling at 50 days after transplantation, the EC reached in this layer was 4.5 to 6.5 dS m⁻¹. In contrast, in plants irrigated surface, the upper stratum of EC substrate varied between 0.4 and 2.9 dS m⁻¹.

They did a worked with lettuce on evaluating sub-irrigation oozing ribbons of different diameters and irrigation lines, concluding that the development was not dependent on the applied water; however, the treatment showed better weight at harvest was witness with surface drip irrigation. These results are in contrast with those obtained in this investigation as an effect of the irrigation system was detected as the fresh weight of lettuce; however, when the EC of the nutrient solution was 2.5, 2.84, and 3.3 dS m⁻¹, sub-irrigated plant's fresh weight showed higher (7%, 9% and 20%, respectively) compared to plants surface irrigation, allowing suggest that the adverse effect of high EC in the nutrient solution can be countered when sub-irrigation systems are used.

Ahmed *et al.* (2000) mentioned that sub-irrigated lettuce seedlings were higher; however, the head surface irrigation plants had more leaves and higher dry weight, which contrasts with the results of this study since it surpassed sub-irrigation surface irrigation when the EC of the nutrient solution was higher. They are also in contrast to the results reported by Rouphael *et al.* (2006) indicating that the yield of zucchini was 13% lower compared to the sub-irrigation drip irrigation, but by raising the EC in the nutrient solution of 2 and 4.1 dS m⁻¹, producing of zucchini with sub-irrigation was even lower (36%) compared to surface irrigation.

Unlike the plant diameter, both superficially and sub-irrigation showed an increase in fresh weight at rising EC of the nutrient solution from 2.19 to 2.5 dS m⁻¹. Tesi *et al.* (2003) reported that by increasing salinity caused by NaCl in the nutrient solution is a reduction in both weight and diameter; in contrast with our results may be due to EC levels tested by these authors. However, the most interesting thing is the marked difference in the diameter of plants with surface irrigation compared to sub-irrigated almost disappears regarding fresh weight.

disminución en la concentración de clorofila, y un aumento en la actividad de la catalasa y peroxidasa, lo cual capacita a las plantas a tolerar condiciones de estrés. Lo anterior no pudo ser demostrado en esta investigación ya que no fue posible detectar alguna tendencia en cuanto a la actividad fotosintética; sin embargo, en plantas subirrigadas sí se detectó una modificación en la conductancia y transpiración de la hoja al aumentar la CE de la solución, las cuales fueron mayores que la de las plantas regadas superficialmente. El hecho de que la conductancia y transpiración sean mayores en plantas subirrigadas sugiere un mejor estado hídrico de estas plantas, lo que también podría explicar el mayor peso fresco en plantas a pesar de su menor diámetro. Han y Lee (2005) reportaron resultados similares ya que en plantas de lechuga tratadas con bacterias promotoras del crecimiento en plantas se presenta un aumento en la conductancia, lo cual les impartieron una mayor tolerancia al estrés salino.

Rouphael *et al.* (2006) mencionan que a la mitad y final de su ensayo las plantas de calabacita zucchini cultivadas con el sistema de subirrigación resultaron en una CE mayor en las partes superior e inferior del sustrato en comparación con el sistema de riego superficial, especialmente cuando el agua tenía una CE de 4.1 dS m^{-1} . Lo anterior está en contraste con los resultados obtenidos en la presente investigación en el estrato inferior del sustrato ya que se detectaron CE similares al estrato medio, los que a su vez estuvieron por debajo del estrato superior, lo que sugiere que se presentó una mayor concentración de sales en este último.

Blessington y Reed (2004) resaltan que al utilizar un sistema de subirrigación, la CE del medio de cultivo se mantuvo por debajo del nivel recomendado de 1.2 dS m^{-1} en la capa inferior y media, sin embargo, en la parte superior la CE estaba por encima de los niveles recomendados, demostrando así que en el estrato medio e inferior, la CE es más baja que la parte superficial del sustrato. Kent y Reed (1996) al utilizar un sistema de subirrigación confirmaron que la CE se mantuvo baja en las capas media e inferior, mientras que el estrato superior fue de 2 a 5 veces mayor que los estratos inferiores. Richards y Reed (2004); Whitcher *et al.* (2005) reportan tendencias similares.

En el presente estudio, la CE del estrato inferior del sustrato al momento de la cosecha fue mayor en plantas regadas superficialmente en comparación con aquellas subirrigadas, especialmente cuando la CE era de 2.5 dS m^{-1} . Lo anterior se debe a la migración de las sales contenidas en la solución nutritiva, la cual es principalmente hacia abajo

This suggests that sub-irrigated lettuce, even though smaller, resulting in a comparable weight of the lettuce obtained with larger surface irrigation, so that the lettuces sub-irrigated have greater density. The comparatively minor effect on the fresh weight of the plants sub-irrigated may be associated with greater efficiency in the use of nutrients and water in plants reported in anticipating New Guinea (Blessington-Halley and Reed, 2004; Kent and Reed, 1996) and in vinca and petunia (Blessington-Halley and Reed, 2004) and the smallest increase in the EC in the lower strata and medium detected in the final show when the EC of the solution was 2.5 dS m^{-1} .

Han and Lee (2005) mentioned that, the reduction in lettuce growing under salt stress is the disruption of physiological activities such as photosynthesis, mineral absorption and antioxidant activity; according to these authors, an increase in salinity of 1.5 to 7.5 dS m^{-1} was associated with a decrease in photosynthetic rate, probably related to the decrease in time with the chlorophyll and an increase in activity catalase and peroxidase, which enables plants to tolerate stress conditions. This could not be demonstrated in this study as it was not possible to detect any trend in photosynthetic activity; however, in sub-irrigated plants a change was detected in the conductance and leaf transpiration by increasing the EC of the solution, which were higher than plants irrigated surface. The fact that the conductance and transpiration are higher in plants suggests that sub-irrigated water status of these plants is better, which could also explain the higher fresh weight in plants despite its smaller diameter. Han and Lee (2005) reported similar results as in plants of lettuce treated with growth-promoting bacteria in plants increased conductance, which imparted to them a greater tolerance to salt stress occurs.

Rouphael *et al.* (2006) mentioned that, the middle and end of the test plants grown zucchini squash with sub-irrigation resulted in a higher EC in the upper and lower parts of the substrate as compared to the surface irrigation system, especially when the water had an EC of 4.1 dS m^{-1} . This is in contrast to the results obtained in this investigation for the lower layer of the substrate as detected EC similar to middle layer, which in turn were below the upper layer, which suggests that a higher concentration introduced the latter salts.

Blessington and Reed (2004) emphasize that when using a sub-irrigation, EC culture medium was below the recommended 1.2 dS m^{-1} in the lower level and middle

en el perfil del sustrato cuando se emplean sistemas de riego superficial (Reed, 1996). Lo anterior puede explicar porque con esta solución nutritiva en riego superficial permite la obtención de plantas con mayor diámetro y peso fresco, lo cual coincide con lo reportado por Douglas (2001) al trabajar con flor de nochebuena, quien al analizar las muestras de estratos superiores del medio de crecimiento, encontró que la CE fue superior a las muestras inferiores en el sistema de subirrigación. Incrocci *et al.* (2006) realizaron un trabajo en tomate cultivado en turba con perlita en un sistema de subirrigación, con una solución nutritiva que contenía 10 mol m^{-3} de NaCl, mencionando que el movimiento capilar hacia arriba del agua en el sustrato, junto con la absorción selectiva de minerales por las raíces, causa una acumulación salina en la región superior del sustrato.

A nivel nutrimental, es un hecho documentado ampliamente que la salinidad disminuye tanto la concentración de Ca así como la de K en plantas, lo se atribuye a que altos niveles de Na en el suelo o la solución nutritiva desplazan al Ca de la pared celular y compiten por los sitios de absorción con el K en la membrana celular (Grattan y Grieve, 1999).

En contraste con Han y Lee (2005), quienes indican que en lechuga se presenta una reducción en la concentración de N, P, K, y Ca por efecto de la salinidad, los resultados del presente estudio indican que con excepción del K, la concentración de N, P, Ca y Mg no fueron afectados por el aumento en la CE de la solución nutritiva. El que no haya disminuido la concentración foliar de Ca y Mg puede deberse a que la CE se elevó mediante, además del SO_4^{2-} , la adición de estos cationes, por lo que su alta disponibilidad pudiese haber amortiguado los efectos de la salinidad en la absorción. Las plantas subirrigadas mostraron una menor concentración foliar de K y Ca cuando se regaron con soluciones de alta CE, lo cual puede deberse a un efecto de dilución de los nutrimentos debido a que justamente estas plantas mostraron un mayor peso fresco.

Conclusiones

En conclusión, el riego por subirrigación permite obtener lechugas de mayor peso cuando se emplean soluciones con alta CE y contenido de Ca, Mg y SO_4^{2-} , y estas resulten más compactas. Esto estuvo relacionado con una menor CE del sustrato en la parte superior en plantas subirrigadas, lo cual permitió obtener niveles de CE más cercanos al óptimo en tales condiciones a nivel del estrato medio e inferior.

layer; however, at the top EC was above the recommended levels, thus showing that the middle and lower strata, the EC is lower than the surface of the substrate. Kent and Reed (1996) use a sub-irrigation confirmed CE remained low at the middle and lower layers, while the top layer was 2 to 5 times greater than the lower layers. Richards and Reed (2004); Whitcher *et al.* (2005) reported similar trends.

In the present study, EC in the lower stratum of the substrate at the time of harvest was higher in irrigated surface compared with those sub-irrigated plants, especially when the EC was 2.5 dS m^{-1} . This is due to migration of the salts contained in the nutrient solution, which is mainly downwards in the profile of the substrate when the surface irrigation system are used (Reed, 1996). This may explain why this surface irrigation nutrient solution allows obtaining plants with larger diameter and fresh weight, which is consistent with that reported by Douglas (2001) when working with poinsettia, who when analysing samples upper strata growth medium, found that the EC was lower than samples sub-irrigation. Incrocci *et al.* (2006) conducted a work on Tomatoes cultivated in peat/perlite by sub-irrigation, with a nutrient solution containing 10 mol m^{-3} NaCl, mentioning that the capillary movement of water upward into the substrate, together with the absorption minerals selectively by the roots, because a salt accumulation in the upper region of the substrate.

A nutrient level is a widely documented fact that salinity concentration decreases both Ca and K in the plant, which is attributed to high levels of Na in the soil or nutrient solution Ca displace cell wall and compete for the adsorption sites on the cell membrane K (Grattan and Grieve, 1999).

In contrast to Lee and Han (2005), who show that in lettuce is a reduction in the concentration of N, P, K, Ca and the effect of salinity, the results of this study show that with the exception of K, the concentration of N, P, Ca and Mg were not affected by the increase in the EC of the nutrient solution. Even if the foliar concentration of Ca and Mg did not decreased may be because the EC was raised by addition of SO_4^{2-} , the addition of these cations, so their high availability could have cushioned the effects of salinity on absorption. Sub-irrigated plants showed less foliar K and Ca concentration when watered with solutions of high EC, which may be due to a dilution effect of nutrients precisely because these plants showed a higher fresh weight.

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.* 75:350-354.
- Alcántar, G. G. y Sandoval-Villa, M. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México. 156 p.
- Báez, A. 1999. Efecto de la calidad del agua de riego sobre las propiedades del suelo. INTA Rivadavia 1439, Buenos Aires, Argentina. 53 p.
- Barrett-Lennard, E. G. 2003. The interaction between waterlogging and salinity in higher plants. Causes, consequences and implications. *Plant Soil.* 253:35-54.
- Barkla, B. J.; Vera-Estrella, R.; Balderas, E. y Pantoja, O. 2007. Mecanismos de tolerancia a la salinidad en plantas. *Biotechnología.* 14:263-272.
- Blessington, H. and Reed, D. Wm. 2004. Optimum potassium concentrations in recirculating subirrigation for selected greenhouse crops. *HortScience.* 39:1441-1444.
- Cartmill, A. D.; Alarcón, A. y Valdez-Aguilar, L. A. 2007. Arbuscular mycorrhizal fungi enhance tolerance of *Rosa multiflora* cv. Burr to bicarbonate in irrigation water. *J. Plant Nutrit.* 30:1517-1540.
- Douglas, A. C. 2001. Growth, nutrient content, and growth medium electrical conductivity of poinsettia irrigated by subirrigation or from overhead. *J. Plant Nutrit.* 24:523-533.
- FAO. 2008. FAO Land and Plant Nutrition Management Service. <http://www.fao.org/ag/agl/agll/spush>.
- Grattan, S. R. and Grieve, C. M. 1999. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia Horticulturae.* 78:127-157.
- Han, H. S. and Lee, K. D. 2005. Plant growth promoting rhizobacteria effect on antioxidant status, photosynthesis, mineral uptake and growth of lettuce under soil salinity. *J. Agric. Biol. Sci.* 1:210-215.
- Incrocci, L.; Malorgio, F.; Della Bartola, A. and Pardossi, A. 2006. The influence of drip irrigation or subirrigation on tomato grown in closed-loop substrate culture with saline water. *Scientia Horticulturae.* 107:365-372.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2001. Problemas de suelos irrigados de las zonas media y altiplano de San Luis Potosí. Folleto Técnico Núm. 11 SAGARPA, SLP. 24 p.
- Kent, M. K. and Reed, D. Wm. 1996. Nitrogen nutrition of New Guinea Impatiens "Barbados" and Spathiphyllum "Petite" in a subirrigation system. *Journal of the American Society for Horticultural Science.* 121:816-819.
- Munns, R. and Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Ann. Rev. Plant Biol.* 59:651-681.

Conclusions

In conclusion, sub-irrigation can help to get heavier lettuce, by using solutions with high EC and Ca, Mg and SO_4^{2-} , and these are even more compact. This was associated with a lower EC substrate on top in sub-irrigated plants, which yielded EC levels closest to the optimum in such conditions at the middle and lower strata.

End of the English version



- Nagaz, K.; El Mokh, F.; Moncef, M. M. and Ben, M. N. 2013. Soil salinity, yield and water productivity of lettuce under irrigation regimes with saline water in arid conditions of Tunisia. *International J. Agron. Plant Produc.* 4:892-900.
- Reed, D. Wm. 1996. A grower's guide to water, media, and nutrition for greenhouse crops. Ball Publishing. Batavia, Illinois, USA. 314 pp.
- Renny, B.; Arteaga, A., Florentino, A., y Amaya, G., 2003. Evaluación de sistemas de subirrigación y de aspersión en suelos cultivados con palma aceitera. *Revista UDO Agrícola.* 3:39-46.
- Richards, L. and Reed, D. Wm. 2004. New Guinea Impatiens growth response and nutrient release from controlled-release fertilizer in a recirculating subirrigation and top-water system. *HortScience.* 39:280-286.
- Rouphael, Y.; Cardarelli, M.; Rea, E.; Battistelli, A. and Colla, G. 2006. Comparison of the subirrigation and drip-irrigation for greenhouse zucchini squash production using saline and non-saline nutrient solutions. *Agric. Water Management.* 82:99-117.
- Whitcher, C. L.; Kent, M. W. and Reed, D. Wm. 2005. Phosphorus concentration affects New Guinea Impatiens and Vinca in recirculating subirrigation. *HortScience.* 40:2047-2051.
- Schmal, J. L.; Dumroese, R. K.; Davis, A. S.; Pinto, J. R. and Jacobs, D. F. 2011. Subirrigation for production of native plants in nurseries-concepts, current knowledge, and implementation. *Native Plants.* 12:81-93.
- Szacloccs, I. 1994. Soils and salinization. En: Handbook of plant and crop stress (ed. M. Pessarakali). Marcel Dekker, New York. 3- 11 pp.
- Tesi, R.; Lenzi, A. and Lombardi, P. 2003. Effect of salinity and oxygen level on lettuce grown in a floating system. *Acta Hortic.* 609:383-387.
- USDA-ARS. 2008. Research databases. Bibliography on salt tolerance. Brown, G. Jr. salinity Lab. US Dep. Agric. Res. Serv., Riverside, California. <http://www.ars.usda.gov/Services/docs.htm?docid=8908>.