

# Dinámica de nutrientes en la fase vegetativa del cultivo del lulo (*Solanum quitoense* Lam.), en respuesta a salinidad con NaCl

Nutrient dynamic in the vegetative growth phase of lulo (*Solanum quitoense* Lam.) in response to NaCl salinity

Sandra L. Flórez<sup>1</sup>, Diego Miranda<sup>2</sup> y Bernardo Chaves<sup>3</sup>

## RESUMEN

Se evaluó el efecto de tres concentraciones de NaCl (0, 30 y 60 mM) sobre el comportamiento de iones presentes en tejido foliar de la planta de lulo, en lixiviados y sustratos utilizados para el cultivo. El experimento se estableció en un invernadero ubicado en Bogotá a 2.556 msnm, con temperatura promedio de 15,6 °C y humedad relativa promedio de 61%. Plántulas de lulo (*Solanum quitoense* var. *quitoense*) de dos meses de edad se transplantaron en materas con los sustratos: turba rubia (Klassman®), arena cuarcítica y mezcla de suelo, turba y arena en proporción 3:1:1 en peso; además se hizo un tratamiento adicional en suelo, con sistema de fertirriego. Se observó una relación inversa entre las concentraciones de NaCl y la magnitud de los cambios producidos en las plantas. La altura se redujo entre 4% y 16% para plantas en turba y mezcla y 65% para plantas en arena; para las plantas en turba, el área foliar se redujo entre 14% y 17% y para plantas en arena, 65%. La masa seca decreció entre 38% y 50% para plantas en turba. El contenido foliar de nutrientes se afectó por las concentraciones de NaCl. En lixiviados, los iones Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> y Mg<sup>2+</sup> incrementaron sus concentraciones en los sustratos orgánicos (turba y mezcla). En los sustratos los contenidos de N se incrementaron, con respecto a las muestras iniciales; lo mismo ocurrió con el Na<sup>+</sup>, mientras que las concentraciones de K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup> disminuyeron, al compararlos con las obtenidas en las muestras iniciales.

**Palabras clave:** crecimiento, fertirrigación, sustratos, lixiviados.

## ABSTRACT

The effect of three concentrations of NaCl (0, 30 and 60 mM) on the behavior of mineral ions in lulo plants was evaluated in leaf tissue, leachates and substrates of the culture. The experiment was realized in a plastic greenhouse located in Bogotá (2,556 masl, 15.6 °C mean temperature and 61% relative humidity). Two-months old lulo plants (*Solanum quitoense* var. *quitoense*) were transplanted in pots with the following substrates: bleached peat (Klassman®), sand and soil mixture, peat and sand at a 3:1:1 (w/w) ratio; also, an additional treatment (soil) with fertirrigation. As a basic fertilization, a slow liberation fertilizer with minimum salinity effect was applied. An inverse relation was observed between the concentrations of NaCl and the magnitude of growth changes of plants. The height was diminished between 4% and 16% in plants grown in peat and mixture, and 65% for plants in sand. Plants in blond peat diminished their leaf area between 14 and 17% and 65% for plants in sand. The dry mass decreased between 38 and 50% for plants in peat. The content of leaf nutrients was affected by NaCl concentrations. In leachates, Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> and Mg<sup>2+</sup> ions increased their concentrations in the organic substrates (peat and mixture). The N concentrations in substrates increased compared to the initial sampling, the same occurred with Na, whereas Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> and Mg<sup>2+</sup> decreased their concentrations.

**Key words:** growth, fertirrigation, substrates, leachates.

## Introducción

La salinidad es una de los mayores factores limitantes para el desarrollo de los cultivos. Según la Dirección de servicio de la tierra y la nutrición de la planta de la Fao, más de 6% de la superficie terrestre está afectada por salinidad o sodicidad. De 230 millones de hectáreas irrigadas, 45 millones han sido afectados por sales (19,5%) y de 1.500 millones de

hectáreas bajo agricultura de 'tierras secas', 32 millones están afectadas por sales en diferentes grados (Munns, 2003). El exceso de salinidad en el suelo puede afectar: 1) la disponibilidad de nutrientes, 2) la toma de nutrientes y/o su distribución dentro de la planta y 3) el aumento de los requerimientos internos de un nutriente por parte de la planta a través de una inactivación fisiológica (Grattan y Grieve, 1994). Adicionalmente, un contenido excesivo

Fecha de recepción: marzo 22 de 2006. Aceptado para publicación: julio 10 de 2008

<sup>1</sup> Ingeniera agrónoma, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. slflorezp@unal.edu.co

<sup>2</sup> Profesor asociado, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. dmirandal@unal.edu.co

<sup>3</sup> Profesor asociado, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. bchavesc@unal.edu.co

de NaCl en el sustrato disminuye la absorción de otros elementos nutritivos, principalmente de  $K^+$  y  $NO_3^-$  (Azcón-Bieto y Talón, 2000; Munns, 2003). La salinidad conduce frecuentemente a un cambio en el balance catiónico en el tejido de la planta, afectando las relaciones  $K^+/Na^+$  y  $Ca^{2+}/Na^+$  (Ebert *et al.*, 1999).

En la Sabana de Bogotá existen problemas de contaminación de aguas superficiales y subterráneas, por salinidad o sodicidad, a causa de la sobreexplotación del suelo y del incremento de sistemas hortícolas intensivos, entre ellos los de algunos frutales, como el lulo (*Solanum quitoense* Lam.), cultivo de alta productividad y valor comercial en el mercado. Para esta región, son prácticamente inexistentes los estudios sobre el efecto de la salinidad en la toma y la absorción de iones por esta especie. El objetivo de este estudio fue evaluar en la fase vegetativa del lulo, cultivado en macetas y con sustratos, el efecto de diferentes concentraciones de NaCl suministradas en el agua de riego, sobre los contenidos de macronutrientes en tejido foliar, sustratos y lixiviados.

## Materiales y métodos

Plántulas de 2 meses de edad de la especie lulo (*S. quitoense* var. *quitoense*), provenientes de la región de Subia (Cundinamarca), se transplantaron en macetas de 2 L, con fertirriego, en un invernadero de plástico de la Universidad Nacional de Colombia, en Bogotá, ubicado a 2.556 msnm, con una temperatura promedio de 15,6 °C (máxima media 20,2 °C y mínima media 11,1 °C) y humedad relativa promedio de 61,0% (máxima media 73,8% y mínima media 48,1%). El área ocupada por cada planta fue 634,5 cm<sup>2</sup>.

Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3×3, en el que los factores fueron 3 sustratos y 3 concentraciones de NaCl, más un tratamiento adicional (suelo), con 3 repeticiones por tratamiento (tabla 1). Los sustratos fueron: turba rubia (Klassman®); arena cuarcítica; mezcla de sustratos, en proporción 3:1:1 de suelo, turba y arena, y suelo desinfectado sin NaCl. Este último tratamiento se consideró como parámetro general de comparación. Las concentraciones de sales fueron 0; 30 y 60 mM de NaCl, y generaron conductividades eléctricas de 0,9; 3,0 y 6,9 mS·cm<sup>-1</sup>. Las plantas se fertilizaron con 4 g de Basacote 3M® (13-6-16), de Compo, suministrado por Cidela Ltda. Éste es un fertilizante de liberación lenta y de efecto salinizador mínimo.

Transcurridas 2 semanas de adaptación de las plántulas al sustrato, se procedió a realizar la aplicación de las concentraciones de NaCl dos veces por semana, cada vez hasta

**TABLA 1.** Tratamientos de salinidad sobre plántulas de lulo (*S. quitoense* var. *quitoense*) de 2 meses de edad, cultivadas en invernadero.

Tratamiento	Sustrato	NaCl (mM)
T1	Turba rubia	0
T2	Turba rubia	30
T3	Turba rubia	60
T4	Arena cuarcítica	0
T5	Arena cuarcítica	30
T6	Arena cuarcítica	60
T7	Mezcla suelo, turba y arena	0
T8	Mezcla suelo, turba y arena	30
T9	Mezcla suelo, turba y arena	60
T10	Suelo	0

Mezcla de suelo, turba y arena en proporción 3:1:1

lograr la saturación del sustrato y la obtención de lixiviados (800 mL por tratamiento). Todas las muestras se llevaron al laboratorio de aguas y suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia (Bogotá), donde se determinó: alcalinidad, por titulación con  $H_2SO_4$  ( $CO_3^{=}$  y  $HCO_3^-$ , con fenolftaleína y metil naranja como indicadores); acidez, por titulación con NaOH (mineral, con indicador metil naranja;  $CO_2$ , por diferencia de titulación en frío y en caliente, con fenolftaleína; sales hidrolizadas, acidez total menos acidez mineral y  $CO_2$ ; iones disueltos como cloruros, por titulación con  $AgNO_3$ ; sulfatos, por turbidimetría, con precipitación con  $BaCl_2$ ; fosfatos, por valoración colorimétrica con cloruro estannoso; nitratos y amonio, por valoración volumétrica por micro-Kjeldahl; Ca, Mg, Na y K, por espectrofotometría de absorción atómica; pH, por potenciometría y conductividad eléctrica (CE), por lectura en conductivímetro a 25 °C. Como criterio de clasificación de la calidad del lixiviado generado en cada sustrato, se utilizó el coeficiente alcalimétrico o índice de Scott ( $K_1=2040/Cl^-$ ), según criterios de clasificación propuestos por Cadahía y Lucena (2000).

Durante 12 semanas se muestrearon en forma destructiva 3 plantas por repetición para realizar análisis de área foliar y acumulación de masa seca. De manera simultánea, cada 15 d se hicieron muestreos de tejido foliar, 5 g de masa seca por tratamiento. Para el análisis de tejido vegetal, durante el ensayo se recolectaron 10 muestras, de aproximadamente 100 g de peso seco de la hoja sin pecíolo, para los 9 tratamientos y el suelo. Este mismo procedimiento se llevó a cabo para el análisis del sustrato, con una muestra aproximada de 1 kg. Las muestras se analizaron para determinar: nitrógeno

total, por el método micro-Kjeldahl; fósforo, por calcinación y valoración colorimétrica con vanadato y molibdato de amonio; K, Ca y Mg, por calcinación de la muestra y espectrofotometría de absorción atómica.

Para el análisis de datos sobre contenidos nutricionales en tejido foliar, sustratos y lixiviados, se empleó el programa SAS versión 9.1, en sus procedimientos Anova, pruebas de comparación y matriz de correlación. Para determinar los cambios de magnitud de las plantas, se asumió un valor de 100% para las plantas control por cada tratamiento y contra éste se hicieron las comparaciones respectivas.

## Resultados y discusión

En la tercera semana después del trasplante se empezaron a evidenciar las diferencias en el crecimiento de las plantas. Las mayores reducciones en la altura (65%) las presentaron las plantas cultivadas en arena, mientras que no hubo diferencias entre las plantas cultivadas en turba sola y las de la mezcla, que mostraron reducciones entre 4% y 16% cuando pasaron de 0 a 30 mM y de 0 a 60 mM de NaCl, respectivamente (figura 1). Resultados similares fueron obtenidos por Chartzoulakis y Klapaki (2000) en dos cultivares de pimiento, en los que la altura decreció significativamente en 20%, 31% y 44% con el incremento de la salinidad, comparados con el control para el cultivar 'Sonar', y en 29, 40 y 49% con respecto al control para el cultivar 'Lamuyo', a salinidades de 50, 100 y 150 mM, respectivamente.

### Área foliar

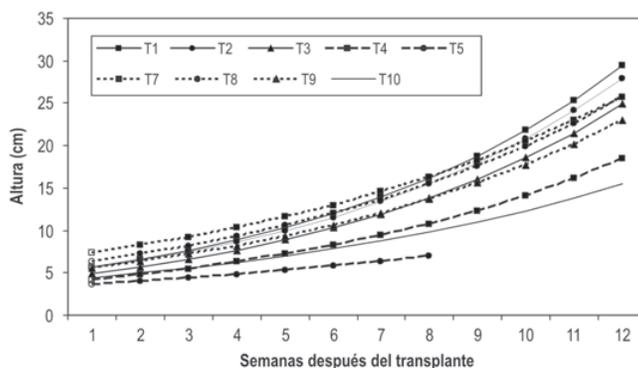
Para el área foliar se observó que, a medida que aumentaba la concentración de sales (NaCl) en los diferentes sustratos, disminuía su valor (figura 2). Los mayores valores del área

foliar a lo largo del período de evaluación correspondieron a las plantas sometidas al tratamiento 1 (turba con 0 mM de NaCl), mientras que las plantas establecidas bajo el tratamiento 5 (arena con 30 mM de NaCl) mostraron los valores menores. La reducción observada para las plantas en turba fue de 14%, al pasar de 0 a 30 mM de NaCl y de 17%, al pasar de 0 a 60 mM; para las plantas en arena fue de 87%, cuando la concentración pasó de 0 a 30 mM y para las plantas en la mezcla, de 27%, cuando la concentración pasó de 0 a 30 mM y de 0 a 60 mM.

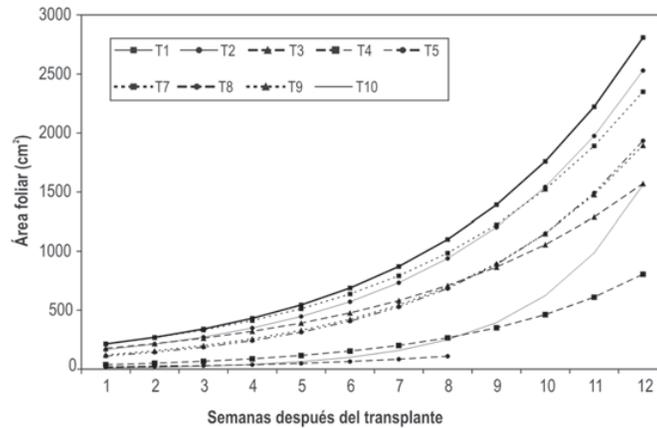
Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Saqib *et al.* (2005), que reportan que en trigo la salinidad disminuyó el área foliar, y por Chartzoulakis y Klapaki (2000), quienes afirman que las reducciones del área foliar total del pimiento fueron más grandes, comparadas con la altura, en 39%, 56% y 70% para el cultivar 'Sonar' y en 42%, 66% y 82% para el 'Lamuyo', con 50, 100 y 150 mM de NaCl, respectivamente. Esta respuesta se debe a la disminución de la expansión celular. Esto coincide con los obtenidos por otros investigadores (Cramer *et al.*, 2001; Matsuda y Riaz, 1981; Alarcón *et al.*, 1993). La disminución del área foliar en otras especies vegetales sometidas a estrés salino se traduce en la disminución en las tasas fotosintéticas, como es el caso del melón (Franco *et al.*, 1997).

### Masa seca total

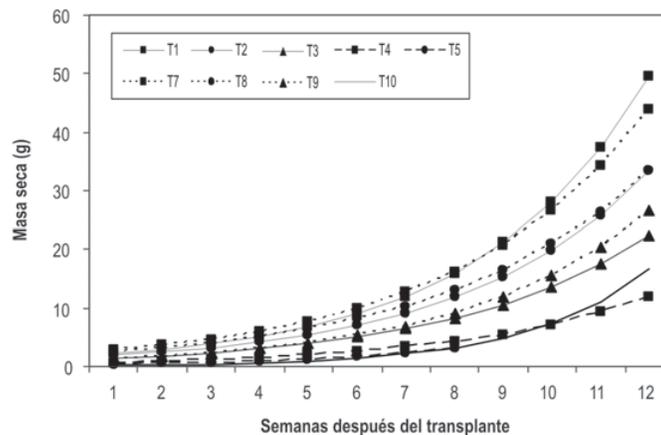
Los mayores valores de masa seca total acumulada por planta para las concentraciones de 0; 30 y 60 mM NaCl en turba fueron de 16,11; 11,65 y 8,02 g en promedio, respectivamente, y 4,18 y 0,89 g en promedio para las plantas en arena a concentraciones de 0 y 30 mM, respectivamente (figura 3). En las plantas cultivadas bajo los tratamientos en la mezcla de sustratos, la masa seca correspondió a 15,7;



**FIGURA 1.** Comportamiento de la altura de planta en plantas de lulo (*S. quitoense* var. *quitoense*) establecidas en varios sustratos y sometidas a tres concentraciones de NaCl. T1, turba y 0 mM NaCl; T2, turba y 30 mM NaCl; T3, turba y 60 mM NaCl; T4, arena y 0 mM NaCl; T5, arena y 30 mM NaCl; T6, arena y 60 mM NaCl; T7, mezcla de sustratos y 0 mM NaCl; T8, mezcla de sustratos y 30 mM NaCl; T9, mezcla de sustratos y 60 mM NaCl y T10, suelo.



**FIGURA 2.** Comportamiento del área foliar de planta en plantas de lulo (*S. quitoense* var. *quitoense*) establecidas en varios sustratos y sometidas a tres concentraciones de NaCl. T1, turba y 0 mM NaCl; T2, turba y 30 mM NaCl; T3, turba y 60 mM NaCl; T4, arena y 0 mM NaCl; T5, arena y 30 mM NaCl; T6, arena y 60 mM NaCl; T7, mezcla de sustratos y 0 mM NaCl; T8, mezcla de sustratos y 30 mM NaCl; T9, mezcla de sustratos y 60 mM NaCl y T10, suelo.



**FIGURA 3.** Acumulación de masa seca total en plantas de lulo (*S. quitoense* var. *quitoense*) establecidas en diversos sustratos y sometidas a tres concentraciones de NaCl. T1, turba y 0 mM NaCl; T2, turba y 30 mM NaCl; T3, turba y 60 mM NaCl; T4, arena y 0 mM NaCl; T5, arena y 30 mM NaCl; T6, arena y 60 mM NaCl; T7, mezcla de sustratos y 0 mM NaCl; T8, mezcla de sustratos y 30 mM NaCl; T9, mezcla de sustratos y 60 mM NaCl y T10, suelo.

12,4 y 9 g para 0; 30 y 60 mM de NaCl, respectivamente. Se observó que a medida que se incrementó la concentración de sal en cualquiera de los sustratos, la acumulación de masa seca disminuyó en 38% y 50% para la turba, en 79% para las plantas en arena y en 21% y 43% para las plantas en la mezcla.

Resultados similares fueron reportados por Ebert *et al.* (1999), quienes hallaron disminuciones en la masa seca de lulo, entre 6% y 15%; también por otros investigadores en diferentes cultivos: Chartzoulakis y Klapaki (2000) en pimiento, Murillo-Amador *et al.* (2002) y Franco *et al.* (1997) en melón y Saqib *et al.* (2005) en *Citrus*.

Los intervalos de confianza a partir de los cuales se compararon los diferentes sustratos mostraron que las plantas bajo los tratamientos en turba y mezcla no presentaron diferencias significativas para esta variable de masa seca total. Las plantas establecidas bajo el tratamiento 5 (arena con 30 mM de NaCl) mostraron diferencias significativas con respecto a las plantas sometidas a los demás tratamientos. Las plantas bajo el tratamiento 4 (arena con 0 mM de NaCl) presentaron diferencias con las plantas establecidas con el tratamiento 3 (turba con 60 mM de NaCl).

Se observó una relación inversa entre los niveles de sales y los cambios de magnitud del crecimiento de las plantas,

como resultado de la exposición continua de las plantas de lulo al estrés salino. La altura, el área foliar y la masa seca de las plantas establecidas bajo los tratamientos en turba y en la mezcla presentaron los mayores valores para las variables evaluadas, en comparación con las plantas sometidas a los tratamientos en arena. Estas limitaciones en el crecimiento de las plantas son derivadas del desbalance nutricional (Grattan y Grieve, 1999) y también, de la respuesta de la planta al componente osmótico de la salinidad (Greenway y Munns, 1980).

Se ha establecido que diversas especies vegetales responden con restricciones similares en el crecimiento a concentraciones particulares de salinidad (Adams, 1991; Savvas y Lenz, 2000; Lycoskoufis *et al.*, 2005). Este comportamiento podría indicar que la supresión del crecimiento vegetal bajo condiciones salinas es una adaptación primaria a la restricción en la disponibilidad de agua, debida al bajo potencial osmótico que prevalece en el medio externo (Pasternak, 1987; Sonneveld, 2000; Lycoskoufis *et al.*, 2005).

### Comportamiento de los nutrientes en el tejido foliar

#### Nutrientes en la turba

Los contenidos promedio de los nutrientes analizados en el tejido foliar para las plantas cultivadas en turba fueron: 3,64% para N en la turba sin NaCl, considerado como un rango adecuado de suficiencia; 3,99% para turba con 30 mM de NaCl, un rango adecuado, y 4,31% para las plantas en turba tratadas con 60 mM de NaCl, un rango alto de suficiencia para tejido foliar. Las concentraciones de P foliar fueron, en promedio, 0,45% para las plantas establecidas en turba con 0 mM de NaCl y 0,47% y 0,49%, que corresponden a niveles de suficiencia adecuados, para las plantas sometidas a 30 y 60 mM de NaCl, respectivamente (tabla 2).

En cuanto a las concentraciones de K<sup>+</sup> foliar, las plantas sometidas a dosis crecientes de NaCl mostraron reducciones considerables, hasta de 40%, en sus concentraciones en el transcurso del experimento. Este comportamiento estuvo asociado posiblemente con el efecto competitivo del Na<sup>+</sup> predominante en las soluciones salinas. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Grattan y Grieve (1999), que concluyeron que la reducción en el consumo de K<sup>+</sup> en plantas por presencia de Na<sup>+</sup> es un proceso competitivo y ocurre sin tener en cuenta si la solución es dominada por sales de Na, por cloruros o sulfatos. En la medida en que avanzó el experimento, los síntomas de toxicidad por altas concentraciones de iones Cl<sup>-</sup> y Na<sup>+</sup> fueron evidentes en la lámina foliar, principalmente en las hojas bajas, manifestando clorosis y quemazón en los bordes de la lámina, síntoma común en plantas susceptibles (Lessani y

Marschner, 1978; Maas, 1993). Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Bañuls y Primo-Millo (1995), quienes aseguran que altas concentraciones de Cl<sup>-</sup> ó de Na son responsables de la clorosis en las puntas y a lo largo de los márgenes de la hoja.

El K<sup>+</sup> presentó valores promedio decrecientes cuando se incrementó la concentración de NaCl, siendo en promedio 2,9%; 2,7% y 3,2% para plantas en turba, arena y mezcla de sustratos, respectivamente, valores considerados bajos para este nutriente. En general, la concentración de K decrece por el incremento de la salinidad. Deficiencias de K inducidas por Na están implicadas en la reducción del crecimiento y rendimiento de varios cultivos: tomate (Song y Fujiyama, 1996; López y Satti, 1996), espinaca (Chow *et al.*, 1990), hinojo (*Foeniculum vulgare*) (Graifenberg *et al.*, 1996) y maíz (Botella *et al.*, 1997). Bhivare y Nimbaker (1984) encontraron que la reducción del contenido de K<sup>+</sup> y el incremento del Na<sup>+</sup> en la planta de frijol podrían ser atribuidos al efecto competitivo entre estos dos iones sobre los sitios de absorción de la planta.

En tamarindo, la aplicación de NaCl incrementó la concentración de Na<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup> en todas las partes de las plántulas. Sin embargo, de acuerdo con Sykes (1985), el Na<sup>+</sup> y particularmente el Cl<sup>-</sup> se acumulan en la parte basal más que en la apical.

#### Nutrientes en la arena

Para las plantas cultivadas en arena, los valores de N determinados fueron, en promedio: 4,81%, 5,38% y 4,55%, para las plantas sometidas a los tratamientos con 0, 30 y 60 mM de NaCl, respectivamente, considerados rangos altos de suficiencia para especies solanáceas. Diversas investigaciones en laboratorio e invernadero muestran que la salinidad puede reducir la acumulación de N por las plantas (Cram, 1973; Feigin *et al.*, 1991; Pessarakli, 1991; Al-Rawahy *et al.*, 1992).

Las concentraciones de P para las plantas cultivadas en arena fueron: 0,32%, para las plantas sin NaCl y 0,44% y 0,32%, para las plantas que recibieron concentraciones de 30 y 60 mM de NaCl.

Con respecto al Ca, se observó una reducción de la concentración foliar del nutriente, a medida que se incrementó la concentración de NaCl en el agua de riego. Las concentraciones menores de Ca se presentaron en el tejido foliar de las plantas cultivadas en arena con 0,48%, 0,41% y 0,46% de Ca, considerados como contenidos bajos. El consumo de Ca desde el sustrato puede ser deprimido por interacción de iones, precipitación e incremento de fuerzas iónicas; estos

**TABLA 2.** Concentración de iones en tejido foliar de plantas de lulo (*S. quitoense* var. *quitoense*) en diferentes sustratos (turba, arena, mezcla de sustratos y suelo) en respuesta a tres concentraciones de NaCl (0, 30, 60 mM).

Tratamiento	Concentración del nutriente en tejido foliar (%)				
	N	P	Ca	K	Mg
Turba y 0 mM NaCl	3,64	0,45	2,30	3,05	0,46
Turba y 30 mM NaCl	3,99	0,47	2,02	2,80	0,47
Turba y 60 mM NaCl	4,31	0,49	1,74	2,39	0,42
Arena y 0 mM NaCl	4,81	0,32	0,48	2,91	0,25
Arena y 30 mM NaCl	5,38	0,44	0,41	1,78	0,24
Arena y 60 mM NaCl	4,55	0,32	0,46	1,40	0,19
Mezcla y 0 mM NaCl	3,49	0,25	2,63	3,44	0,39
Mezcla y 30 mM NaCl	4,01	0,28	2,12	2,95	0,35
Mezcla y 60 mM NaCl	4,27	0,31	1,97	2,59	0,37
Suelo	4,88	0,26	2,33	3,63	0,30

factores reducen la actividad de Ca; la disponibilidad de Ca para las plantas decrece en cultivos en solución (Cramer *et al.*, 1986; Suárez y Grieve, 1988).

A través del tiempo, las plantas con adición de NaCl tendieron a disminuir los valores de  $Ca^{2+}$ ,  $K^+$  y  $Mg^{2+}$ . Las concentraciones de  $Mg^{2+}$  y  $K^+$  en el brote disminuyeron en presencia de NaCl, como lo reportaron estudios previos de Cramer *et al.* (1991) en cebada y de Khan *et al.* (1997) y Lutts *et al.* (1999) en arroz, aunque los diferentes mecanismos para diferenciar la toma de nutrientes sean aún desconocidos. El  $Ca^{2+}$  es un ión fuertemente competitivo con el  $Mg^{2+}$ , de modo que una alta concentración de  $Ca^{2+}$  en el sustrato conlleva con frecuencia incrementos del Ca foliar y una marcada reducción del  $Mg^{2+}$  foliar.

#### **Nutrientes en la mezcla de sustratos**

Las concentraciones de N foliar para las plantas establecidas en la mezcla de sustratos se incrementaron 3,49%; 4,01% y 4,27% para las concentraciones 0; 30 y 60 mM de NaCl, consideradas como niveles adecuados.

Las concentraciones inferiores de P correspondieron a plantas en la mezcla de sustratos con 0,25%; 0,28% y 0,31% para las concentraciones de 0; 30 y 60 mM de NaCl, respectivamente, consideradas en un nivel medio. La interacción entre la salinidad y la concentración de P es altamente dependiente respecto a especies de plantas o cultivares, edad de desarrollo de la planta, composición y nivel de salinidad y concentración de P en el sustrato (Grattan y

Grieve, 1999). En muchos casos, la salinidad disminuye la concentración de P en el tejido de la planta, como lo afirman Sharpley *et al.* (1992), pero otros autores indican que ésta tampoco incrementa o tiene efecto sobre el consumo de P (Grattan y Grieve, 1994). Algunas investigaciones indican que el estrés por salinidad incrementa los requerimientos de P de ciertos cultivos; por ejemplo, Awad *et al.* (1990) encontraron que al incrementarse el NaCl en el sustrato de 10 a 50 mM y a 100 mM, también lo hizo la concentración de P en las hojas maduras más jóvenes de tomate. La mayoría de estudios que demuestran que la salinidad incrementa la concentración de P fue realizada en arena o en cultivos en solución (Grattan y Grieve, 1994), no en suelo.

#### **Comportamiento de los nutrientes presentes en los lixiviados**

En la tabla 3 se presentan los promedios de iones presentes en los lixiviados obtenidos del riego aplicado a plantas de lulo establecidas en diferentes sustratos (turba, arena, mezcla de sustratos y suelo) y sometidas a diferentes concentraciones de NaCl.

#### **Lixiviados en la turba**

Las concentraciones de cloruros en las plantas que no recibieron NaCl fueron 80,8; 121,7 y 24,5  $mg \cdot L^{-1}$ , para los lixiviados en turba, arena y mezcla de sustratos, respectivamente (tabla 2).

El contenido de  $NO_3^-$  en lixiviados fue 129  $mg \cdot L^{-1}$  para las plantas en turba sin NaCl; 604  $mg \cdot L^{-1}$  para los lixiviados

**TABLA 3.** Concentración de iones en lixiviados generados en diferentes sustratos con plantas de lulo (*S. quitoense* var. *quitoense*) sometidas a tres concentraciones de NaCl.

Tratamiento	Concentración de lixiviados (mg·L <sup>-1</sup> )						
	Cl	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca	K	Mg	Na	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
Turba y 0 mM NaCl	80,87	129,48	71,18	49,69	21,46	62,20	11,40
Turba y 30 mM NaCl	2400,12	142,90	322,00	125,59	83,84	1294,98	27,03
Turba y 60 mM NaCl	3846,95	103,58	409,84	133,17	96,59	2085,66	14,64
Arena y 0 mM NaCl	121,72	604,44	19,26	370,66	24,05	104,14	253,85
Arena y 30 mM NaCl	3357,84	615,34	41,69	537,46	42,95	2220,75	339,12
Arena y 60 mM NaCl	3276,31	413,08	29,28	356,40	29,75	2140,33	243,87
Mezcla y 0 mM NaCl	24,59	234,41	100,58	52,35	18,01	23,67	3,64
Mezcla y 30 mM NaCl	2446,39	186,94	366,31	105,36	60,06	1288,70	3,20
Mezcla y 60 mM NaCl	4227,10	178,75	523,59	169,33	74,83	2456,37	2,98
Suelo	57,15	413,67	120,70	81,83	10,73	24,78	6,91

de las plantas en arena y 234 mg·L<sup>-1</sup> para los lixiviados en la mezcla de sustratos. Estos valores se ubican en un nivel de referencia medio, en un rango entre 131 y 300 mg·L<sup>-1</sup>, determinado para cultivos en sustrato orgánico (Jhonson, 1980; Abad, 1993; Escudero, 1993).

La adición de 30 mM de NaCl al sustrato turba generó 110% más de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> para los lixiviados; en arena, 101% y en la mezcla de sustratos, sólo 80% de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Los valores de Ca<sup>2+</sup> determinados en los lixiviados fueron, en promedio, para las plantas cultivadas en turba: 71,1 mg·L<sup>-1</sup>, un nivel de referencia bajo, para el tratamiento con 0 mM de NaCl; 322 y 409,8 mg·L<sup>-1</sup> para plantas sometidas a los tratamientos con 30 y 60 mM de NaCl, respectivamente, valores clasificados en un nivel 7 de referencia, adecuado a alto.

Con respecto al K<sup>+</sup>, las plantas sin NaCl fueron las que presentaron las concentraciones promedias menores en los lixiviados con 49,6 mg·L<sup>-1</sup>; para lixiviados en turba, arena y en la mezcla de sustratos, 370,6 y 105,3 mg·L<sup>-1</sup>, respectivamente, considerándose para la turba como un nivel de referencia bajo como sustrato orgánico; para la arena, como un nivel medio y para la mezcla de sustratos, como intermedio (Jhonson, 1980; Abad, 1993; Escudero, 1993). Si se establecen estas concentraciones como 100% de la concentración del nutriente, la concentración de K<sup>+</sup> en el lixiviado en la turba que recibió 30 mM de NaCl fue superior en 256% y en la que se trató con 60 mM de NaCl fue mayor 272%; valores superiores a los obtenidos en los lixiviados en arena (145%) y en los lixiviados en la mezcla de sustratos (202%). En el caso del Mg<sup>2+</sup> la tendencia fue similar, con lixiviados 391% mayores cuando se aplicó 30

mM de NaCl a las plantas en turba y 333% cuando se aplicó en la mezcla de sustratos.

El Na<sup>+</sup> presente en los lixiviados para las plantas control en el caso de la turba fue 62,2 mg·L<sup>-1</sup>; de la arena, 104 mg·L<sup>-1</sup> y de la mezcla de sustratos, 23,6 mg·L<sup>-1</sup>. Para todas las observaciones, las concentraciones de Cl<sup>-</sup> determinadas fueron superiores a las concentraciones de Na<sup>+</sup>, por lo que se empleó el criterio K1 para determinar el coeficiente alcalimétrico (tabla 4).

Se observó que la calidad de los lixiviados generados según el tipo de sustrato y la concentración de NaCl aplicada sólo generó lixiviados de buena calidad para los tratamientos control (sin NaCl) y para el suelo. Para los demás tratamientos se observó un exceso de Na<sup>+</sup>, respecto al cloruro, ambos como sal nociva (NaCl), lo que generó lixiviados con alta carga contaminante por Na<sup>+</sup>. Este exceso de concentración de Na<sup>+</sup> se debe al alto nivel de irrigación con el agua salina, lo que hace que los requerimientos de irrigación sean menores y, en consecuencia, que el total de agua drenada sea menor.

Se determinó una correlación alta y positiva entre Cl<sup>-</sup> y Na<sup>+</sup> (0,98), entre Cl<sup>-</sup> y Ca<sup>2+</sup> (0,70) y Cl<sup>-</sup> y Mg<sup>2+</sup> (0,73), constituyéndose en sales nocivas para el cultivo. También se observaron correlaciones altas entre los nutrientes Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup> (0,86) y K<sup>+</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (0,79); muy bajas Cl<sup>-</sup> y K<sup>+</sup> (0,24) y bajas y negativas entre Na<sup>+</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (-0,16) y entre Cl<sup>-</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (-0,18). Algunos investigadores han reportado que incrementos en la concentración de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en el sustrato disminuyeron la toma y acumulación de Cl<sup>-</sup> en numerosas cultivos hortícolas anuales (Bernstein *et al.*, 1974; Kafkafi *et al.*, 1982; Feigin

**TABLA 4.** Índice alcalimétrico (índice de Scott) para clasificar la calidad del lixiviado de plantas de lulo (*S. quitoense* var. *quitoense*) en diferentes sustratos (turba, arena, mezcla de sustratos y suelo) en respuesta a tres concentraciones de NaCl (0, 30, 60 mM).

Tratamiento	Coefficiente alcalimétrico (mg·L <sup>-1</sup> )	Calidad del lixiviado*
Turba y 0 mM NaCl	25,2	Buena
Turba y 30 mM NaCl	0,84	Mala
Turba y 60 mM NaCl	0,53	Mala
Arena y 0 mM NaCl	16,76	Tolerable
Arena y 30 mM NaCl	0,60	Mala
Arena y 60 mM NaCl	0,62	Mala
Mezcla y 0 mM NaCl	82,9	Buena
Mezcla y 30 mM NaCl	0,83	Mala
Mezcla y 60 mM NaCl	0,48	Mala
Suelo	35,72	Buena

\* Según el índice de Scott: >18, buena calidad; 6-18, tolerable; 1,2-6, regular y <1,2, mala (Cadahía y Lucena, 2000).

*et al.*, 1987; Martínez y Cerdá, 1989). Con respecto a la alta correlación entre K<sup>+</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, algunos autores han concluido que las concentraciones de K<sup>+</sup> en plantas estresadas por sales dependen del tiempo y de la fuente de fertilización nitrogenada (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ó NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). La toma de K<sup>+</sup> por plántulas de pepino salinizadas con NaCl fue estimulada cuando se aplicó NO<sub>3</sub><sup>-</sup> solo y se inhibió por su combinación con NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, respuesta que está asociada con la bien documentada competencia entre K<sup>+</sup> y NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (Martínez y Cerdá, 1989). Un estudio realizado por Bar *et al.* (1997) demostró que niveles altos de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en el sustrato de crecimiento, que pueden ser considerados suficientes para un crecimiento óptimo en ausencia de salinidad, disminuyeron las concentraciones de Cl<sup>-</sup> en hojas de aguacate (*Persea spp.*) y en cítricos (*Citrus spp.*), tanto que el daño foliar fue reducido y se redujo la inhibición del crecimiento.

#### Lixiviados en la arena

En general, los lixiviados presentaron bajos contenidos de Ca<sup>2+</sup> (61,8 mg·L<sup>-1</sup>), K<sup>+</sup> (351,3 mg·L<sup>-1</sup>) y Mg<sup>2+</sup> (27,79 mg·L<sup>-1</sup>). El Ca<sup>2+</sup> para las plantas cultivadas en arena y que recibieron las concentraciones de 0; 30 y 60 mM de NaCl fueron 19,2; 41,6 y 29,2 mg·L<sup>-1</sup>, considerados en un nivel de referencia bajo. Esto indica que, en la medida en que se aumentaron las concentraciones de NaCl, estos nutrientes fueron desplazados desde la rizósfera de las plantas con mayor facilidad por el Na<sup>+</sup>, a medida que avanzaron en su desarrollo. Esta liberación de Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup> está asociada con la presencia de

carbonatos en la arena, con el efecto complementario de la concentración salina creciente. Las concentraciones de Cl<sup>-</sup> y Na<sup>+</sup> fueron crecientes (121,72 y 3.357,8 mg·L<sup>-1</sup>) para concentraciones de 0 y 30 mM de NaCl, respectivamente y se redujeron, aunque no significativamente, a 3.276,3 mg·L<sup>-1</sup> en la máxima concentración de NaCl. Una tendencia similar presentó el Na<sup>+</sup>, con 104,1; 2.220,7 y 2.140,3 mg·L<sup>-1</sup> para 0, 30 y 60 mM de NaCl.

#### Lixiviados en la mezcla de sustratos

Se observó que los contenidos de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (234,4; 186,9 y 178,7 mg·L<sup>-1</sup>) y NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (3,64; 3,2 y 2,98 mg·L<sup>-1</sup>) fueron menores al promedio general y estuvieron poco relacionados con los contenidos de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> y Na<sup>+</sup>. En la mezcla se observó un incremento en los contenidos de Ca<sup>2+</sup>, con 100,5; 366,3 y 523,5 mg·L<sup>-1</sup> para 0; 30 y 60 mM de NaCl, respectivamente, y las de Mg<sup>2+</sup>, con 18; 60 y 74 mg·L<sup>-1</sup>, respectivamente; en tanto que el contenido de Na<sup>+</sup> se incrementó en la medida en que lo hizo la concentración de NaCl, en especial en las mediciones iniciales en la mezcla de sustratos con 60 mM de NaCl.

#### Comportamiento de los nutrientes presentes en los sustratos

Los sustratos empleados presentaron pH entre 5,2 y 6,3 que, comparados con lo propuesto por Abad *et al.* (1993), se consideran como óptimos para cultivos sin suelo. Los niveles de salinidad de 0,75-1,99 para la turba y la mezcla de sustratos, como sustratos orgánicos, se consideraron adecuados para las plantas. Los niveles de N y K<sup>+</sup> fueron bajos en la arena y la mezcla de sustratos, mientras que el Ca<sup>2+</sup> estuvo en niveles adecuados, con excepción de la arena. El Mg<sup>2+</sup> fue bajo para todos los sustratos, con excepción de la turba (tabla 5).

En la tabla 6 se presentan los promedios de nutrientes en los sustratos turba, arena, mezcla de sustratos y suelo, utilizados para las plantas de lulo sometidas a diferentes concentraciones de NaCl.

#### Nutrientes en la turba

Los contenidos promedio de los nutrientes analizados en la turba fueron en el caso del N: 3,32%, sin adición de NaCl, considerado como un rango adecuado de suficiencia; 3,45% para turba tratada con 30 mM, en un rango adecuado y 3,46% con 60 mM de NaCl, en un rango adecuado de contenido para este tipo de sustrato. Las propiedades químicas de las turbas rubias (tipo Klassman®) reportan contenidos de N en forma de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> de 4 ppm y niveles de materia orgánica por encima de 96%.

**TABLA 5.** Propiedades químicas de los sustratos empleados en el experimento.

Sustrato	pH	CE	N	Ca	K	Mg	Na
		(dS·m <sup>-1</sup> )	(%)	meq·100 g <sup>-1</sup>			
Turba	5,2	1,67	2,57	72,26	4,21	13,18	0,90
Arena	4,65	2,03	0,0	0,42	0,34	0,16	0,08
Mezcla	5,7	1,53	0,70	25,31	1,56	2,60	1,27
Suelo	5,8	0,85	0,56	15,91	0,73	0,88	0,17

CE, conductividad eléctrica

**TABLA 6.** Concentración de iones en sustratos de siembra de plantas de lulo (*S. quitoense* var. *quitoense*) en respuesta a tres concentraciones de NaCl.

Tratamiento	N	Ca	K	Mg	Na
	(%)	(meq·100 g <sup>-1</sup> )			
Turba y 0 mM NaCl	3,32	58,40	2,42	10,77	2,12
Turba y 30 mM NaCl	3,45	64,78	2,43	10,99	25,20
Turba y 60 mM NaCl	3,46	61,46	2,56	10,02	45,73
Arena y 0 mM NaCl	0,01	0,68	0,16	0,17	0,10
Arena y 30 mM NaCl	0,005	0,46	0,12	0,11	1,12
Arena y 60 mM NaCl	0,68	0,43	0,21	0,13	1,95
Mezcla y 0 mM NaCl	0,78	24,06	0,69	2,58	0,57
Mezcla y 30 mM NaCl	0,76	22,49	0,82	2,34	9,85
Mezcla y 60 mM NaCl	0,76	22,48	0,91	2,15	14,41
Suelo	0,51	16,63	0,71	0,96	0,31

Los promedios de Mg<sup>2+</sup> fueron altos a excesivos en las turbas, con niveles de disponibilidad bajos para las arenas y con niveles adecuados en la mezcla de sustratos. Las correlaciones entre los nutrientes cuantificados en los sustratos fueron positivas entre Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup> (0,51) y muy bajas entre Ca<sup>2+</sup> y K<sup>+</sup> (0,14). Se observaron correlaciones negativas y bajas entre N y Ca<sup>2+</sup> (-0,22) y entre N y K<sup>+</sup> (0,025).

Dadas las propiedades y las diferencias entre el suelo y los sustratos, no se consideró adecuado comparar los resultados. Cuando la turba no recibió NaCl o cuando recibió 30 mM, presentó mayor acumulación de K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> y Ca<sup>2+</sup> y una acumulación un poco menor de N a través del tiempo. Se presentó una tendencia incremental para los contenidos de N y Na<sup>+</sup>, especialmente en las mediciones finales con 60 mM de NaCl; esto puede relacionarse con los requerimientos menores de agua por el exceso de NaCl y con la menor capacidad de la turba para lixiviar el Na.

La competencia o interacción en el sustrato entre Cl<sup>-</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Na<sup>+</sup> y Ca<sup>2+</sup>, así como también al interior de la planta, permiten frecuentes desbalances que pueden resultar en deficiencias nutricionales (Grieve y Shannon, 1999). Otros investigadores han ligado el estrés salino con las deficiencias de macronutrientes; por ejemplo, altas concentraciones de NaCl inducen deficiencias de Ca y N en tomate y pepino (Cerdá y Martínez, 1998), trigo y cebada (Ehret *et al.*, 1990), maíz (Evlagon *et al.*, 1990) y tomate (Navarro *et al.*, 2000). La salinidad por NaCl puede afectar directamente la toma de nutrientes: el Na<sup>+</sup>, reduciendo la toma de Ca<sup>+</sup> o el Cl<sup>-</sup>, reduciendo la toma de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Grattan y Grieve, 1999).

#### **Nutrientes en la arena**

Para la arena, los valores de N fueron en promedio 0,01%, 0,005% y 0,68%, en los tratamientos con 0, 30 y 60 mM de NaCl, respectivamente; valores que se consideran en rangos muy bajos y limitantes para el crecimiento de las plantas.

En la mezcla de sustratos, el N presentó valores muy bajos. Las concentraciones de  $\text{Ca}^{2+}$  en arena presentaron niveles de disponibilidad bajos, ( $<3 \text{ meq}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ ), y niveles altos para los demás sustratos. Se observó en este caso una alta correlación entre los nutrientes presentes en el sustrato arena, principalmente en  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y N y una correlación menor con el elemento N. En los muestreos iniciales se presentaron contenidos altos de  $\text{K}^+$  y  $\text{Mg}^{2+}$ ; en los muestreos intermedios, contenidos altos de  $\text{Ca}^{2+}$  y en los finales, las concentraciones de  $\text{Na}^+$  se aumentaron, tanto en las concentraciones de 30 como en las de 60 mM de NaCl.

### **Nutrientes en la mezcla de sustratos**

Los contenidos de N se mantuvieron estables: 0,78; 0,76 y  $0,76 \text{ meq}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$  y poco influenciados por el incremento de la salinidad. El  $\text{K}^+$  presentó valores crecientes de 0,69; 0,82 y  $0,91 \text{ meq}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ , junto con los incrementos de la salinidad. Se observó una alta correlación entre los nutrientes, principalmente entre  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y N y una menor correlación con el  $\text{Na}^+$ . Éste presentó valores incrementales ( $0,57$ ;  $9,85$  y  $14,41 \text{ meq}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ ) en la medida en que aumentó la concentración de NaCl. En los muestreos iniciales se presentaron contenidos altos de  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Ca}^{2+}$  y en los finales se aumentaron las concentraciones de  $\text{Na}^+$  en los tratamientos con 30 y 60 mM de NaCl. Puede decirse que la tendencia observada en la mezcla de sustratos fue similar a la de la turba sola, lo que significa que las propiedades de retención de humedad de la turba se mantiene también en la mezcla de sustratos, lo que se traduce en un bajo requerimiento y una baja lixiviación.

### **Conclusiones**

Se observó una relación inversa entre los niveles de sales y los cambios de magnitud de las plantas de lulo, como resultado de la exposición continua de las plantas al estrés salino. La altura presentó reducciones entre 4% y 16% para las plantas cultivadas en turba y mezcla de sustratos y de 65% para plantas cultivadas en arena. El área foliar se redujo entre 14% y 17% por efecto del incremento en la concentración salina para plantas establecidas en turba, en 65% para plantas cultivadas en arena y en 27% para plantas en mezcla de sustratos. La masa seca acumulada de las plantas establecidas en los tratamientos sobre turba se redujeron entre 38% y 50% por el incremento en la salinidad y para las plantas sobre la mezcla de sustratos, entre 21% y 43%.

El contenido de nutrientes en tejido foliar se afectó por las concentraciones de NaCl aplicadas en el agua de riego.

El N y el P se incrementaron en turba y en la mezcla de sustratos, pero disminuyeron en arena. El  $\text{Ca}^{2+}$  disminuyó en los sustratos orgánicos y se incrementó en la arena, en tanto que el  $\text{K}^+$  y el  $\text{Mg}^{2+}$  disminuyeron su concentración en las hojas a medida que se incrementó la concentración de NaCl en los sustratos evaluados.

Los iones  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Mg}^{2+}$  presentes en los lixiviados generados en los sustratos orgánicos (turba y mezcla de sustratos) incrementaron sus concentraciones al aumentar las concentraciones de NaCl, mientras que en la arena su concentración disminuyó por efecto de la adición de NaCl. Por su parte, los iones  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$  incrementaron sus concentraciones en presencia de mayores concentraciones de NaCl en los sustratos evaluados. El  $\text{NO}_3^-$  y el  $\text{NH}_4^+$  disminuyeron por efecto del aumento de la concentración salina en los sustratos evaluados.

En los sustratos los contenidos de N se incrementaron, con respecto al muestreo inicial; lo mismo ocurrió con el  $\text{Na}^+$ , mientras que el  $\text{K}^+$ , el  $\text{Ca}^{2+}$  y el  $\text{Mg}^{2+}$  disminuyeron sus concentraciones. Las concentraciones de N y  $\text{Ca}^{2+}$  se incrementaron en las turbas, se mantuvieron estables en la mezcla de sustratos y se redujeron en la arena. Los iones  $\text{K}^+$  y  $\text{Na}^+$  incrementaron sus concentraciones en todos los sustratos con el incremento de la salinidad. Por su parte, el  $\text{Mg}^{2+}$  mantuvo estable su concentración en la turba, a pesar del incremento en la salinidad; su concentración aumentó en la arena junto con las concentraciones de NaCl y en la mezcla de sustratos su concentración se redujo.

### **Literatura citada**

- Adams P. 1991. Effect of increasing the salinity of the nutrient solution with mayor nutrients or sodium chloride on the yield quality and composition of tomato grown in Rockwool. *J. Hort. Sci.* 66 (2), 201-207.
- Al-Rawahy, S.A., J.L. Stroehlein y M. Pessarakli. 1992. Dry matter yield and nitrogen-15, Na, Cl y K content of tomatoes under sodium chloride stress. *J. Plant Nutr.* 15, 341-358.
- Azcón-Bieto, J. y M. Talón. 2000. Fisiología y bioquímica vegetal. McGraw Hill-Interamericana, Madrid.
- Awad, A.S., D.G. Edwards y L.C. Campbell. 1990. Phosphorus enhancement of salt tolerance of tomato. *Crop Sci.* 30, 123-128.
- Bañuls, J. y E. Primo-Millo. 1995. Effects of salinity on some citrus scion-rootstock combinations. *Ann. Bot.* 76, 97-102.
- Bar, Y., A. Apelbaum, U. Kafkafi y R. Goren. 1997. Relationship between chloride and nitrate and its effect on growth and mineral composition of avocado and citrus plants. *J. Plant Nutr.* 20, 715-731.

- Bernstein, L., L.E. Francois y R.A. Clark. 1974. Interactive effects of salinity and fertility on yields of grains and vegetables. *Agron. J.* 66, 412-421.
- Bhivare, V.N. y J.D. Nimbalkar. 1984. Salt stress effect on growth and nutrition of french beans. *Plant Soil* 80, 91-98.
- Cadahía, C. y J.J. Lucena. 2000. Diagnóstico de nutrición y recomendación de abonado. En: *Fertirrigación cultivos hortícolas y ornamentales*. 2ª edición revisada. Mundi-Prensa, Madrid. pp. 174-246.
- Cerda, A. y V. Martinez. 1998. Nitrogen fertilization under saline conditions in tomato and cucumber plants. *J. Hort. Sci.* 63 (3), 451-458.
- Chartzoulakis, K. y G. Klapaki. 2000. Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Scientia Hort.* 86(4), 247-260.
- Chow, W.S., M.C. Ball y J.M. Anderson. 1990. Growth and photosynthetic responses of spinach to salinity: Implications of K nutrition for salt tolerance. *Aust. J. Plant Physiol.* 17, 563-578.
- Cramer, G.R., A. Läuchli y E. Epstein. 1986. Effects of NaCl and CaCl<sub>2</sub> on ion activities in complex nutrient solutions and root growth of cotton. *Plant Physiol.* 81, 792-797.
- Cramer, G.R., E. Epstein y A. Läuchli. 1991. Effect of sodium, potassium and calcium on salt-stressed barley. II. Elemental analysis. *Physiol. Plant.* 81, 197-202.
- Cramer, M.D., J.A. Oberholzer y N.J.J. Combrink. 2001. The effect of supplementation of root zone dissolved inorganic carbon on fruit yield and quality of tomatoes (cv 'Daniella') grown with salinity. *Scientia Hort.* 89, 269-289.
- Cram, W.J. 1973. Internal factors regulating nitrate and chloride influx in plant cells. *J. Exp. Bot.* 24, 328-341.
- Ebert, G., F. Casierra y P. Lüdders. 1999. Influence of NaCl salinity on growth and mineral uptake of lulo (*Solanum quitoense* L.). *J. Appl. Bot.* 73, 31-33.
- Ehret, D.L., R.E. Remann, B.L. Harvey y A. Cipywnyk. 1990. Salinity induced calcium deficiencies in wheat and barley. *Plant Soil* 128, 143-151.
- Evlagon, D., Y. Ravina y P.M. Neumann. 1990. Interactive effects of salinity and calcium on hydraulic conductivity, osmotic adjustment and growth in primary roots of maize seedlings. *Isr. J. Bot.* 39, 239-247.
- Escudero, J. 1993. Cultivo hidropónico del tomate. pp. 261-297. En: Canovas, F. y J.R. Díaz (eds.). *Curso superior de especialización sobre cultivos sin suelo*. IEA/FIAPA, Almería.
- Feigin, A., E. Pressman, P. Imas y O. Miltau. 1991. Combined effects of KNO<sub>3</sub> and salinity on yield and chemical composition of lettuce and chinese cabbage. *Irrig. Sci.* 12, 223-230.
- Feigin, A., I. Rylski, A. Meiri y J. Shalhevet. 1987. Response of melon and tomato plants to chloride-nitrate ratios in saline nutrient solutions. *J. Plant Nutr.* 10, 1787-1794.
- Franco, J.A., J.A. Fernández, S. Bañon y A. González. 1997. Relationship between the effects of salinity on seedling leaf area and fruit yield of six muskmelons cultivars. *Hort. Sci.* 32, 642-647.
- Grieve, C.M. y M.C. Shannon. 1999. Ion accumulation and distribution in shoot components of salt-stressed eucalyptus clones. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 124(5), 559-563.
- Graifenberg, A., L. Bottrini, L. Giustiniani y M. Lipucci Di Paola. 1996. Salinity affects growth, yield and elemental concentration of fennel. *Hort. Sci.* 31, 1131-1134.
- Grattan, S.R. y C.M. Grieve. 1994. Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in saline environments. En: Pessarakli, M. (ed.). *Handbook of plant and crop stress*. Marcel Dekker, New York.
- Grattan, S.R. y C.M. Grieve. 1999. Mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia Hort.* 78, 127-157.
- Greenway, H. y R. Munns, 1998. Mechanisms of salt tolerance in non halophytes. *Annu. Rev. Plant Phys.* 81, 149-190.
- Jhonson, E.W. 1980. Comparison of methods of analysis for loamless composts. *Acta Hort.* 99, 197-204.
- Kafkafi, U., N. Valoras y J. Letey. 1982. Chloride interaction with nitrate and phosphate nutrition in tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *J. Plant Nutr.* 5, 1369-1385.
- Khan, M.S.A., A. Hamid, A.B.M. Salahuddin, A. Quasem y M.A. Karim. 1997. Effect of sodium chloride on growth photosynthesis and mineral ions accumulation of different types of rice (*Oriza sativa* L.). *J. Agron. Crop Sci.* 179, 149-161.
- Lessani, H. y H. Marschner. 1978. Relation between salt tolerance and long-distance transport of sodium and chloride in various crop species. *Aust. J. Plant Physiol.* 5, 27-37.
- López, M.V. y S.M.E. Satti. 1996. Calcium and potassium-enhanced growth and yield of tomato under sodium chloride stress. *Plant Sci.* 114, 19-27.
- Lycoskoufis, I.H., D. Savvas y G. Mavrogianopoulos. 2005. Growth, gas exchange, and nutrient status in pepper (*Capsicum annum* L.) grown in recirculating nutrient solution as affected by salinity imposed to half of the root system. *Scientia Hort.* 106, 147-161.
- Lutts, S., J. Bouharmont y J.M. Kinet. 1999. Physiological characterization of salt-resistant rice (*Oriza sativa* L.) somaclones. *Aust. J. Bot.* 47, 835-849.
- Maas, E.V. 1993. Salinity and citriculture. *Tree Physiol.* 12, 195-216.
- Martínez, V. y A. Cerdá. 1989. Influence of N source on rate of Cl, N, Na, and K uptake by cucumber seedlings grown in saline conditions. *J. Plant Nutr.* 12, 971-983.
- Matsuda, K. y A. Riazi, 1981. Stress induced osmotic adjustment in growing regions of barley leaves. *Plant Physiol.* 68, 571-576.
- Munns, R. 2003. The impact of salinity stress. CSIRO Division of Plant Industry, Canberra (Australia).
- Murillo-Amador B, E. Troyo-Diéguez, R. López-Aguilar, A. López-Cortés, C.L. Tinoco-Ojanguren, H.G. Jones y C. Kaya 2002.
- Flórez, Miranda y Chaves. Dinámica de nutrientes en la fase vegetativa del cultivo de lulo...

- Matching physiological traits and ion concentrations associated with salt stress in cowpea genotypes. *Aust. J. Agr. Res.* 53(11), 1243-1255.
- Nassery, H., G. Ogata y E.V. Maas. 1979. Sensitivity of sesame to various salts. *Agron. J.* 71, 595-597.
- Navarro, J.M., V. Martinez y M. Carvajal. 2000. Ammonium, bicarbonate and calcium effects on tomato plants grown under saline conditions. *Plant Sci.* 157, 89-96.
- Pasternak, D. 1987. Salt tolerance and crop production. A comprehensive approach. *Annu. Rev. Phytopathol.* 25, 271-291.
- Pessarakli, M. 1991. Dry matter yield, nitrogen-15 absorption, and water uptake by green bean under sodium chloride stress. *Crop Sci.* 31, 1633-1640.
- Ruiz, D., V. Martinez y A. Cerdá. 1997. Citrus response to salinity: growth and nutrient uptake. *Tree Physiol.* 17, 141-150.
- Saqib, M., C. Zörb y S. Schubert. 2005. Salt-resistant and salt-sensitive wheat genotypes show similar biochemical reaction at protein level in the first phase of salt stress. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 169(4), 542-548.
- Salisbury, F.B. y C.W. Ross. 1994. *Fisiología vegetal*. Grupo Editorial Iberoamericana, México. 759 p.
- Savvas, D. y F. Lenz. 2000. Effects of NaCl or nutrient-induced salinity on growth, yield, and composition of eggplants grown in rockwool. *Scientia Hort.* 84, 37-47.
- Sharpley, A.N., J.J. Meisinger, J.F. Power y D.L. Suarez. 1992. Root extraction of nutrients associated with long-term soil management. *Adv. Soil Sci.* 19, 151-217.
- Sonneveld, C. 2000. Effects of salinity on substrate grown vegetables and ornamentals in greenhouse horticulture. Tesis doctoral. Universidad de Wageningen (Holanda).
- Song, J.Q. y H. Fujiyama. 1996. Difference in response of rice and tomato subjected to sodium salinization to the addition of calcium. *Soil Sci. Plant Nutr.* 42, 503-510.
- Suarez, D.L. y C.M. Grieve. 1988. Predicting cation ratios in corn from saline solution composition. *J. Exp. Bot.* 39, 605-612.
- Sykes, S.R. 1985. Effects of seedling age and size on chloride accumulation by juvenile citrus seedlings treated with sodium chloride under glasshouse condition. *Aust. J. Exp. Bot.* 25, 943-953.