

LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y LA SALINIDAD DEL SUELO AFECTAN LA TRANSPIRACIÓN Y ABSORCIÓN DE NUTRIMENTOS EN PLANTAS DE CHILE

Transpiration and Nutrient Uptake by Pepper Plants as Affected by N Fertilization and Soil Salinity

M. Villa-Castorena^{1†}, E. A. Catalán-Valencia¹, M. A. Inzunza-Ibarra¹ e I. Sánchez-Cohen¹

RESUMEN

Se cultivaron plantas de chile (*Capsicum annuum* L.), en condiciones de invernadero, en macetas llenas con suelo migajón arenoso (Mixed thermic Typic Torripsamment), con el propósito de estudiar el efecto de la dosis de N y la salinidad del suelo en la transpiración y la tasa de absorción de N, K, Ca y Mg. Las dosis de N fueron 80, 140 y 200 kg ha⁻¹ y se aplicaron en cuatro partes iguales, en diferentes repeticiones. Los niveles de salinidad, medidos como conductividad eléctrica en la pasta de saturación del suelo (CEe), fueron 1.3, 3.5 y 5.5 dS m⁻¹. La salinidad afectó diferencialmente a la transpiración y la absorción de nutrimentos durante el ciclo de crecimiento de la planta. Al inicio del crecimiento, la salinidad disminuyó la transpiración y la absorción de nutrimentos, pero en etapas más avanzadas del crecimiento la salinidad no afectó la transpiración, aunque incrementó la absorción de nutrimentos. La dosis de 80 kg ha⁻¹ produjo la máxima tasa de absorción de nutrimentos hasta la etapa de maduración de los primeros frutos. Después de esta etapa, dosis de N mayores de 80 kg ha⁻¹ incrementaron la absorción de nutrimentos. A inicio de la floración, la transpiración se incrementó, al aumentar de 80 a 140 kg N ha⁻¹, sin embargo, en las etapas de maduración de los primeros frutos y senescencia de las hojas, ésta se mantuvo igual con esas dosis de N, pero disminuyó con 200 kg ha⁻¹. Los resultados indicaron que la respuesta de la transpiración y la absorción de nutrimentos a la salinidad del suelo y a la dosis de N cambiaron con la edad de la planta.

Palabras clave: *Capsicum annuum* L., estrés salino, conductividad eléctrica, tasas de absorción de N, K, Ca y Mg.

SUMMARY

Pepper plants (*Capsicum annuum* L.) were grown under greenhouse conditions in pots filled with sandy loam soil (Mixed thermic Typic Torripsamment) to study the effect of N fertilization rate and soil salinity on plant transpiration, and the uptake of N, K, Ca, and Mg. The N rates tested were 80, 140, and 200 kg ha⁻¹ applied in four equal dosages at fixed times. Soil salinity levels were 1.3, 3.5, and 5.5 dS m⁻¹, as electrical conductivity in the soil saturated paste extract (ECe). Salinity affected transpiration and nutrient uptake differently over plant development. At early plant growth, salinity reduced transpiration and uptake rate of nutrients, but at later plant growth, it increased macronutrient uptake and did not affect transpiration. The N rate of 80 kg ha⁻¹ produced the maximum uptake rate of macronutrients up to the first mature pod stage. After this stage, N rates higher than 80 kg ha⁻¹ increased macronutrient uptake. At flowering, increasing N rate from 80 to 140 kg ha⁻¹ increased transpiration rate but at first pod maturing and leaf senescence it was similar and only decreased with 200 kg ha⁻¹. Results indicate that the response of transpiration and absorption of nutrients to soil salinity and dosages of N changed with plant age.

Index words: *Capsicum annuum* L., salt stress, electrical conductivity, rate of N, K, Ca and Mg uptake.

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, CENID RASPA, km 6.5 margen derecha canal Sacramento, 35140 Gómez Palacio, Durango, México.

[†] Autor responsable (mvillaca@raspa.inifap.conacyt.mx)

Recibido: septiembre de 2003. Aceptado: abril de 2006.
Publicado en *Terra Latinoamericana* 24: 391-399.

INTRODUCCIÓN

La salinidad inhibe el crecimiento de las plantas, debido a déficit hídrico, toxicidad iónica, desequilibrios nutricionales o a una combinación de esos factores (Läuchli y Epstein, 1990; Cramer y Bowman, 1994).

El problema de la salinidad crece año con año en las regiones áridas debido, principalmente, a la baja disponibilidad de agua, al mal manejo de ella y a la aplicación excesiva de fertilizantes. La salinidad disminuye la absorción de nutrimentos como K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y NO_3^- (Shannon *et al.*, 1994; Yahya, 1998; Al-Karaki, 2000); esto se debe a una restricción en la actividad del transportador del ion, a la competencia entre los transportadores de iones y a los cambios en las propiedades químicas que ocurren en el plasmalema de las células de las raíces que alteran la permeabilidad de ésta.

La absorción de NO_3^- se inhibe por las sales de Cl, debido a una restricción en la actividad del transportador de nitrato (Aslam *et al.*, 1984). Una concentración alta de Na en la solución del suelo desplaza los iones Ca^{2+} de los sitios de enlace en el plasmalema, lo cual altera su integridad y la selectividad de la absorción y transporte de K^+ , lo que causa la salida de este ion de las células radiculares y favorece la entrada de Na^+ (Elzam, 1970; Cramer *et al.*, 1987; Flowers y Yeo, 1988).

La transpiración se reduce por el estrés salino en muchas especies de plantas (Hagemeyer y Waisel, 1989; Lea-Cox y Syvertsen, 1993; Moya *et al.*, 1999). Esos decrementos en la transpiración se atribuyen a una reducida capacidad de la raíz para transportar agua (Hagemeyer y Waisel, 1989), a incrementos en la resistencia estomática y a cambios anatómicos y morfológicos que ocurren en las hojas de las plantas que crecen en condiciones de salinidad (Flowers y Yeo, 1989).

Varios estudios señalan que incrementos en la tasa de aplicación de N mejoran el funcionamiento de plantas estresadas por sales. Por ejemplo, la tasa de fotosíntesis neta de plantas de cebada (*Hordeum vulgare* L.), el crecimiento y el rendimiento de plantas de chile y alfalfa (*Medicago sativa* L.) aumentaron con el incremento de la cantidad de N aplicada cuando estuvieron creciendo en condiciones salinas (Shen *et al.*, 1994; Gómez *et al.*, 1996; Helalia *et al.*, 1996). Además, al incrementar la dosis de N aumentó la actividad de la enzima nitrato reductasa en hojas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) y pepino (*Cucumis sativus* L.) (Martínez y Cerdá, 1989), y la asimilación de N en plantas de zacate ryegrass anual (*Lolium multiflorum* Lam.) (Sagi *et al.*, 1997).

El cultivo de chile es una de las especies vegetales más importantes en el mundo y se clasifica como una especie moderadamente sensible a la salinidad (Maas y

Hoffman, 1977). La respuesta de este cultivo a la aplicación de N se ha determinado en varios estudios en condiciones no salinas (Olsen *et al.*, 1993; Hedge, 1997). Sin embargo, los estudios sobre fertilización nitrogenada en el cultivo de chile en condiciones salinas son escasos. Por lo tanto, se planteó el presente trabajo con el propósito de investigar los efectos de diferentes tasas de aplicación de N y niveles de salinidad del suelo en la transpiración y la absorción de N, K, Ca, y Mg en plantas de chile, en tres etapas de crecimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se estableció un estudio de invernadero con plantas de chile, en la Universidad Estatal de Nuevo Mexico, EE. UU. Las plantas, de 15 cm de altura, se trasplantaron en forma individual en macetas de polietileno negro de 15 L, las cuales se llenaron con 20 kg de suelo migajón arenoso no salino (Mixed thermic Typic Torripsamment) (Brady y Weil, 1999). Se usó el cultivar de chile Sandía, cuyo fruto es largo y de maduración media. Se probaron tres niveles de salinidad del suelo, 1.3, 3.5 y 5.5 dS m^{-1} , y tres dosis de fertilización nitrogenada, 80, 140 y 200 kg ha^{-1} . La salinidad se midió como conductividad eléctrica en el extracto de la pasta de suelo saturado (CEe) y las dosis de N correspondieron a 2.1, 3.7 y 3 g $planta^{-1}$, considerando una densidad de población de 37 000 plantas ha^{-1} . Las plantas se regaron manualmente con agua desionizada ($CE < 0.015$ dS m^{-1}), cada tercer día, al inicio de la estación de crecimiento y, en forma diaria, durante el período de máximo consumo. Se pesaron tres macetas de cada tratamiento diariamente, para estimar la cantidad de agua necesaria para incrementar el contenido de agua del suelo, hasta capacidad de campo, y evitar el drenaje.

Se utilizó el fertilizante nitrato de amonio como fuente de N y el NaCl y $CaCl_2$ como fuentes de salinidad. El fertilizante se aplicó en el agua de riego en cuatro cantidades iguales a 0, 15, 35 y 65 días después del trasplante (DDT). El NaCl y el $CaCl_2$ se disolvieron en agua desionizada con una relación de 1:1 y se aplicaron a cada maceta un día antes del trasplante. La cantidad de cada sal necesaria para generar cada nivel de salinidad se estimó mediante la ecuación:

$$A = \frac{(10CEe)(PE)(VSM)}{2}$$

donde: A es la cantidad de cada sal (mg) agregada (NaCl o $CaCl_2$) a cada maceta; CEe es el nivel de salinidad

deseado, en dS m^{-1} ; la constante 10 es un factor empírico que se usó para convertir la CE_e de dS m^{-1} a meq L^{-1} de sales solubles totales en el extracto de la pasta del suelo saturado (Dudley, 1994); PE es el peso equivalente de cada sal, en mg meq^{-1} ; VSM es el volumen (L) de saturación del suelo en la maceta; y la constante 2 se usó para considerar la contribución de cada sal a la CE_e . El VSM se calculó a partir de la porosidad del suelo, estimada de mediciones hechas de la densidad aparente del suelo (Jury *et al.*, 1991).

Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con nueve repeticiones y un arreglo de tratamientos factorial 3×3 . Se hicieron tres muestreos durante el desarrollo de la planta: a inicio de floración (35 DDT), maduración de los primeros frutos (65 DDT) e inicio de senescencia de la hoja (120 DDT). En cada muestreo, se seleccionaron al azar tres bloques completos; las macetas de estos bloques se removieron (27 en total) y se determinó la CE_e del suelo. Se cuantificó la transpiración de la planta, el área foliar y el peso seco de raíz, tallo, hojas y frutos. En el momento del trasplante, se tomaron diez plántulas para determinar el peso seco de cada órgano y así registrar los datos iniciales.

Las plantas se cortaron al ras del suelo de cada maceta; el tallo, las hojas y los frutos se colectaron individualmente y la raíz se separó del suelo, mediante aspersiones de agua. Cada componente de la planta se lavó con agua destilada, se secó en una estufa de aire forzado, a 76°C por 48 h (para el caso de los frutos, este tiempo fue mayor, hasta lograr un peso constante), y se pesó. La transpiración se midió durante un día, mediante el método gravimétrico en cada una de las etapas de crecimiento; para ello, las macetas se regaron a capacidad de campo, se pesaron y se cubrieron con papel aluminio, para evitar la evaporación directa del suelo. Al siguiente día, las macetas se pesaron nuevamente y, por diferencia de peso, se cuantificó la pérdida de agua en un día. El área foliar se midió en cada planta mediante un integrador de área foliar portátil. La tasa de transpiración se calculó mediante la cantidad de agua perdida durante un día por unidad de área foliar. La raíz, el tallo, las hojas y los frutos secos se molieron en un molino ciclónico, para pasar a través de una malla No. 40, y se determinaron nitratos, N total (Kjeldahl), K, Ca y Mg.

La determinación de NO_3 y N total en cada componente de la planta se hizo de acuerdo con la metodología de Gavlak *et al.* (1994). El nitrato se extrajo del tejido vegetal usando agua desionizada y se midió

colorimétricamente, de acuerdo con la técnica del microplato de Sims *et al.* (1995). Para la determinación del N total, las muestras del tejido vegetal se digirieron con ácido sulfúrico concentrado, usando un sistema de digestión Kjeldahl, y se usó un autoanalyzer II (Isaac y Johnson, 1992). Por otra parte, para la determinación de Ca, K y Mg, se tomaron muestras de cada órgano de la planta, se digirieron con ácido nítrico, usando un sistema de digestión de microondas, y se analizaron con un espectrofotómetro de emisión atómica, de acuerdo con el método EPA Method 200.7 (USEPA, 1982).

Las tasas de absorción de N (NO_3 más N total), K, Ca y Mg se estimaron como la tasa de absorción promedio de cada nutrimento, relativo al peso seco de la raíz (TAN_r), durante un periodo de desarrollo. Esta variable se estimó con los datos del contenido de nutrimentos de cada componente de la planta y el peso seco de la raíz en dos fechas, mediante la ecuación (Fageria *et al.*, 1991):

$$\text{TAN}_r = \frac{(M_2 - M_1) [\ln(\text{PSR}_2) - \ln(\text{PSR}_1)]}{(T_2 - T_1) (\text{PSR}_2 - \text{PSR}_1)}$$

donde: M es la cantidad de nutrimento en cada componente de la planta, T es el tiempo (días) y PSR es el peso seco de la raíz. Los subíndices se refieren a los valores de las variables medidas en dos fechas. La TAN_r se expresa en miligramos del nutrimento por gramo de peso seco de la raíz por día.

Los datos de la tasa de transpiración de la planta y las tasas de absorción de cada uno de los nutrimentos estimados en cada estado de crecimiento se analizaron estadísticamente, como un experimento factorial con tres repeticiones. Se elaboraron comparaciones de medias mediante la prueba Duncan ($\alpha = 0.05$), cuando se encontraron diferencias entre tratamientos, mediante el procedimiento GLM de SAS, Version 8.0 (SAS Institute, 1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Transpiración

La salinidad del suelo influyó sobre la tasa de transpiración de la planta por área foliar a inicio de floración y maduración de los primeros frutos, mientras que ésta no afectó la transpiración a inicio de senescencia de las hojas (Cuadro 1). En promedio, los niveles de

salinidad de 3.5 y 5.5 dS m⁻¹ redujeron la transpiración en 18 y 36%, con respecto a 1.3 dS m⁻¹, al inicio de floración y, en una forma similar (13 y 37%), en la etapa de maduración de los primeros frutos. Reducciones en la transpiración, debidas a la salinidad, también se han reportado en otras especies de plantas (Leidi *et al.*, 1991; Moya *et al.*, 1999) y esas reducciones se han atribuido a una disminución en la conductancia estomática, al menor número de estomas por unidad de área foliar y a una cutícula más gruesa de la hoja (Flowers y Yeo, 1989).

La dosis de N afectó la transpiración durante todo el ciclo del cultivo, pero no se encontró interacción entre la salinidad y la dosis de N para ninguna etapa de crecimiento (Cuadro 1). Al inicio de floración, se tuvo un incremento en la transpiración cuando el N aplicado aumentó de 80 a 140 kg ha⁻¹, sin embargo, con 200 kg N ha⁻¹, la transpiración se redujo significativamente. A maduración de los primeros frutos y senescencia de la hoja, no se encontró respuesta al incremento de 80 a 140 kg N ha⁻¹, pero al aumentar a 200 kg N ha⁻¹, la transpiración, como en la etapa anterior, disminuyó considerablemente. Esta última dosis de N incrementó la salinidad, 4 dS m⁻¹ en la etapa de maduración de los primeros frutos y 2 dS m⁻¹ en la etapa de senescencia de las hojas, hasta 9.7 dS m⁻¹ en la primera etapa de crecimiento y hasta 7.7 dS m⁻¹ al final del crecimiento (Villa-Castorena *et al.*, 2003). Esta salinidad extra, debida al N, pudo haber contribuido a que se redujera

la transpiración, debido a los efectos osmóticos sobre la absorción de agua.

Absorción de N

Los efectos de la salinidad sobre la tasa promedio de absorción neta de N por unidad de peso seco de la raíz (TAN) difirieron entre períodos de desarrollo (Cuadro 2). De trasplante a inicio de floración, incrementos en la salinidad del suelo redujeron la TAN, de 30 a 41%, con respecto al tratamiento no salino, pero de inicio de floración a maduración de los primeros frutos, la salinidad no tuvo efectos significativos sobre la TAN. Reducciones en la absorción de N debidas a la salinidad se han reportado en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) (Pessaraki, 1994) y en trigo (Botella *et al.*, 1997), y esas reducciones se deben a un antagonismo entre el Cl y el NO₃ (Silberbush y Lips, 1991).

Durante el último período de desarrollo, las plantas tratadas con 3.5 y 5.5 dS m⁻¹ incrementaron la TAN, lo que puede deberse a que retrasaron su crecimiento al inicio del ciclo (Villa-Castorena *et al.*, 2003) y al final estuvieron creciendo, mientras que las plantas tratadas con 1.3 dS m⁻¹ estaban ya senescentes. Así, las plantas con 3.5 y 5.5 dS m⁻¹ tuvieron una mayor demanda por N al final del ciclo.

Durante el trasplante a inicio de floración, no hubo efecto de la cantidad de N aplicada sobre la TAN. Sin embargo, durante el inicio de floración a maduración de

Cuadro 1. Efectos de la salinidad del suelo y la dosis de N sobre la tasa de transpiración por área foliar en tres etapas de crecimiento.

Etapa de crecimiento	ECe	Tasa de transpiración por área foliar			Media [†]
		80 [‡]	140	200	
	dS m ⁻¹	mg cm ⁻² d ⁻¹			
Floración	1.3	260.7	293.5	279.0	277.7 a
	3.5	218.6	262.3	203.7	228.2 b
	5.5	170.9	201.8	160.0	177.6 c
	Media	216.7 b	252.5 a	214.3 b	
Maduración de primeros frutos	1.3	264.4	274.0	212.4	250.3 a
	3.5	257.8	243.7	155.6	219.0 b
	5.5	211.2	138.8	119.4	156.5 c
	Media	244.5 a	218.8 a	162.5 b	
Senescencia de las hojas	1.3	158.4	216.5	130.4	168.4 a
	3.5	238.2	209.8	152.5	200.2 a
	5.5	206.0	167.0	156.4	176.5 a
	Media	200.9 a	197.8 a	146.4 b	

[†] Medias con la misma letra no son significativamente diferentes dentro de hileras y columnas, de acuerdo con Duncan ($\alpha \leq 0.05$) para cada etapa de crecimiento. [‡] Estos valores corresponden al N aplicado (80, 140 y 200 kg ha⁻¹).

Cuadro 2. Efectos de la salinidad del suelo y la dosis de N sobre la tasa promedio de absorción de nitrógeno por unidad de peso seco de la raíz (TAN) durante tres periodos de desarrollo.

Periodo de desarrollo	ECe	Tasa de absorción de N			Media [†]
		80 [‡]	140	200	
	dS m ⁻¹	----- mg g ⁻¹ d ⁻¹ -----			
Trasplante a inicio de floración	1.3	17.61	17.34	15.24	16.73 a
	3.5	11.82	11.56	11.68	11.68 b
	5.5	11.54	9.47	8.81	9.94 c
	Media	13.66 a	12.79 a	11.91 a	
Inicio de floración a maduración de primeros frutos	1.3	7.59	7.88	9.54	8.34 a
	3.5	11.63	9.35	3.93	8.30 a
	5.5	8.82	7.23	4.63	6.89 a
	Media	9.35 a	8.15 ab	6.03 b	
Maduración de primeros frutos a senescencia de las hojas	1.3	1.77	2.00	2.30	2.03 b
	3.5	2.55	3.72	5.93	4.07 a
	5.5	2.75	3.72	4.39	3.62 a
	Media	2.36 b	3.15 b	4.20 a	

[†] Medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes dentro de hileras y columnas, de acuerdo con Duncan ($\alpha \leq 0.05$) para cada periodo de desarrollo. [‡] Estos valores corresponden al N aplicado (80, 140 y 200 kg ha⁻¹).

los primeros frutos, la dosis más alta de N (200 kg ha⁻¹) produjo un decremento significativo de 36% en la TAN, con respecto a la dosis más baja (80 kg ha⁻¹). Contrariamente, la dosis más alta de N incrementó la TAN en 78% durante la maduración de los primeros frutos a senescencia de la hoja. Estos resultados muestran que dosis altas de N aplicadas en etapas de crecimiento temprano no incrementan la absorción de N, más bien llegan a ser perjudiciales, debido a que una acumulación de N en el suelo incrementó el efecto salino, lo que limitó el crecimiento de la planta (Villa-Castorena *et al.*, 2003). Por el contrario, en etapas de crecimiento avanzado, la absorción de N por las plantas respondió favorablemente a la cantidad de N, debido a que éstas estuvieron más grandes y requirieron más N.

Absorción de K

Los efectos de la salinidad sobre la tasa neta promedio de K por unidad de peso seco de la raíz (TAK_r) fueron evidentes durante los periodos de trasplante a inicio de floración y de maduración de los primeros frutos a senescencia de la hoja (Cuadro 3). La salinidad redujo la TAK_r en 37 y 51% cuando ésta se incrementó de 1.3 a 3.5 dS m⁻¹ y 5.5 dS m⁻¹, respectivamente. Estos efectos negativos de la salinidad sobre la absorción de K también los reportaron Romero y Maraño (1994), Yahya (1998), Al-Karaki (2000) y Lorenzo *et al.* (2001). En contraste con los resultados observados al inicio del crecimiento,

los tratamientos salinos tuvieron casi lo doble de la TAK_r del tratamiento no salino durante el periodo de maduración de primeros frutos a la senescencia de las hojas. Una posible explicación de esta respuesta podría ser, como se mencionó en el caso de la absorción de N, el retraso en el crecimiento de las plantas debido a la salinidad.

Referente a los efectos de la dosis de N sobre la TAK_r, éstos fueron significativos durante los periodos de trasplante a inicio de floración y de inicio de floración a la maduración de los primeros frutos (Cuadro 3). En tanto que durante el periodo de maduración de los primeros frutos a la senescencia de las hojas, la dosis de N no afectó significativamente la TAK_r. El tratamiento más alto de N (200 kg ha⁻¹) disminuyó significativamente la TAK_r en los dos periodos de desarrollo afectados. Esta respuesta, como se explicó en la sección de absorción de N, puede deberse a la contribución extra de la tasa alta de N sobre la salinidad del suelo.

Absorción de Ca

La salinidad del suelo afectó de manera diferente a la tasa neta de absorción de Ca por unidad de peso seco de la raíz (TACa_r) durante el ciclo del cultivo (Cuadro 4). Al inicio del crecimiento, cambios en la salinidad del suelo de 1.3 a 3.5 dS m⁻¹ causaron una disminución significativa (12%) en la TACa_r, pero al incrementar la salinidad de

Cuadro 3. Efectos de la salinidad del suelo y la dosis de N sobre la tasa promedio de absorción de potasio por unidad de peso seco de la raíz (TAK_r) durante tres periodos de desarrollo.

Periodo de desarrollo	CEe	Tasa de absorción de K			Media ¹
		80 ²	140	200	
	dS m ⁻¹	----- mg g ⁻¹ d ⁻¹ -----			
Trasplante a inicio de floración	1.3	15.81	14.68	11.18	13.89 a
	3.5	9.38	9.00	7.84	8.74 b
	5.5	9.41	6.39	4.57	6.79 c
	Media	11.53 a	10.02 a	7.86 b	
Inicio de floración a maduración de primeros frutos	1.3	6.13	6.20	7.28	6.54 a
	3.5	8.94	7.14	3.55	6.55 a
	5.5	7.36	5.42	3.99	5.59 a
	Media	7.48 a	6.25 ab	4.94 b	
Maduración de primeros frutos a senescencia de las hojas	1.3	1.69	1.81	1.91	1.80 b
	3.5	2.37	3.43	4.22	3.34 a
	5.5	2.67	3.14	2.89	2.90 a
	Media	2.24 a	2.79 a	3.00 a	

¹ Medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes dentro de hileras y columnas, de acuerdo con Duncan ($\alpha \leq 0.05$) para cada periodo de desarrollo. ² Estos valores corresponden al N aplicado (80, 140 y 200 kg ha⁻¹).

3.5 a 5.5 dS m⁻¹ no se detectó un decremento significativo en la absorción de Ca. Plantas de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) cultivadas en condiciones salinas también mostraron reducciones en la tasa de absorción de Ca, debido a una reducción en la actividad de Ca en la solución externa (Cramer *et al.*, 1987).

La salinidad no tuvo efectos significativos sobre la TACA_r durante el periodo de inicio de floración a maduración de los primeros frutos. Sin embargo, de maduración de los primeros frutos a senescencia de

las hojas, la salinidad incrementó en más de 100% la TACA_r. Este mismo efecto de la salinidad en la tasa de absorción de Ca durante el periodo reproductivo se ha reportado previamente en otras especies (Romero y Maraño, 1994).

Efectos significativos de la cantidad de N en la TACA_r se observaron únicamente durante el periodo de maduración de los primeros frutos a la senescencia de las hojas (Cuadro 4). Un cambio en la tasa de N, de 80 a 140 kg ha⁻¹, causó un incremento de 139% en la tasa

Cuadro 4. Efectos de la salinidad del suelo y la dosis de N sobre la tasa promedio de absorción de calcio por unidad de peso seco de la raíz (TACA_r) durante tres periodos de desarrollo.

Periodo de desarrollo	CEe	Tasa de absorción de Ca			Media ¹
		80 ²	140	200	
	dS m ⁻¹	----- mg g ⁻¹ d ⁻¹ -----			
Trasplante a inicio de floración	1.3	6.90	7.17	6.86	6.98 a
	3.5	6.85	5.90	5.69	6.14 b
	5.5	5.97	5.38	6.31	5.89 b
	Media	6.57 a	6.15 a	6.29 a	
Inicio de floración a maduración de primeros frutos	1.3	4.11	3.21	3.70	3.67 a
	3.5	3.97	3.89	1.67	3.18 a
	5.5	2.50	2.93	1.82	2.42 a
	Media	3.53 a	3.34 a	2.40 a	
Maduración de primeros frutos a senescencia de las hojas	1.3	0.52	0.83	1.39	0.91 b
	3.5	0.73	2.64	3.20	2.19 a
	5.5	1.28	2.56	2.16	2.00 a
	Media	0.84 b	2.01 a	2.25 a	

¹ Medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes dentro de hileras y columnas, de acuerdo con Duncan ($\alpha \leq 0.05$) para cada periodo de desarrollo. ² Estos valores corresponden al N aplicado (80, 140 y 200 kg ha⁻¹).

de absorción de Ca, pero al aplicar 200 kg N ha⁻¹ no se observó un aumento significativo en ésta.

Absorción de Mg

La salinidad del suelo y la dosis de N afectaron la tasa neta de absorción de Mg por unidad de peso seco de la raíz (TAMg_r) durante toda la estación de crecimiento. También se detectó una interacción entre la salinidad y la cantidad de N aplicado al final del desarrollo de la planta (Cuadro 5). Durante los períodos de trasplante a inicio de floración y de inicio de floración a la maduración de los primeros frutos, los niveles de salinidad mayores de 1.3 dS m⁻¹ disminuyeron significativamente la TAMg_r. Sin embargo, durante el segundo período se tuvieron reducciones en TAMg_r más drásticas que en el primer período; estas reducciones fueron del orden de 36% hasta 55%, con respecto al tratamiento no salino. Diferencias en la respuesta de la absorción del Mg a la salinidad durante el desarrollo del cultivo han reportado Alam (1994) y Romero y Marañón (1994). Durante los períodos de trasplante a inicio de floración y de inicio de floración a la maduración de los primeros frutos, la dosis de N más alta (200 kg ha⁻¹) disminuyó significativamente la TAMg_r, pero una reducción más drástica se observó en el segundo período de crecimiento (Cuadro 5).

La interacción entre la salinidad del suelo y la dosis de N observada durante el período de la maduración de los primeros frutos a la senescencia de las hojas mostró

que la dosis de N sólo incrementó la TAMg_r dentro del tratamiento de salinidad de 3.5 dS m⁻¹ y la máxima absorción ocurrió con 3.5 dS m⁻¹ y 200 kg N ha⁻¹.

CONCLUSIONES

- La salinidad del suelo disminuyó la tasa de absorción de N, K, Ca y Mg durante el período de trasplante a inicio de floración, lo cual sugiere que la absorción de nutrimentos por plantas de Chile fue más sensible a etapas tempranas del crecimiento. Durante la maduración de los primeros frutos, al inicio de la senescencia de la hoja, las plantas tratadas con 3.5 y 5.5 dS m⁻¹ mostraron mayores tasas de absorción de nutrimentos que las plantas tratadas con 1.3 dS m⁻¹.
- Dosis de N mayores de 80 kg ha⁻¹ no incrementaron la absorción de nutrimentos durante el período de trasplante a maduración de los primeros frutos, pero de esta última etapa a senescencia de las hojas, un incremento de N a 140 kg ha⁻¹ produjo mayor absorción de Mg y Ca, mientras que la dosis de 200 kg N ha⁻¹ produjo mayor absorción de N. La salinidad redujo la tasa de transpiración por área foliar al inicio de floración y maduración de primeros frutos, pero no al final del ciclo de crecimiento. La dosis de N de 140 kg ha⁻¹ produjo la máxima tasa de transpiración al inicio de la floración, después de esta etapa y hasta el final del ciclo de crecimiento, el tratamiento de 200 kg N ha⁻¹ disminuyó la transpiración.

Cuadro 5. Efectos de la salinidad del suelo y la dosis de N sobre la tasa promedio de absorción de magnesio por unidad de peso seco de la raíz (TAMg_r) durante tres períodos de desarrollo.

Período de desarrollo	ECe dS m ⁻¹	Tasa de absorción de Mg			Media ¹
		80 ²	140	200	
		----- mg g ⁻¹ d ⁻¹ -----			
Trasplante a inicio de floración	1.3	2.26	2.57	2.22	2.35 a
	3.5	2.36	1.79	1.63	1.92 b
	5.5	1.86	1.73	1.42	1.67 b
	Media	2.16 a	2.03 ab	1.75 b	
Inicio de floración a maduración de primeros frutos	1.3	1.60	1.73	1.38	1.57 a
	3.5	1.51	1.14	0.40	1.01 b
	5.5	0.98	0.71	0.45	0.71 b
	Media	1.36 a	1.20 a	0.74 b	
Maduración de primeros frutos a senescencia de las hojas ³	1.3	0.19 e	0.14 e	0.40 cde	
	3.5	0.31 de	0.70 bc	1.08 a	
	5.5	0.61 bcd	0.88 ab	0.72 bc	
	Media				

¹ Medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes dentro de hileras y columnas, de acuerdo con Duncan ($\alpha \leq 0.05$) para cada período de desarrollo. ² Estos valores corresponden al N aplicado (80, 140 y 200 kg ha⁻¹). ³ Interacción entre salinidad y dosis de N.

LITERATURA CITADA

- Alam, S. M. 1994. Nutrient uptake by plants under stress condition. pp. 227-243. *In*: M. Pessarakli (ed.). Handbook of plant and crop stress. Marcel Dekker. New York, NY, USA.
- Al-Karaki, G. N. 2000. Growth, sodium, and potassium uptake and translocation in salt stressed tomato. *J. Plant Nutr.* 23: 369-379.
- Aslam, H., R. C. Huffaker y D. W. Rains. 1984. Early effects of salinity on nitrate assimilation in barley seedlings. *Plant Physiol.* 76: 321-325.
- Botella, M. A., V. Martínez, M. Nieves y A. Cerdá. 1997. Effect of salinity on the growth and nitrogen uptake by seedlings. *J. Plant Nutr.* 20: 793-804.
- Brady, N. C. y R. R. Weil. 1999. The nature and properties of soils. Twelfth edition. Prentice Hall. Upper Saddle, NJ, USA.
- Cramer, G. R. y D. C. Bowman. 1994. Cell elongation control under stress conditions. pp. 303-320. *In*: M. Pessarakli (ed.). Handbook of plant and crop stress. Marcel Dekker. New York, NY, USA.
- Cramer, G. R., J. Lynch, A. Läuchli y E. Epstein. 1987. Influx of Na^+ , K^+ and Ca^{2+} into roots of salt-stressed cotton seedlings. Effects of supplemental Ca^{2+} . *Plant Physiol* 83: 510-515.
- Dudley, L. M. 1994. Salinity in the soil environment. pp. 13-30. *In*: M. Pessarakli (ed.). Handbook of plant and crop stress. Marcel Dekker. New York, NY, USA.
- Elzam, O. E. 1970. Interactions between sodium, potassium and calcium in their absorption by intact barley plants. pp. 491-505. *In*: R.M. Samish (ed.). Recent advances in plant nutrition. Gordon and Breach Science Publishers. New York, NY, USA.
- Fageria, N. K., V. C. Baligar y Ch. A. Jones. 1991. Growth and mineral nutrition of field crops. Marcel Dekker. New York, NY, USA.
- Flowers, T. J. y A. R. Yeo. 1988. Ion relations of salt tolerance. pp. 392-416. *In*: D.A. Baker y J.L. Hall (eds.). Solute transport in plant cell and tissues. John Wiley. New York, NY, USA.
- Flowers, T. J. y A. R. Yeo. 1989. Effects of salinity on plant growth and crop yields. pp. 101-119. *In*: J. H. Cherry (ed.). Environmental stress in plants. Springer-Verlag. Berlin-Heidelberg, Germany.
- Gavlak, R. G., D. A. Horneck y R. O. Miller. 1994. Plant, soil and water references methods for the western region. Publication 125. Western Regional Extension. Davis, CA, USA.
- Gómez, I., J. Navarro, R. Moral, M.R. Iborra, G. Palacios y J. Mataix. 1996. Salinity and nitrogen fertilization affecting the macronutrient content and yield of sweet pepper plants. *J. Plant Nutr.* 19: 353-359.
- Hagemeyer, J. y Y. Waisel. 1989. Influence of NaCl , $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ and air humidity on transpiration of *Tamarix aphylla*. *Physiol. Plant.* 75: 280-284.
- Hedge, D. M. 1997. Nutrient requirements of solanaceous vegetable crops. Extension bulletin 441. Food Fertilizer Technology Center. Asian and Pacific Council. Wenchow, Taipei, Taiwan.
- Helalia, A. M., O. A. Al-Thahir y Y.A. Al-Nabulsi. 1996. The influence of irrigation water salinity and fertilizer management on the yield of alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Agric. Water Manage.* 31: 105-114.
- Isaac, R. A. y W. C. Johnson Jr. 1992. Determination of nitrogen in plant tissue using continuous flow, segmented stream autoanalyzer. pp. 17-19. *In*: C. Owen Plank (ed.). Plant analysis reference procedures for the southern region of the United States. Southern Cooperative Series Bulletin 368. Georgia University. Athens, GA, USA.
- Jury, A. W., W. R. Gardner y W. H. Gardner. 1991. Soil physics. Fifth edition. John Wiley. New York, NY, USA.
- Läuchli, A. y E. Epstein. 1990. Plant responses to saline and sodic conditions. pp. 113-137. *In*: K. K. Tanji (ed.). Agricultural salinity assessment and management. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice 71. New York, NY, USA.
- Lea-Cox, J. D. y J. P. Syvertsen. 1993. Salinity reduces water use and nitrate-N use efficiency of citrus. *Ann. Bot.* 72: 47-54.
- Leidi, E. O., M. Silberbush y S. H. Lips. 1991. Wheat growth as affected by nitrogen type, pH and salinity. II Photosynthesis and transpiration. *J. Plant Nutr.* 14: 247-256.
- Lorenzo, H., J. M. Siverio y M. Caballero. 2001. Salinity and nitrogen fertilization and nitrogen metabolism in rose plants. *J. Agr. Sci.* 137: 77-84.
- Maas, E. V. y G. J. Hoffman. 1977. Crop salt tolerance current assessment. *J. Irrig. Drainage Div. Am. Soc. Civ. Eng.* 103: 115-134.
- Martínez, V. y A. Cerdá. 1989. Nitrate reductase activity in tomato and cucumber leaves as influenced by NaCl and N source. *J. Plant Nutr.* 12: 1335-1350.
- Moya, J. L., E. Primo-Millo y M. Talon. 1999. Morphological factors determining salt tolerance in citrus seedlings: the shoot to root ratio modulates passive root uptake of chloride ions and their accumulation in leaves. *Plant, Cell Environ.* 22: 1425-1433.
- Olsen, J. K., D. J. Lyons y M. M. Kelly. 1993. Nitrogen uptake and utilization by bell pepper in subtropical Australia. *J. Plant Nutr.* 16: 2055-2071.
- Pessarakli, M. 1994. Response of green beans (*Phaseolus vulgaris* L.) to salt stress. pp. 415-430. *In*: M. Pessarakli (ed.). Handbook of plant and crop stress. Marcel Dekker. New York, NY, USA.
- Romero, J. M. y T. Marañón, 1994. Long-term responses to *Melilotus segetalis* to salinity. II. Nutrient absorption and utilization. *Plant, Cell Environ.* 17:1249-1255.
- Sagi, M., A. Dovrat, T. Kipnis y H. Lips. 1997. Ionic balance, biomass production, and organic nitrogen as affected by salinity and nitrogen source in annual ryegrass. *J. Plant Nutr.* 20:1291-1316.
- SAS Institute. 1999. SAS/STAT User's guide, Version 6, Fourth edition, Volume 2. Cary, NC, USA.
- Shannon, M. C., C. M. Grieve y L. E. Francois. 1994. Whole plant response to salinity. pp. 198-244. *In*: R. E. Wilkinson (ed.). Plant environment interactions. Marcel Dekker. New York, NY, USA.
- Shen, D., Q. Shen, Y. Liang y Y. Liu. 1994. Effect of nitrogen on the growth and photosynthetic activity of salt-stressed barley. *J. Plant Nutr.* 17: 787-799.
- Silberbush, M. y S. H. Lips. 1991. Potassium, nitrogen, ammonium/nitrate ratio, and sodium chloride effects on wheat growth. *J. Plant Nutr.* 14: 751-764.
- Sims, G. K., T. R. Ellsworth y R. L. Mulvaney. 1995. Microscale determination of inorganic nitrogen in water and soil extracts. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 26: 303-316.
- USEPA (US Environmental Protection Agency). 1982. Inductively coupled plasma-atomic emission spectrometric method for trace

element analysis of water and wastes. EPA method 200.7. Cincinnati, OH, USA.

Villa-Castorena, M., A. L. Ulery, E. A. Catalán-Valencia y M. D. Remmenga. 2003. Salinity and nitrogen rate effects on the growth and yield of chile pepper plants. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 1781-1789.

Yahya, A. 1998. Salinity effects on growth and on uptake and distribution of sodium and some essential mineral nutrients in sesame. *J. Plant Nutr.* 21: 1439-1451.