

EFFECTOS DE LA DOSIS DE NITRÓGENO Y LA SALINIDAD DEL SUELO EN EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE PLANTAS DE CHILE

Ma. Magdalena Villa Castorena¹, y Ernesto Alonso Catalán Valencia²

RESUMEN

La salinidad y la baja disponibilidad de nitrógeno en el suelo son factores que limitan el crecimiento de la mayoría de las plantas. En el presente trabajo se estudió la influencia de la fertilización nitrogenada y la salinidad del suelo en el crecimiento y rendimiento de plantas de chile (*Capsicum annuum* L.) cultivadas bajo condiciones de invernadero en macetas de polietileno negro llenas con un suelo migajón arenoso. Los niveles de salinidad estudiados fueron 1.25, 3.5, y 5.5 dS m⁻¹. La salinidad se midió como la conductividad eléctrica en el extracto de la pasta saturada del suelo (CE_e). Las dosis de N aplicadas fueron 80, 140, y 200 kg ha⁻¹. Los tratamientos de N de 140 kg ha⁻¹ y 200 kg ha⁻¹ incrementaron los niveles de salinidad durante la estación de crecimiento, en algunos casos hasta en 4 dS m⁻¹. Salinidades tan altas como 5 dS m⁻¹ no afectaron la tasa de crecimiento relativo (TCR) durante el inicio del crecimiento para el tratamiento de N de 80 kg ha⁻¹. Después de la maduración de los primeros frutos, la TCR respondió positivamente a la aplicación de N aún en el nivel de salinidad más alto. El tratamiento de 140 kg N ha⁻¹ produjo los máximos rendimientos en condiciones de baja salinidad. Sin embargo, rendimientos similares fueron obtenidos con 80 kg N ha⁻¹ bajo moderado estrés salino. Los resultados sugieren que las plantas de chile estresadas por salinidad del suelo pueden crecer bien cuando son fertilizadas adecuadamente.

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La salinidad del suelo es un factor importante que limita el crecimiento de las plantas no halófitas e inhibe el crecimiento de las plantas debido al estrés osmótico, a imbalances nutricionales y a toxicidades debido a iones específicos. El problema de la salinidad del suelo se incrementa progresivamente con el mal uso de los fertilizantes y el mal manejo del agua de riego. El uso adecuado de los fertilizantes, principalmente el nitrógeno (N) es importante, particularmente en los suelos salinos donde el N puede reducir los efectos adversos de la salinidad en el crecimiento y rendimiento de las plantas (Shen et al., 1994; Flores et al., 2001). Estas reducciones dependen de la especie de cultivo, el nivel de salinidad o la condición ambiental (Grattan y Grieve, 1994). Por otro lado, una sobrefertilización con N puede contribuir al proceso de salinización del suelo lo cual incrementa los efectos negativos de la salinidad en el funcionamiento de la planta. El chile es una de las tres hortalizas solanáceas más importantes en el mundo. Es clasificado como una especie moderadamente sensible a la salinidad (Maas y Hoffman, 1977), y su tolerancia podría incrementarse con la aplicación apropiada de N de acuerdo al nivel de salinidad del suelo y a la edad de la planta o estado de crecimiento. Sin embargo, los

¹ Investigador del CENID RASPA INIFAP. villa.magdalena@inifap.gob.mx

² Investigador del CENID RASPA INIFAP. catalan.ernesto@inifap.gob.mx

estudios de la respuesta del chile a la aplicación de N bajo condiciones salinas son escasos por lo que se planteó el presente trabajo con los siguientes objetivos: determinar la influencia de diferentes dosis de N y niveles de salinidad del suelo sobre el crecimiento, evaluado a tres diferentes períodos de desarrollo, y el rendimiento de plantas de chile.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se desarrolló en un invernadero de la Universidad Estatal de Nuevo México, USA. Se trasplantaron plántulas de chile variedad "Sandia", de aproximadamente 15 cm de altura, en macetas de plástico Negro de 15 L conteniendo 20 kg de suelo migajón arenoso; se colocó una planta por maceta. Se probaron tres dosis de N y tres niveles de salinidad del suelo. Los tratamientos de N fueron 80, 140 y 200 kg ha⁻¹, los cuales correspondieron a 2.1, 3.7 y 5.3 g de N por planta en términos de densidad de plantas (37,000 plantas por ha). Se usó el fertilizante NH₄NO₃ como fuente de N, el cual se aplicó en el agua de riego en cuatro cantidades iguales a los 0, 15, 35 y 65 días después del trasplante (DDT). Los niveles de salinidad, medidos como la conductividad eléctrica en el extracto de la pasta saturada del suelo (CE_e), se crearon con la aplicación de NaCl y CaCl₂ a cada maceta un día antes del transplante, previamente disueltos en agua desionizada en una relación equivalente de 1:1. Los niveles de salinidad estudiados fueron 1.25 (no se agregó sales), 3.5 y 5.5 dS m⁻¹.

Se usó un diseño experimental de bloques completamente al azar con nueve bloques. Cada bloque incluyó nueve tratamientos con un arreglo factorial 3x3 para un total de 81 macetas. Los nueve bloques fueron seleccionados y removidos al azar de tres en tres (27 macetas a la vez) para obtener los datos de CE_e materia seca y área foliar en tres etapas de desarrollo del cultivo: inicio de floración (35 DDT), maduración de los primeros frutos (65 DDT) e inicio de senescencia de las hojas (110 DDT). Se tomaron diez plántulas al momento del trasplante para establecer los datos iniciales de materia seca y área foliar. Se colectaron cinco submuestras de suelo de cada maceta removida con el fin de hacer una muestra compuesta y determinar la CE_e. Las plantas removidas se cortaron al ras de la superficie del suelo, los tallos, hojas, flores y frutos se colectaron individualmente y las raíces se separaron del suelo con agua a presión. Se colectaron cinco submuestras de suelo de cada maceta removida con el fin de hacer una muestra compuesta y determinar la CE_e. Las plantas removidas se cortaron al ras de la superficie del suelo, los tallos, hojas, flores y frutos se colectaron individualmente y las raíces se separaron del suelo con agua a presión. El área foliar por planta se midió con un integrador de área foliar. Cada componente de la planta se lavó con agua destilada, se secó en una estufa de aire forzado a 80 °C para obtener la materia seca.

El crecimiento de la planta se evaluó en términos de la tasa de crecimiento relativo (TCR), y sus componentes tasa de asimilación neta (TAN) y área foliar relativa (AFR), estimadas como valores medios durante el intervalo de tiempo $t_2 - t_1$ transcurrido entre dos muestreos de planta sucesivos de acuerdo a las siguientes ecuaciones (Hunt, 1990):

$$\text{TCR} = \frac{\ln(\text{MS}_2) - \ln(\text{MS}_1)}{t_2 - t_1} \quad \text{TAN} = \frac{(\text{MS}_2 - \text{MS}_1)[\ln(\text{AF}_2) - \ln(\text{AF}_1)]}{(t_2 - t_1)(\text{AF}_2 - \text{AF}_1)} \quad \text{AFR} = 0.5 \left[\frac{\text{AF}_1}{\text{MS}_1} + \frac{\text{AF}_2}{\text{MS}_2} \right]$$

donde MS, t y AF son el peso de la materia seca acumulada por planta (g), tiempo (días) y el área foliar por planta (cm²), respectivamente. La TCR es expresada en mg g día⁻¹, TAN en mg cm⁻² día⁻¹ y AFR en cm² g⁻¹.

El área foliar por planta se midió con un integrador de área foliar. Cada componente de la planta se lavó con agua destilada, se secó en una estufa de aire forzado a 80 °C para obtener la materia seca. Las plantas se irrigaron manualmente con agua desionizada (CE_e < 0.015 dS m⁻¹) diariamente. Se pesaron de dos a tres macetas por tratamiento para estimar la cantidad de agua necesaria para reponer la humedad del suelo hasta capacidad de campo. Además de esto se buscó también evitar el drenaje para no afectar los niveles de salinidad inicialmente establecidos y para evaluar el impacto de la contribución de las dosis de N sobre la misma salinidad del suelo. Los datos de crecimiento y rendimiento de las plantas colectados en cada estado de desarrollo fueron analizados estadísticamente. Se les aplicó un análisis de varianza y separación de medias en base a la prueba de Duncan con una probabilidad de error del 5% para determinar diferencias entre tratamientos en cuanto a la acumulación de materia seca, TCR, TAN y AFR. También se realizó un análisis de correlación entre la TCR y las variables TAN y AFR para identificar el tipo de mecanismo fisiológico que más influenció al crecimiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efectos de las dosis de N en la salinidad del suelo. Las dosis de N de 140 y 200 kg ha incrementaron los niveles iniciales de salinidad en un promedio de 1 y 2 dS m⁻¹ respectivamente al inicio de la floración, y de 2 y 4 dS m⁻¹ a la maduración de los primeros frutos. Sin embargo, al final del ciclo del cultivo, los niveles de salinidad regresaron a los valores iniciales, excepto en la dosis de N más alta de 200 kg ha⁻¹ donde se mantuvieron aumentados en 2 dS m⁻¹ sobre los niveles de salinidad iniciales.

Acumulación de materia seca (AMS). La salinidad del suelo y las dosis de N afectaron significativa e independientemente a la AMS en cada una de las etapas de desarrollo consideradas. La salinidad del suelo redujo la AMS en todo el ciclo del cultivo (Cuadro 1), sin embargo, este efecto fue menos drástico al final del ciclo cuando la planta mostró una recuperación de su desarrollo probablemente debido a un mecanismo de adaptación de la planta a la salinidad del suelo. El incremento de la dosis de N también redujo la TDM en todo el ciclo del cultivo debido a la contribución del fertilizante a la salinidad del suelo. Este efecto fue más severo en los primeros frutos maduros y para las dosis de N de 140 y 200 kg ha⁻¹. Por lo tanto, la aplicación de dosis altas de N en las primeras etapas de desarrollo del cultivo de chile pueden afectar adversamente su producción de materia seca, especialmente cuando estas plantas son cultivadas en un suelo salino.

Cuadro 1. Efectos de la salinidad del suelo y de las dosis de N sobre la acumulación de materia seca (g de materia seca por planta) en tres etapas de desarrollo del cultivo del chile.

Período de desarrollo de la planta	Salinidad del suelo dS m ⁻¹	Nitrógeno total aplicado(kg ha ⁻¹)			Media†
		80	140	200	
		g por planta			
Al inicio de la floración	1.3	6.8	9.2	5.6	7.2 a
	3.5	4.7	2.6	2.5	3.3 b
	5.5	4.4	1.9	1.7	2.7 b
	Media	5.3 a	4.6 ab	3.3 b	
A la maduración de los primeros frutos	1.3	75.5	56.1	39.6	57.1 a
	3.5	44.5	16.8	6.0	22.4 b
	5.5	25.3	8.9	5.5	13.2 c
	Media	48.4 a	27.3 b	17.0 c	
Al inicio de la senescencia de las hojas	1.3	105.8	117.4	100.0	107.7 a
	3.5	95.4	103.4	60.6	86.5 b
	5.5	74.7	47.9	30.3	51.0 c
	Media	92.0 a	89.6 a	63.6 b	

† Medias seguidas por la misma letra no son significativamente diferentes entre hileras y columnas de acuerdo a la prueba de Duncan ($P < 0.05$, $n=3$) para cada etapa de desarrollo.

Tasa de crecimiento relativo (TCR). La salinidad del suelo afectó significativamente la TCR durante los tres períodos de desarrollo del cultivo considerados: 1) del trasplante al inicio de la floración, 2) del inicio de la floración a maduración de los primeros frutos y 3) de la maduración de los primeros frutos a la senescencia de las hojas (Cuadro 2). Niveles de salinidad mayores o iguales a 3.5 dS m⁻¹, e igual a 5.5 dS m⁻¹ redujeron la TCR durante el primer y segundo períodos de desarrollo respectivamente. En contraste, la salinidad tuvo un efecto positivo en la TCR durante el último período de desarrollo de la planta. Sin embargo, este efecto benéfico aparente pudo haber ocurrido debido a que las plantas estresadas por salinidad retrasaron su crecimiento al inicio del ciclo y continuaron creciendo hacia el final del mismo, resultando en una mayor TCR, mientras que las plantas no estresadas por salinidad habían alcanzado ya la etapa de senescencia de las hojas. Se sabe que el estrés salino retarda el crecimiento de las plantas por efectos osmóticos y de iones específicos sobre procesos metabólicos como la absorción de nutrientes y la fotosíntesis (Alam, 1994).

Cuadro 2. Efectos de la salinidad del suelo y de las dosis de N sobre la tasa de crecimiento relativo (TCR en mg g⁻¹ d⁻¹) durante tres períodos de desarrollo del cultivo del chile.

Período de desarrollo de la planta	Salinidad del suelo dS m ⁻¹	Nitrógeno total aplicado(kg ha ⁻¹)			Media†
		80	140	200	
		mg g ⁻¹ d ⁻¹			
Del trasplante al inicio de la floración	1.3	105.4	115.5	99.4	106.8 a
	3.5	88.0	76.0	77.6	80.5 b
	5.5	93.2	70.5	67.8	77.2 b
	Media	95.5 a	87.4 ab	81.6 b	
Del inicio de la floración a la maduración de los primeros frutos	1.3	82.1	60.4	67.6	70.0 a
	3.5	84.5	65.6	28.7	59.6 ab
	5.5	58.2	46.8	33.9	46.3 b
	Media	74.9a	57.6 ab	43.4 b	
De la maduración de los primeros frutos a la senescencia de las hojas	1.3	6.2	13.3	16.4	12.0 b
	3.5	14.0	33.1	42.7	30.0 a
	5.5	20.7	32.9	33.1	30.8 a
	Media	13.6 b	26.5 a	30.8 a	

Medias seguidas por la misma letra no son significativamente diferentes entre hileras y columnas de acuerdo a la prueba de Duncan ($P < 0.05$, $n=3$) para cada período de desarrollo.

El aumento en la dosis de N redujo la TCR durante los primeros dos períodos de desarrollo, pero este efecto fue significativo sólo para la mayor dosis de N de 200 kg ha⁻¹ (Cuadro 2). En cambio, las dosis de 140 y 200 kg N ha⁻¹ incrementaron la TCR durante el último período de desarrollo. Esto muestra la importancia de la dosificación oportuna del N acorde al desarrollo del cultivo.

Tasa de asimilación neta (TAN). La salinidad afectó la TAN durante todo el ciclo del cultivo, mientras que las dosis de N solo afectaron a la TAN después del inicio de la floración (Cuadro 3). No se detectó interacción entre la salinidad y las dosis de N sobre la TAN. Los niveles de salinidad de 3.5 y 5.5 dS m⁻¹ redujeron aproximadamente un 30% el valor de la TAN durante los dos primeros períodos de desarrollo respectivamente. En cambio, durante el último período de desarrollo, la TAN aumentó a más del doble con el tratamiento de salinidad de 3.5 dS m⁻¹, y a casi el doble con el tratamiento de 5.5 dS m⁻¹, esto en relación al nivel de salinidad mínimo ensayado y quizá como consecuencia del retraso en el desarrollo del cultivo causado por la salinidad del suelo. La TAN representa el balance entre la fotosíntesis y la respiración de la planta. Existen evidencias de que el estrés salino reduce la TAN al disminuir la fotosíntesis debido a la reducción de la conductancia del estoma y del mesófilo a la difusión de CO₂ (Delfine et al., 1999), así como a la inhibición de reacciones bioquímicas y actividad reducida de la enzima carboxilasa (Ungar, 1991). Existen también evidencias de que el estrés salino incrementa la respiración (González-Moreno et al., 1997). Por otra parte, el aumento en la dosis de N redujo la TAN en la etapa intermedia del ciclo del cultivo, pero esta diferencia fue significativa únicamente entre las dosis extremas de N, lo que muestra que la sobre fertilización afectó al crecimiento de la planta debido posiblemente a un efecto osmótico (Cuadro 3). En contraste, el aumento de la dosis de N de 80 a 140 kg ha⁻¹ aumentó la TAN en el último período de desarrollo de la planta. Los valores promedio de la TAN observados para la mayoría de las dosis de N y etapas de desarrollo del cultivo mostraron una alta correlación con los de la TCR, lo cual indica que las variaciones de la TCR se debieron a decrementos o incrementos simultáneos de fotosíntesis y respiración reflejadas en la TAN.

Cuadro 3. Efectos de la salinidad del suelo y de las dosis de N sobre la tasa de asimilación neta (TAN en mg cm⁻² d⁻¹) durante tres períodos de desarrollo del cultivo del Chile.

Período de desarrollo de la planta	Salinidad del suelo dS m ⁻¹	Nitrógeno total aplicado(kg ha ⁻¹)			Media†
		80	140	200	
Del trasplante al inicio de la floración	1.3	1.08	1.53	1.19	1.27 a
	3.5	0.98	0.68	0.96	0.87 b
	5.5	0.95	0.76	0.87	0.86 b
	Media	1.00 a	0.99 a	1.00 a	
Del inicio de la floración a la maduración de los primeros frutos	1.3	1.53	1.10	1.11	1.25 a
	3.5	1.15	0.96	0.49	0.87 b
	5.5	1.04	0.68	0.58	0.77 b
	Media	1.24 a	0.91 ab	0.73 b	
De la maduración de los primeros frutos a la senescencia de las hojas	1.3	0.23	0.55	0.50	0.42 b
	3.5	0.64	1.25	1.07	0.99 a
	5.5	0.69	0.86	0.83	0.80 a
	Media	0.52 b	0.89 a	0.80 a	

† Medias seguidas por la misma letra no son significativamente diferentes entre hileras y columnas de acuerdo a la prueba de Duncan ($P < 0.05$, $n=3$) para cada período de desarrollo.

Area foliar relativa (AFR). Las dosis de N y la salinidad del suelo afectaron al AFR durante el último período de desarrollo, cuando el nivel de salinidad de 5.5 dS m⁻¹ incrementó 34% el AFR en relación al nivel de salinidad más bajo. También un incremento de similar magnitud en AFR se produjo por el tratamiento más alto de N de 200 kg ha⁻¹. Los valores promedio de AFR y TCR observados para cada dosis de N y etapa de desarrollo presentaron niveles de correlación mucho menores que los observados entre los valores promedio de TAN y TCR, lo cual sugiere que la expansión de las hojas no limitó a la TCR de la mayoría de las plantas afectadas por estrés salino.

Rendimiento total de chile verde. Tanto la salinidad como las dosis de N afectaron al rendimiento total de chile y hubo una interacción entre estos dos factores. Los tratamientos de 1.3 y 3.5 dS m⁻¹ tuvieron rendimiento similar y fueron mayores que el rendimiento obtenido con 5.5 dS m⁻¹ en la dosis de N de 80 kg ha⁻¹ (Figura 1). Sin embargo, a medida que la salinidad incrementó se redujo el rendimiento en las dosis de N de 140 y 200 kg ha⁻¹. Esto debido quizás a que esas dosis de N incrementaron la salinidad del suelo arriba de los valores establecidos hasta un 2 y 4 dS m⁻¹ respectivamente.

CONCLUSIONES

La salinidad del suelo disminuyó el crecimiento y rendimiento de plantas de chile de la variedad "Sandia". Altas dosis de N contribuyeron a la salinidad del suelo e interactuaron con este último factor para reducir el rendimiento total de chile. La TCR disminuyó en respuesta a la salinidad en las etapas tempranas de crecimiento, pero se incrementó hacia el final del ciclo del cultivo debido a que las plantas estresadas por salinidad retrasaron su crecimiento y desarrollo. Las respuestas de la TCR a la salinidad estuvieron más correlacionadas con la TAN que con la AFR. Las plantas de chile bajo estrés salino pueden crecer y producir rendimientos altos dosificando el N acorde al desarrollo de la planta. Esto es importante para evitar la acumulación de N en las etapas tempranas del desarrollo del cultivo, lo cual no solo repercute en costos de producción mayores sino también en daños al ambiente como la salinización del suelo y la contaminación de cuerpos de agua por nitratos.

LITERATURACITADA

- Alam, S. M. 1994. Nutrient uptake by plants under stress condition. p 227-243. *In* M. Pessarakli (ed.) Handbook of plant and crop stress. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Delfine, S., A. Alvino, M. C. Villani, and F. Loreto. 1999. Restrictions to carbon dioxide conductance and photosynthesis in spinach recovering from salt stress. *Plant Physiol.* 119:1101-1106.
- Flores, P., M. Carvajal, A. Cerda, and V. Martinez. 2001. Salinity and ammonium/nitrate interactions on tomato plant development, nutrition, and metabolites. *J Plant Nutr.* 24:1561-1573.
- González-Moreno, S., J. Gómez-Barrera, H. Perales, and R. Moreno-Sánchez. 1997. Multiple effects of salinity on photosynthesis of the protist *Euglena gracilis*. *Physiologia Plantarum.* 101:777
- Grattan, S. R., and C. M. Grieve. 1994. Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in

saline environments. p. 203-226. *In* M. Pessarakli (ed.) Handbook of plant and crop stress. Marcel Dekker, New York.

Hunt, R. 1990. Basic growth analysis. Plant growth analysis for beginners. Academic Press. London.

Maas, E. V., and G. J. Hoffman. 1977. Crop salt tolerance - current assessment. J. Irrig. Drain. Div. ASCE. 103:115-134.

Shen, D., Q. Shen, Y. Liang, and Y. Liu. 1994. Effect of nitrogen on the growth and photosynthetic activity of sal-stressed barley. J. Plant Nutr. 17:787-799.

Ungar, I. A. 1991. Ecophysiology of vascular halophytes. CRC Press Inc., Florida.