

RELACIONES NITRATO/ AMONIO/ UREA Y CONCENTRACIONES DE POTASIO EN LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE TOMATE

S. Parra-Terraza¹; E. Salas-Núñez;
M. Villarreal-Romero; S. Hernández-Verdugo;
P. Sánchez-Peña.

Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de Sinaloa.
C. P. 80000. Sinaloa, MÉXICO.
Correo-e: psaul@uas.uasnet.mx (¹Autor responsable).

RESUMEN

El uso de amonio y urea como fuente de nitrógeno en la producción de plántulas para trasplante es muy limitado, debido a la carencia de información al respecto y al posible riesgo de toxicidad provocado por ambas formas de nitrógeno. Debido a ello, el objetivo del presente estudio fue evaluar cuatro relaciones nitrato/ amonio/ urea (100/0/0, 85/15/0, 85/0/15 y 85/7.5/7.5) y dos concentraciones de potasio (7 y 9 mol·m⁻³) en la solución nutritiva sobre el crecimiento y composición mineral de plántulas de tomate producidas en invernadero. Se utilizó un diseño completamente al azar con un arreglo de tratamientos factorial completo 4x2 con cuatro repeticiones. A 46 días después de la siembra se tomaron datos del crecimiento y se determinó la concentración nutrimental en hojas, tallos y raíces. Con la relación 85/0/15 y 7 mol K⁺·m⁻³ se logró el mayor diámetro de tallo; mientras que con 85/7.5/7.5 y 9 mol K⁺·m⁻³ se obtuvo el mayor volumen radical. Con 85/0/15 la relación vástago/raíz y el peso fresco de plántula se incrementaron 16.3 y 14.6 %, respectivamente, con respecto a 100/0/0. La interacción nitrato/amonio/urea-K tuvo efecto altamente significativo en la concentración de nitrógeno en hojas, tallos y raíces; de fósforo en hojas y raíces; de calcio y magnesio en raíces. La sustitución de un 15 % del total de nitrógeno nítrico presente en la solución nutritiva con un porcentaje similar de nitrógeno amoniacal y ureico o una mezcla 7.5 % N-amoniacal-7.5 % N-ureico incrementó algunas variables de calidad de las plántulas de tomate.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: interacción, soluciones nutritivas, contenido nutrimental, crecimiento, plántulas de tomate.

NITRATE/AMMONIUM/UREA PROPORTIONS AND POTASSIUM CONCENTRATIONS IN THE PRODUCTION OF TOMATO SEEDLINGS

ABSTRACT

The use of ammonia and urea as nitrogen sources in the production of seedlings for transplant is very limited due to lack of information and the potential risk of toxicity caused by these two forms of nitrogen. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of four proportions of nitrate/ammonium/urea (100/0/0, 85/15/0, 85/0/15 and 85/7.5/7.5) and two concentrations of potassium (7 and 9 mol·m⁻³) in the nutrient solution on growth and mineral composition of tomato seedlings produced in greenhouse. A completely randomized design with a complete 4x2 factorial arrangement of treatments with four replications was used. The growth data were taken 46 days after sowing and mineral concentrations were determined in leaves, stem and roots. The 85/0/15 proportion and 7 mol K⁺ m⁻³ produced the largest stem diameter, while 85/7.5/7.5 with 9 mol K⁺ m⁻³ yielded the largest root volume. The 85/0/15 proportion increased the stem/root ratio and fresh weight of seedlings 16.3% and 14.6%, respectively, relative to 100/0/0. The interaction nitrate/ammonium/urea-K had a highly significant effect on the concentrations of nitrogen in leaves, stem and roots; of phosphorus in leaves and roots; of calcium and magnesium in roots. Replacing 15% of the total nitrate nitrogen in the nutrient solution with a similar percentage of nitrogen or urea or a mixture 7.5 % N-ammonia-7.5 % N-urea increased some quality parameters of tomato seedlings.

ADDITIONAL KEY WORDS: Interaction, nutrient solutions, nutrient content, growth, tomato seedlings.

INTRODUCCIÓN

En Sinaloa, durante el ciclo agrícola 2007-2008 se sembraron 17,819 ha de tomate en campo abierto, mientras que la siembra de esta hortaliza en superficie protegida (invernadero y casa sombra) fue de 1,002 ha (CIDH, 2008). En ambos sistemas de producción, el cultivo de tomate utiliza plántulas que en su mayoría se producen en invernadero, y posteriormente, son trasplantadas al sistema correspondiente. Algunos factores relacionados con la producción de plántulas son: la nutrición de las plántulas (Villegas *et al.*, 2005; Preciado *et al.*, 2002; Weston y Zandstra, 1989; Masson *et al.*, 1991; Melton y Dufault, 1991; Basoccu y Nicola, 1992b); el tamaño del contenedor de la raíz (Beverly *et al.*, 1992; Bar-Tal *et al.*, 1990, 1993; Maynard *et al.*, 1996); el uso de sustratos o medios de crecimiento como sustitutos del suelo (Cabrera, 1999; Leskovar y Stoffella, 1995; Winsor, 1990) y la luminosidad (McCall, 1992; Masson *et al.*, 1991). De los factores mencionados, la nutrición determina en gran medida el crecimiento y el estado nutricional de las plántulas, lo cual está muy relacionado con precocidad, rendimiento, tamaño y número de frutos (Marković *et al.*, 1997; Bassocu y Nicola, 1995; Melton y Dufault, 1991). Debido a que la mayoría de los sustratos utilizados en la producción de plántulas no aportan nutrientes en cantidades suficientes para cubrir los requerimientos de las plántulas, la composición química y la concentración de las soluciones nutritivas determinan la nutrición de las plántulas (Wien, 1999), en donde el nitrógeno y el potasio son los nutrientes requeridos en mayor cantidad (Marschner, 1995; Schwarz, 1995), principalmente en las etapas tempranas de crecimiento (Steiner, 1973). El nitrógeno puede suministrarse a las plantas de diferentes formas: nítrica, amoniacal y ureica; la forma nítrica es absorbida preferentemente por la mayoría de las plantas, por lo que es la más utilizada (Mengel y Kirkby, 2000); la amoniacal, en ciertas concentraciones, puede resultar tóxica para muchas de ellas (Salsac *et al.*, 1987) y generalmente se recomienda aplicarla en pequeñas concentraciones después del trasplante y no en la producción de plántula, discrepando los investigadores en las concentraciones a ser usadas (Portree, 1997), mientras que la urea es una de las principales fuentes de fertilizantes nitrogenados para la producción de plantas desarrolladas en suelos (Vavrina y Obreza, 1993), aunque poco se utiliza en la producción de plántulas, y rara vez se usa después de trasplantar las plantas en sistemas hidropónicos (Ikeda y Xuewen, 1998), debido a la escasa investigación relacionada con la absorción y la utilización de dicha fuente (Khan *et al.*, 2000), lo que genera una carencia de información al respecto. Está documentado que varias especies de plantas pueden incrementar su crecimiento con aportes combinados de nitrato y de amonio comparado con cualquiera de las dos formas de nitrógeno por separado (Lips *et al.*, 1990; Errebhi y Wilcox, 1990), sin embargo, hay diferencias importantes entre especies y cultivares de plantas con respecto a la concentración de amonio en la relación nitrato/ amonio que puede ser tolerada (Claussen y Lenz, 1999). El tomate está

considerado como una especie sensible al amonio (Gerendas *et al.*, 1997), por esta razón algunos investigadores recomiendan que la concentración del N amoniacal sea máximo del 3 % del total de nitrógeno suministrado (Portree, 1997). Lo anterior, difiere de lo propuesto por Steiner (1984), quien sugiere que no más del 10 % del contenido de nitrógeno total en la solución nutritiva debe ser aportado en forma de amonio. Ambos autores no especifican si las concentraciones de nitrógeno amoniacal, antes mencionadas, pueden utilizarse para la producción de plántulas o son únicamente para plantas después del trasplante.

El potasio es un nutriente esencial para las plantas, ya que está involucrado en la estabilización del pH celular, osmoregulación, activación de enzimas, tasa de asimilación de CO₂, translocación de fotosintatos y transporte en las membranas vegetales (Marschner, 1995; Mengel y Kirkby, 2000). El tomate absorbe grandes cantidades de potasio, mayores que cualquier otro nutriente (Chen y Gabelman, 1999); por lo que un adecuado suministro de potasio puede favorecer la utilización del amonio e incrementar el éxito de los trasplantes, considerando que la toxicidad por amonio puede ser atribuida, entre otros mecanismos, a una disminución en la absorción de cationes (Marschner, 1995), a una alteración del balance osmótico (Gerendas *et al.*, 1997) y a una síntesis limitada de aniones orgánicos (Salsac *et al.*, 1987). El objetivo de este estudio fue evaluar diferentes relaciones nitrato/amonio/urea y concentraciones de potasio en la solución nutritiva sobre la producción y calidad de plántulas de tomate.

MATERIALES Y MÉTODOS

Semillas de tomate (*Lycopersicon esculentum* L. cv. IB-9), de crecimiento indeterminado, tipo bola, fueron sembradas el 19 de septiembre de 2008 en charolas nuevas de poliestireno de 200 cavidades con un volumen unitario de 30 cm³. Las cavidades de las charolas fueron llenadas con una mezcla (1:1 v/v) de sustratos de turba y vermiculita hasta aproximadamente 0.5 cm del borde superior; se depositó una semilla por cavidad; se cubrió con una capa de vermiculita y se aplicó un riego hasta saturación. Las charolas se apilaron una encima de la otra y se cubrieron con plástico negro; al sexto día después de la siembra las charolas se extendieron en el invernadero y se regaron durante cinco días con agua potable hasta alcanzar más del 80 % de emergencia; inmediatamente a la germinación se inició la aplicación de las soluciones nutritivas (SN), cuyas concentraciones de nutrientes se incrementaron cada 10 días en el orden 50, 75 y 100 % respecto a la solución nutritiva inicial; el experimento finalizó el 4 de noviembre de 2008 (46 días después de la siembra). El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con cuatro repeticiones por tratamiento con un arreglo de tratamientos factorial 4x2 (32 unidades experimentales), donde cada unidad experimental consistió de 30 plántulas,

distribuidas en tres hileras consecutivas de la charola. En cada charola se colocaron tres tratamientos, seleccionados al azar, dejando un espacio libre por charola de cinco hileras (50 cavidades) para evitar riesgos de contaminación al aplicar los tratamientos, los cuales se asperjaron al follaje empleando atomizadores de un litro de capacidad hasta el escurrimiento de la solución por los orificios inferiores de las cavidades. Para evitar una posible acumulación de sales en el follaje de las plántulas, proveniente de las soluciones nutritivas al evaporarse el agua, se roció agua destilada mediante atomizador después de cada aplicación de los tratamientos. Los tratamientos en estudio se diseñaron a partir de modificaciones de la solución universal de Steiner (1984), en la cual la concentración de los macronutrientes NO_3^- , H_2PO_4^- , SO_4^{2-} , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} es de 12, 1, 3.5, 7, 4.5 y 2 $\text{mol}_c \cdot \text{m}^{-3}$, respectivamente, lo que genera un potencial osmótico de -0.072 MPa . El total de aniones es de 20 $\text{mol}_c \cdot \text{m}^{-3}$ y el de cationes 20 $\text{mol}_c \cdot \text{m}^{-3}$. La solución universal no incluye al amonio ni a la urea como fuentes de N, por lo que las modificaciones consistieron en: 1) la adición de una determinada concentración de NH_4^+ a la solución implicó reducir en una cantidad equivalente la concentración de NO_3^- , manteniendo la concentración de N en aproximadamente 12 $\text{mol}_c \cdot \text{m}^{-3}$, como en la solución universal; 2) lo anterior disminuyó las concentraciones relativas de los aniones (NO_3^- , H_2PO_4^- , SO_4^{2-}), sin embargo, dichos aniones deben conservar la concentración total, como en la solución universal (20 $\text{mol}_c \cdot \text{m}^{-3}$), por lo cual se incrementaron las concentraciones de H_2PO_4^- y SO_4^{2-} hasta igualar la concentración de NH_4^+ añadido y mantener la relación mutua de H_2PO_4^- y SO_4^{2-} (1:3.5); 3) la inclusión de NH_4^+ incrementó las concentraciones relativas de los cationes (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y NH_4^+), por lo que la concentración de NH_4^+ añadida se restó a las concentraciones de K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} considerando su relación mutua, lo que permitió mantener la concentración total de cationes (20 $\text{mol}_c \cdot \text{m}^{-3}$) y la relación mutua entre K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} ; 4) las modificaciones anteriores provocaron un cambio en el potencial osmótico de la solución nutritiva, por lo que se ajustaron las concentraciones de los iones mediante el factor de corrección (0.024) propuesto por Steiner; 5) la inclusión de una determinada concentración de urea a la solución implicó reducir en una cantidad equivalente la concentración de NO_3^- , manteniendo la concentración de N en aproximadamente 12 $\text{mol}_c \cdot \text{m}^{-3}$, como en la solución universal; lo anterior disminuyó las concentraciones relativas de los aniones (NO_3^- , H_2PO_4^- , SO_4^{2-}), sin embargo, dichos aniones deben conservar la concentración total, como en la solución universal (16.5 $\text{mol}_c \cdot \text{m}^{-3}$), por lo cual se incrementaron las concentraciones de H_2PO_4^- y SO_4^{2-} hasta igualar la concentración de urea añadida y mantener la relación mutua de H_2PO_4^- y SO_4^{2-} (1:3.5); 6) el potencial osmótico se corrigió como se describió en el punto 4; 7) la inclusión de determinadas concentraciones de NH_4^+ y de urea a la solución implicó reducir en una cantidad equivalente la concentración de NO_3^- , manteniendo la concentración de N en 12 $\text{mol}_c \cdot \text{m}^{-3}$, como en la solución universal, ajustando aniones, cationes, y potencial osmótico como se describió en los puntos 2, 3 y 4.

Los tratamientos evaluados fueron ocho soluciones nutritivas (Cuadro 1) resultantes de la combinación de cuatro relaciones $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+/\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ (100/0/0, 85/15/0, 85/0/15 y 85/7.5/7.5) y dos concentraciones de K^+ (7 y 9 $\text{mol}_c \cdot \text{m}^{-3}$). Las soluciones nutritivas se prepararon con sales inorgánicas grado reactivo y agua destilada y se les añadieron las concentraciones de micronutrientes (en $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) siguientes: Fe 2.5, Mn 0.5, B 0.5, Cu 0.02 y Zn 0.05. El Fe se proporcionó como Fe-EDTA (Steiner y Van Winden, 1970). El pH de las soluciones nutritivas se ajustó a 5.5 ± 0.1 con HCl 1N o NaOH 1N. La respuesta a los factores en estudio se evaluó seleccionando ocho plántulas por tratamiento (dos plántulas por repetición) ubicadas en la parte central de cada bloque de 30 plántulas, las cuales fueron extraídas de la charola y para quitarles el sustrato adherido a las raíces fueron lavadas con agua destilada y secadas con papel filtro; las plántulas fueron seccionadas en hojas, tallos y raíces para determinar el peso fresco de cada órgano. Posteriormente, los órganos frescos se colocaron en estufa con circulación forzada de aire a una temperatura de $70 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 72 h, y se pesaron en una balanza analítica para determinar el peso seco; se calculó la relación vástago/raíz con base en los pesos secos del vástago (hojas y tallo) y de la raíz; el número de hojas se evaluó considerando sólo aquellas completamente formadas; el diámetro de tallo, se midió inmediatamente debajo de los cotiledones con un vernier digital; el volumen de raíz, por desplazamiento de volumen en agua destilada; altura de plántula, medida desde la base del tallo hasta el ápice con un escalímetro. Se estimó el porcentaje de materia seca en el vástago y en la raíz con base en los pesos fresco y seco de dichos órganos. También se evaluó la concentración de nutrientes en hojas, tallos y raíces; el nitrógeno se determinó por el procedimiento semi-micro Kjeldahl (Bremner, 1965) modificado para incluir nitratos. El fósforo se cuantificó por el método de amarillo vanadato molibdato (Rodríguez y Rodríguez, 2002), potasio por flamometría (Alcántar y Sandoval, 1999), calcio y magnesio por titulación con EDTA (Chavira y Castellanos, 1987). El análisis de varianza de las variables de respuesta se realizó para los factores principales y su interacción con el programa SAS (1999) versión ocho.

CUADRO 1. Composición química de las soluciones nutritivas utilizadas en la producción de plántulas de tomate.

Tratamiento	NO_3^-	H_2PO_4^-	SO_4^{2-}	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NH_4^+
	(mol _c ·m ⁻³)							
1	12.0	1.0	3.5	0	7.0	4.5	2.0	0
2	11.6	1.0	3.4	0	8.7	3.7	1.6	0
3	10.2	1.2	4.3	0	7.0	3.9	1.7	1.7
4	9.9	1.2	4.2	0	8.7	3.2	1.4	1.4
5	10.5	1.3	3.6	1.8	7.2	4.6	2.0	0
6	10.1	1.2	4.3	1.8	8.9	3.8	1.7	0
7	10.4	1.2	4.4	0.9	6.8	4.4	1.9	0.9
8	10.0	1.2	4.2	0.9	8.8	3.5	1.5	0.7

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables de crecimiento

La relación porcentual de nitrato/amonio/urea [$\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+/\text{CO}(\text{NH}_2)_2$] en la solución nutritiva afectó significativamente las variables número de hojas (NH), diámetro de tallo (DT), volumen de raíz (VR), relación vástago/raíz (V/R), peso fresco de plántula (PFP = hoja + tallo), sin afectar la altura de planta (AP) (Cuadro 2); mientras que las concentraciones de K evaluadas no tuvieron efectos significativos sobre dichas variables. Sólo DT y el VR fueron significativamente afectados por la interacción nitrato/amonio/urea y K, razón por la cual, cuando la interacción de los factores sobre alguna variable evaluada sea significativa, únicamente se analizará los efectos de dicha interacción, sin discutir los efectos principales en las variables antes mencionadas, ya que una interacción significativa indica que los factores no son independientes entre sí, y el conocimiento de la interacción es más útil que el conocimiento de los efectos principales (Montgomery, 2002). El mayor NH se obtuvo con las relaciones 85/15/0, 85/0/15 y 85/7.5/7.5, sin diferencias significativas entre ellas, en donde la relación 85/15/0 (7.5 hojas) fue estadísticamente superior a 100/0/0 (6.8 hojas), la cual fue igual a 85/0/15 y 85/7.5/7.5. Preciado *et al.* (2002) mencionan que la importancia fisiológica del número de hojas está relacionada con la fotosíntesis y, por consiguiente, con una mayor producción de esqueletos carbonados, los cuales son utilizados o almacenados en el tallo; mientras que Magdaleno *et al.* (2006) consideran que el NH no puede ser considerado como un indicador confiable en la producción de plántulas, ya que depende en gran medida de la edad de la planta. Por su parte, Ersoba (1980) menciona que el NH es un indicador importante de la calidad de las plántulas, y en el caso del tomate las plántulas deberán tener de 6 a 7 hojas al momento del trasplante; en el presente estudio los tratamientos evaluados presentaron de 6.8 a 7.5 hojas por plántula. El diámetro de tallo fue afectado significativamente por la interacción de los factores evaluados. En la Figura 1 se

observa que con la relación 100/0/0, el diámetro del tallo es el mismo para 7 y 9 mol $\text{K}^+\cdot\text{m}^{-3}$. De igual forma, con las relaciones 85/0/15, 85/15/0 y 85/7.5/7.5 el diámetro no presentó diferencias significativas entre las dos concentraciones de K. En dicha figura también se aprecia que con 7 mol $\text{K}^+\cdot\text{m}^{-3}$ el diámetro de tallo obtenido con la relación 85/0/15 es significativamente mayor comparado con las otras relaciones, las cuales son estadísticamente iguales. Con 9 mol $\text{K}^+\cdot\text{m}^{-3}$ el diámetro no presenta diferencias significativas entre las cuatro relaciones evaluadas. El diámetro de tallo es un buen indicador del vigor de las plántulas, ya que refleja directamente la acumulación de fotosintatos, los cuales posteriormente pueden trastocarse a los sitios de demanda (Preciado *et al.*, 2002; Liptay *et al.*, 1981). Además, un mayor diámetro de tallo minimiza o previene el acame o caída de las plantas por acción del viento en el campo (Orzolek, 1991), por lo que las plántulas obtenidas con la relación 85/0/15 y 7 mol $\text{K}^+\cdot\text{m}^{-3}$ tienen una mayor calidad de plántula para obtener un mayor éxito del trasplante, especialmente en áreas con condiciones de vientos fuertes. Con 9 mol

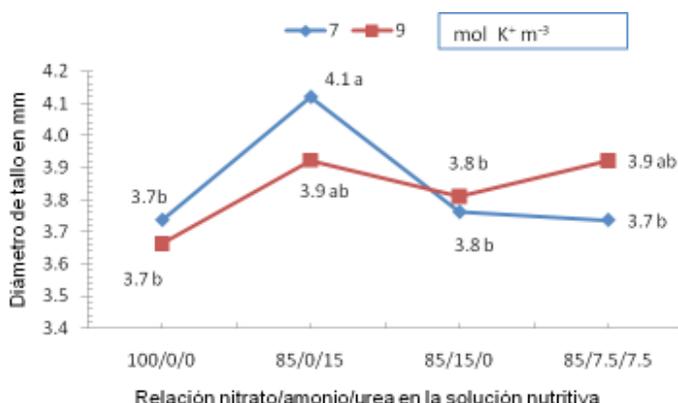


FIGURA 1. Efecto de la interacción relación nitrato/amonio/urea y concentración de potasio en la solución nutritiva sobre el diámetro de tallo de plántulas de tomate. Puntos con la misma letra en cada columna y en cada línea son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

CUADRO 2. Efecto de la relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+/\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ y concentraciones de K en la solución nutritiva sobre el número de hojas (NH), diámetro de tallo (DT), volumen de raíz (VR), relación vástago/raíz (V/R), peso fresco de plántula (PFP) y altura de plántula (AP). Valores promedio de ocho repeticiones.

Factor	NH	DT (mm)	VR (mL)	V/R	PFP (g)	AP (cm)
Relación porcentual de $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+/\text{CO}(\text{NH}_2)_2$						
100/0/0	6.8 b ^z	3.7 b	0.18 c	8.7 b	8.2 b	29.3 a
85/15/0	7.5 a	3.8 b	0.19 bc	9.1 b	8.6 b	28.7 a
85/0/15	7.2 ab	4.0 a	0.20 b	10.4 a	9.6 a	28.1 a
85/7.5/7.5	7.2 ab	3.8 b	0.22 ab	9.0 b	8.3 b	28.3 a
$\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+/\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \times \text{K}$	ns	*	**	ns	ns	ns

^zMedias con letras iguales dentro de cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, **. No significativo, significativo a una $P \leq 0.05$ y 0.01, respectivamente.

$K^+ \cdot m^{-3}$ el diámetro no presenta diferencias significativas entre las cuatro relaciones evaluadas.

Con la relación 85/7.5/7.5 y una concentración de 9 $mol K^+ \cdot m^{-3}$ se obtuvo un volumen radical de 0.23 mL, que es significativamente mayor al obtenido con esa misma relación y 7 $mol K^+ \cdot m^{-3}$ (Figura 2). Con las relaciones 100/0/0, 85/0/15 y 85/15/0 el volumen estadísticamente es el mismo con ambas concentraciones de K en la solución nutritiva. Con 9 $mol K^+ \cdot m^{-3}$ en la solución nutritiva el volumen obtenido con las relaciones 100/0/0, 85/0/15 y 85/15/0 fue significativamente menor comparado con 85/7.5/7.5. Con respecto a la relación vástago/raíz (V/R), el valor mayor del cociente V/R fue de 10.4, es decir que el peso seco del vástago fue 10.4 veces superior al peso seco de la raíz, y se obtuvo con la relación 85/0/15, la cual fue significativamente superior a las relaciones 85/15/0, 85/7.5/7.5 y 100/0/0, sin diferencias entre estas tres relaciones (Cuadro 2). La significancia obtenida con 85/0/15 se debe a que con esta relación se incrementó significativamente el peso seco de la hoja, mientras que los pesos secos del tallo y de la raíz permanecieron sin variación con respecto a 85/15/0, 85/7.5/7.5 y 100/0/0 (Cuadro 3). En contraste al peso seco del vástago, el peso de la raíz no fue afectado significativamente por las relaciones nitrato/amonio/urea estudiadas, lo que difiere de reportes que indican alta sensibilidad de las raíces de tomate a la relación nitrato/amonio (Ganmore-Neumann y Kafkafi, 1980a) y coincide con lo reportado por Peet *et al.*, (1985), quienes mencionan que el crecimiento de la raíz de tomate a concentraciones relativamente bajas de amonio ($1 mol m^{-3}$) en la solución nutritiva es similar o superior al crecimiento obtenido con NO_3^- . Wien (1999) menciona que el contenido de carbohidratos de la plántula es importante para la producción de raíces, por lo que un mayor peso seco de hojas posiblemente esté relacionado con una mayor área foliar para realizar la fotosíntesis y, por consiguiente, en una mayor

producción de carbohidratos, los cuales pueden ser utilizados para la formación de nuevas raíces, lo que coadyuva a disminuir el estrés por trasplante al facilitar el establecimiento de las plántulas en el campo. En el presente estudio las plántulas obtenidas con la relación 85/0/15, 7 y 9 $mol K^+ \cdot m^{-3}$ tuvieron una mayor calidad para trasplante. El mayor peso fresco de plántula fue de 9.6 g-plántula⁻¹ y se obtuvo con la relación 85/0/15, la cual fue significativamente superior a las relaciones 85/15/0, 85/7.5/7.5 y 100/0/0, quienes no presentaron diferencias entre sí (Cuadro 2). Lazic *et al.* (1991) mencionan que el peso fresco de plántula, al momento del trasplante, debe ser de 6 a 8 g-plántula⁻¹. En los resultados de este estudio todos los tratamientos superaron los 8 g-plántula⁻¹ (Cuadro 2). Respecto a la variable altura de plántula, esta es un indicador básico de la calidad de plántula y de acuerdo a Lazic *et al.*, (1993), la altura de las plántulas de tomate al momento del trasplante deberá ser de 20 a 30 cm. En el presente estudio dicha variable no mostró diferencias significativas en los niveles de los factores evaluados, y sus valores fluctuaron entre 28.1 y 29.3 cm.

Distribución de materia seca

Se encontraron diferencias significativas por efecto de la relación nitrato/amonio/urea en peso seco de hoja (PSH) y en peso seco de planta (PSP), sin afectar significativamente el peso seco de tallo (PST) y el peso seco de raíz (PSR); mientras que las concentraciones de K no produjeron diferencias significativas en las cuatro variables consideradas (Cuadro 3). El mayor PSH fue de 0.69 g-plántula⁻¹ y se obtuvo con 85/0/15, el cual fue significativamente mayor comparado con las relaciones 85/15/0, 85/7.5/7.5 y 100/0/0, los cuales fueron estadísticamente iguales. Los mayores valores de PSP se obtuvieron con 85/0/15, 85/7.5/7.5 y 100/0/0, los cuales fueron iguales, pero la relación 85/0/15 fue significativamente mayor que 85/15/0, la cual fue similar a 85/7.5/7.5 y 100/0/0. El menor PSP obtenido con la relación 85/15/0 posiblemente se deba a que las plantas de tomate son susceptibles a la nutrición amoniacal en ciertas concentraciones (Ho, 1996), lo cual se reflejó en la presente investigación, pues al aplicar un 15% del N en forma de NH_4^+ (relación 85/15/0) el PSP fue reducido en forma significativa en un 7.7 % respecto a cuándo no se aplicó N en forma amoniacal (relación 85:0:15). Ikeda y Xuewen (1998) encontraron que un aporte total de nitrógeno en forma de urea no fue adecuado para el crecimiento de plantas de tomate en cultivo en solución y recomiendan que la urea debe ser suministrada complementada con nitrato, lo que coincide con los resultados de la presente investigación, ya que con la relación 85/0/15 (85 %N- NO_3^- /0%N- NH_4^+ -% N-Urea) se obtuvo el mayor PSP. La interacción nitrato/amonio/urea y K originó una respuesta altamente significativa en la materia seca del vástago (hoja + tallo). El análisis de la Figura 3 indica que con la relación 100/0/0 y una concentración de 7 $mol K^+ \cdot m^{-3}$ se obtuvo el mayor porcentaje de materia seca del vástago (14.9), el cual fue significativamente igual al obtenido con la relación 85/7.5/

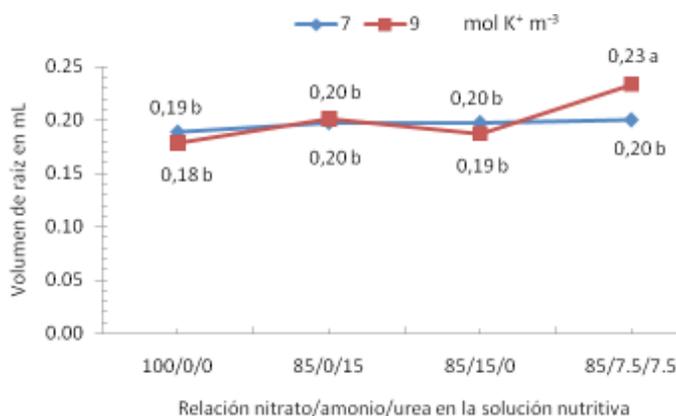


FIGURA 2. Efecto de la interacción relación nitrato/amonio/urea y concentración de potasio en la solución nutritiva sobre el volumen de raíz de plántulas de tomate. Puntos con la misma letra en cada columna y en cada línea son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

CUADRO 3. Efecto de la relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+/\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ y concentración de K sobre el peso seco de hoja (PSH), peso seco de tallo (PST), peso seco de raíz (PSR), peso seco de planta (PSP) (PSH+PST+PSR), su distribución por órgano (porcentajes entre paréntesis) y el porcentaje de materia seca en vástago (MSVA) de plántulas de tomate. Valores promedio de ocho repeticiones.

Factor	PSH	PST	PSR	PSP	MSVA
	(g-planta ⁻¹)				(%)
Relación porcentual de $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+/\text{CO}(\text{NH}_2)_2$					
100/0/0	0.60 b ^z (48.4)	0.51 a (41.1)	0.13 a (10.5)	1.2 ab	13.85 a
85/15/0	0.60 b (49.2)	0.50 a (41.0)	0.12 a (9.8)	1.2 b	12.78 b
85/0/15	0.69 a (51.1)	0.54 a (40.0)	0.12 a (8.9)	1.3 a	12.86 b
85/7.5/7.5	0.64 b (49.2)	0.53 a (40.8)	0.13 a (10.0)	1.3 ab	14.13 a
$\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+/\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ X K	ns	ns	ns	ns	**

^zMedias con letras iguales dentro de cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. Valores dentro de paréntesis indican porcentajes de distribución de materia seca.

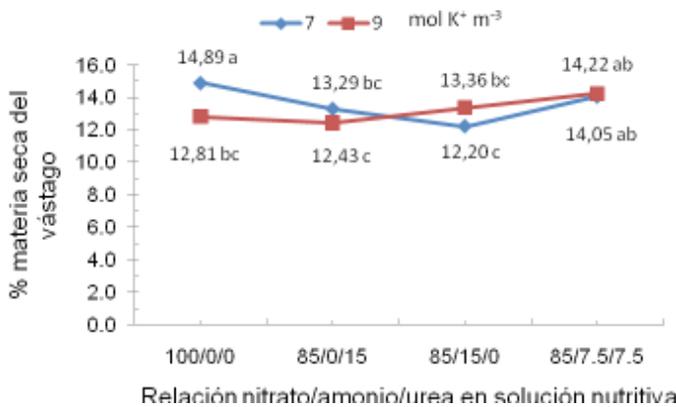


FIGURA 3. Efecto de la interacción relación nitrato/amonio/urea y concentración de potasio en la solución nutritiva sobre el porcentaje de materia seca del vástago de plántulas de tomate. Puntos con la misma letra en cada columna y en cada línea son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

7.5 en ambas concentraciones de K, pero significativamente superior a los valores obtenidos con las relaciones 85/15/0 y 85/0/15, y ambas concentraciones de K. También se observa que con una concentración de 7 mol K⁺·m⁻³ el porcentaje de materia seca del vástago es igual en las relaciones 100/0/0 y 85/7.5/7.5, y que dicha variable es significativamente menor en la relación 85/15/0, el cual no difiere al obtenido con la relación 85/0/15; con 9 mol K⁺·m⁻³ la relación 85/7.5/7.5 produjo un porcentaje de 14.2, sin diferencias significativas respecto a la relación 85/15/0, y significativamente mayor al obtenido con la relación 85/0/15. Tesi y Tallarico (1984) reportaron que las plántulas de tomate para trasplante deben de tener más del 10 % de materia seca en el vástago, lo cual proporciona mayor resistencia al frío y al ser menos suculentas por tener menor contenido de agua son menos quebradizas. Por su parte, Marković *et al.* (1995) encontraron que el contenido de materia seca en plántulas de tomate varió de 9.0 a 11.3 % y que dicho contenido fue importante para disminuir el estrés después del trasplante. En este estudio todas las combinaciones de las relaciones nitrato/amonio/urea con

las concentraciones de potasio en la solución nutritiva produjeron contenidos de materia seca entre 12.2 y 14.9 %.

Concentración de nutrimentos en hojas

Las concentraciones de N, P, K, Ca y Mg en las hojas fueron significativamente diferentes por efecto de la relación nitrato/amonio/urea en la solución nutritiva (Cuadro 4); mientras que la concentración de K afectó de forma significativa únicamente las concentraciones de P y Ca. Las concentraciones de N y de P en las hojas fueron significativamente afectados por la interacción de los factores relación nitrato/amonio/urea-concentración de K (Cuadro 4). Con la relación 85/15/0 y una concentración de K en 7 mol·m⁻³ en la solución nutritiva se obtuvo una concentración de N en las hojas de 5.6 %, significativamente mayor al obtenido con esa misma relación nitrato/amonio/urea y una concentración de K en 9 mol·m⁻³ (Figura 4). Con las relaciones 100/0/0, 85/0/15 y 85/7.5/7.5 la concentración de N en hojas fue igual con ambas concentraciones de K

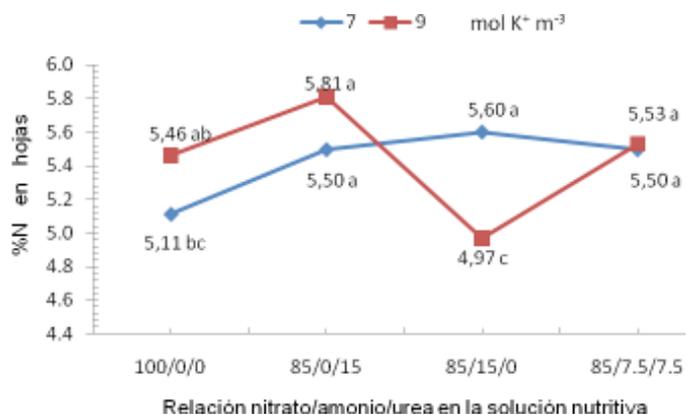


FIGURA 4. Efecto de la interacción relación nitrato/amonio/urea y la concentración de potasio en la solución nutritiva sobre el contenido de nitrógeno en hojas de plántulas de tomate. Puntos con la misma letra en cada columna y en cada línea son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

CUADRO 4. Contenido de nutrimentos en los órganos de las plántulas de tomate por efecto de la relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+/\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ y concentración de K en la solución nutritiva.

Factor	N	P	K	Ca	Mg
	%				
Hojas					
Relación porcentual de $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+/\text{CO}(\text{NH}_2)_2$					
100/0/0	5.3 b	0.74 b	5.5 a	2.1 a	0.7 a
85/15/0	5.3 b	0.98 a	4.7 b	1.6 b	0.7 a
85/0/15	5.6 a	0.76 b	4.3 b	1.5 bc	0.6 ab
85/7.5/7.5	5.5 a	0.67 c	4.5 b	1.3 c	0.5 b
K ($\text{mol}\cdot\text{m}^{-3}$)					
7	5.4 a	0.76 b	4.6 a	1.8 a	0.6 a
9	5.4 a	0.82 a	4.9 a	1.5 b	0.6 a
$\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+/\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \times \text{K}$	**	**	ns	ns	ns
Tallos					
Relación porcentual de $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+/\text{CO}(\text{NH}_2)_2$					
100/0/0	2.8 b	0.29 c	5.3 a	1.8 a	0.3 a
85/15/0	2.7 c	0.41 a	5.2 a	1.6 ab	0.2 a
85/0/15	3.3 a	0.36 b	5.5 a	1.7 ab	0.3 a
85/7.5/7.5	3.0 b	0.34 b	5.0 a	1.3 b	0.2 a
K ($\text{mol}\cdot\text{m}^{-3}$)					
7	3.0 a	0.35 a	5.4 a	1.7 a	0.3 a
9	2.9 b	0.35 a	5.1 b	1.4 b	0.2 b
$\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+/\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \times \text{K}$	**	ns	ns	ns	ns
Raíces					
Relación porcentual de $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+/\text{CO}(\text{NH}_2)_2$					
100/0/0	2.9 a	0.18 b	2.4 ab	0.6 a	0.7 a
85/15/0	3.2 a	0.21 a	2.6 ab	0.4 c	0.1 c
85/0/15	2.9 b	0.13 c	2.3 b	0.4 bc	0.4 b
85/7.5/7.5	3.0 b	0.11 c	2.6 a	0.5 ab	0.6 a
K ($\text{mol}\cdot\text{m}^{-3}$)					
7	3.1 a	0.17 a	2.4 a	0.5 a	0.5 a
9	3.0 b	0.15 a	2.5 a	0.5 a	0.4 b
$\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+/\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \times \text{K}$	**	**	ns	**	**

²Medias con letras iguales dentro de cada columna y cada factor son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

ns, *, **. No significativo, significativo a una $P \leq 0.05$ y 0.01, respectivamente.

en la solución nutritiva. Con $7 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-3}$ de K la concentración de N en las hojas es igual en las relaciones 85/15/0, 85/0/15 y 85/7.5/7.5, las cuales son significativamente mayores a 100/0/0. Con $9 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-3}$ de K la concentración de N en las hojas obtenidas con las relaciones 85/0/15, 85/7.5/7.5 y 100/0/0 fueron significativamente mayores respecto a la relación 85/15/0 (Figura 4). Liptay y Nicholls (1993) consideran que plántulas con altos contenidos de nitrógeno en sus tejidos puede favorecer el establecimiento de las plántulas en el campo al tener mayor N almacenado, aunque mencionan que es necesario realizar más estudios al respecto para aceptar o rechazar la hipótesis de que la cantidad de N asimilado antes de trasplantar las plántulas puede facilitar su crecimiento. En la Figura 5 se observa que con la relación 85/0/15 y una concentración de $9 \text{ mol K}^+ \text{ m}^{-3}$ en la solución nutritiva se obtuvo un 0.87 % de P en

las hojas, valor significativamente mayor al obtenido con la misma relación y $7 \text{ mol K}^+ \text{ m}^{-3}$. Con las relaciones 100/0/0, 85/15/0 y 85/7.5/7.5 la concentración de P estadísticamente es la misma con ambas concentraciones de K en la solución nutritiva. Con 7 y $9 \text{ mol}\cdot\text{K}^+ \text{ m}^{-3}$ y la relación 85/15/0 se obtuvo una concentración de P en las hojas de 0.93 y 1.03 %, respectivamente, valores mayores comparados con los valores de P obtenidos con las relaciones 100/0/0, 85/0/15 y 85/7.5/7.5. El resultado anterior, coincide con lo reportado por diversos autores, quienes mencionan que las plantas suministradas con nitrógeno amoniacal a menudo contienen altas concentraciones de aniones, como por ejemplo, fósforo (Marschner, 1995), esto para mantener el equilibrio de aniones y cationes en las plantas. Por el contrario, las plantas que absorben preferencialmente al nitrato en lugar

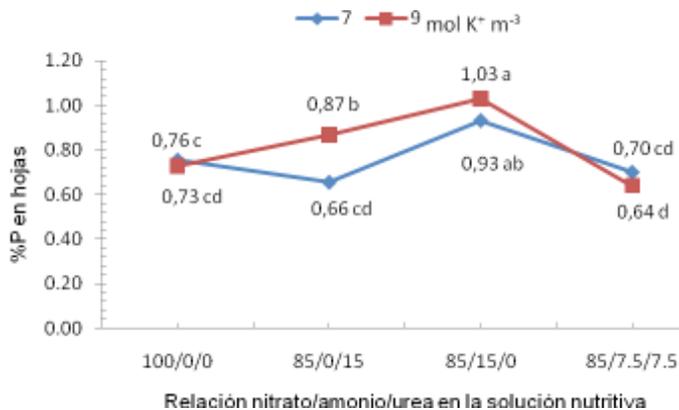


FIGURA 5. Efecto de la interacción relación nitrato/amonio/urea y concentración de potasio en la solución nutritiva sobre el contenido de fósforo en hojas de plántulas de tomate. Puntos con la misma letra en cada columna y en cada línea son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

de amonio contienen altos niveles de cationes y de aniones orgánicos (Mengel y Kirkby, 2000), lo cual coincide con los resultados de la presente investigación, tal como se ilustra en el Cuadro 4, en donde se observa que la concentración de K y Ca en las hojas de las plántulas desarrolladas con la relación 100/0/0 fueron significativamente mayores comparadas con las relaciones 85/15/0, 85/0/15 y 85/7.5/7.5.

Concentración de nutrimentos en tallos

Las concentraciones de N, P y Ca en los tallos fueron diferentes por efecto de la relación de nitrato/amonio/urea en la solución nutritiva (Cuadro 4); mientras que la concentración de K en la solución nutritiva afectó significativamente las concentraciones de N, K, Ca y Mg. La interacción nitrato/amonio/urea-K⁺ produjo una respuesta altamente significativa en el contenido de N en los tallos (Figura 6). Con la relación 85/0/15 y 9 mol K⁺·m⁻³ se obtuvo la mayor concentración de N en tallo (3.47 %), la cual fue superior a los contenidos de N obtenidos con las relaciones 100/0/0, 85/15/0 y 85/7.5/7.5 con 7 y 9 mol K⁺·m⁻³. Con respecto a la concentración de P el menor valor (0.29 %) se obtuvo con la relación 100/0/0; mientras que la mayor concentración de Ca (1.8 %) también fue obtenida con 100/0/0. La explicación de estos resultados ya fue mencionada anteriormente. Los contenidos de K, Ca y Mg fueron superiores con 7 mol K⁺·m⁻³ en la solución nutritiva comparado con 9 mol K⁺·m⁻³, lo cual sugiere que con la menor concentración de K las plántulas completaron su demanda por este nutrimento.

Concentración de nutrimentos en raíces

La interacción nitrato/amonio/urea -K⁺ resultó significativa para la concentración de N, P, Ca y Mg en

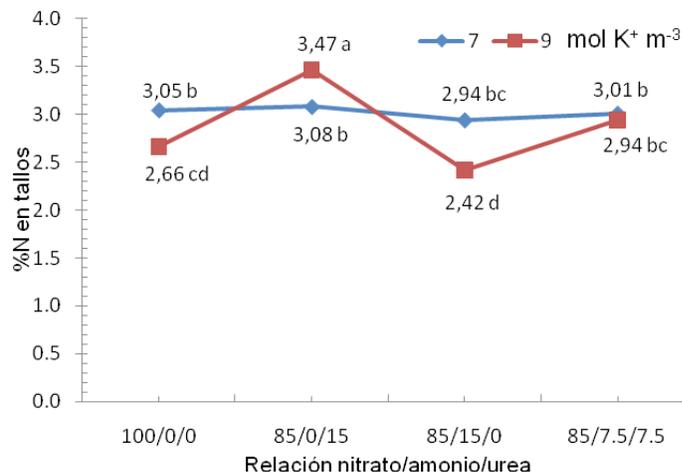


FIGURA 6. Efecto de la interacción relación nitrato/amonio/urea y la concentración de potasio en la solución nutritiva sobre el contenido de nitrógeno en tallos de plántulas de tomate. Puntos con la misma letra en cada columna y en cada línea son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

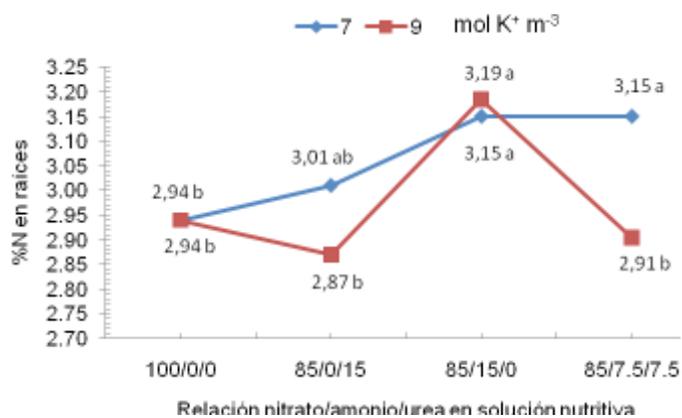


FIGURA 7. Efecto de la interacción relación nitrato/amonio/urea y la concentración de potasio en la solución nutritiva sobre el contenido de nitrógeno en raíces de plántulas de tomate. Puntos con la misma letra en cada columna y en cada línea son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

raíces. En el caso del N con la relación 85/7.5/7.5 y 7 mol K⁺·m⁻³, existió un aumento altamente significativo en la concentración de N con respecto a la misma relación y 9 mol K⁺·m⁻³ (Figura 7). De igual manera, con 7 mol K⁺·m⁻³ y una relación de 100/0/0 la concentración de N se redujo estadísticamente comparado con esa concentración de K y las relaciones 85/15/0, 85/7.5/7.5 y 85/0/15. Respecto al P con 7 mol K⁺·m⁻³ y una relación de 85/15/0 se obtuvo una concentración de 0.22 %, valor estadísticamente superior comparado con las demás relaciones a ese mismo nivel de K en la solución nutritiva; al incrementar el K a 9 mol·m⁻³ y bajo la relación 85/15/0 el contenido de P fue de 0.21 %, valor significativamente superior a los obtenidos con las relaciones 85/0/15 y 85/7.5/7.5 (Figura 8). En la Figura 9 se observa que el mayor contenido de Ca, y de Mg

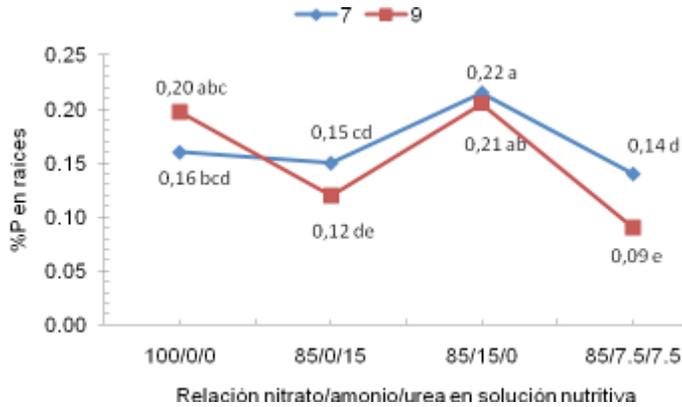


FIGURA 8. Efecto de la interacción relación nitrato/amonio/urea y la concentración de potasio en la solución nutritiva sobre el contenido de fósforo en raíces de plántulas de tomate. Puntos con la misma letra en cada columna y en cada línea son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

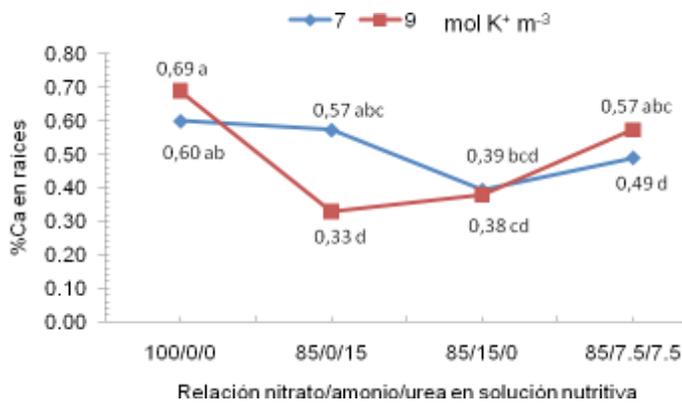


FIGURA 9. Efecto de la interacción relación nitrato/amonio/urea y la concentración de potasio en la solución nutritiva sobre el contenido de calcio en raíces de plántulas de tomate. Puntos con la misma letra en cada columna y en cada línea son iguales de acuerdo con la prueba Tukey a una $P \leq 0.05$.

(dato no presentado) en las raíces se obtuvo con la relación 100/0/0 y la concentración 9 mol K⁺·m⁻³ (0.69 %), el cual fue significativamente superior comparado con las relaciones 85/15/0 y 85/0/15 debido a que la inclusión de amonio en soluciones nutritivas limita la absorción de Ca y de otros cationes (Mengel y Kirkby, 2000), mientras que los nitratos la favorecen y en el caso de la urea posiblemente ciertas cantidades de esta molécula fueron hidrolizadas a amonio mediante la participación de la enzima ureasa (Luo *et al.*, 1993), situación que posiblemente redujo la absorción de Ca y Mg.

CONCLUSIONES

Aunque en la producción de plántulas de tomate no se utiliza amonio ni urea como fuentes de nitrógeno debido a la escasa investigación relacionada con el efecto de dichas fuentes sobre los parámetros de calidad de las plántulas,

los resultados de este estudio indican que la sustitución de un 15 % del total de nitrógeno nítrico en la solución nutritiva por un porcentaje similar de nitrógeno amoniacal y/o ureico o una mezcla 7.5 %N-amoniacal-7.5 %N-ureico, mejoró algunos parámetros de calidad de plántula evaluados respecto a cuándo el 100 % de N en la solución nutritiva es de forma nítrica. De igual forma, la interacción de los factores: relación nitrato/amonio/urea y concentración de K en la solución nutritiva tuvo efecto significativo en el diámetro de tallo, volumen radical y porcentaje de materia seca del vástago. La incorporación de amonio y de urea a las soluciones nutritivas afectaron las concentraciones de algunos nutrientes en los órganos vegetales, particularmente nitrógeno, fósforo y calcio.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero de la Universidad Autónoma de Sinaloa para realizar esta investigación, a través del Programa de Fortalecimiento y Apoyo a Proyectos de Investigación (PROFAPI-2008).

LITERATURA CITADA

- ALCÁNTAR, G. G.; SANDOVAL, V. M. 1999. Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Publicación Especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México.
- BAR-TAL, A.; BAR-YOSEF, B.; KAFKAFI, U. 1990. Pepper transplant response to root volume and nutrition in the nursery. *Agronomy Journal* 82: 989-995.
- BAR-TAL, A.; BAR-YOSEF, B.; KAFKAFI, U. 1993. Modeling pepper seedling growth and nutrient uptake as a function of cultural conditions. *Agronomy Journal* 85: 718-724.
- BASSOCU, L.; NICOLA, S. 1992b. Influence of nitrogen on tomato seedlings. *Proceedings of Eighth International Congress on Soilless Culture*. South Africa. pp. 51-59.
- BASSOCU, L.; NICOLA, S. 1995. Supplementary light and pretransplant nitrogen effects on tomato seedling growth and yield. *Acta Hort.* 396:13-319.
- BEVERLY, R. B.; LATIMER, J. G.; OETTING, R. D. 1992. Effect of root cell size and brushing on transplant growth and field establishment of Sunrise tomato under a line-source irrigation variable. *Proceedings of the National Symposium on Stand Establishment in horticultural Crops*. pp. 249-258.
- BREMNER, J. M. 1965. Total nitrogen, pp. 1149-1178. *In*: C. A. Black (ed.). *Methods of soil analysis*. (Part 2). (Agronomy 9). American Society of Agronomy. Madison, WI.
- CABRERA, R. I. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5(1): 5-11. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- CHAVIRA, R. J. C.; CASTELLANOS, R. J. Z. 1987. Sales solubles. pp. 109-124. *In*: AGUILAR S., A.; ETCHEVERS, J. D.; CASTELLANOS R., J. Z. (ed.). *Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo*. Publicación Especial Núm. 1. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo.
- CHEN, J.; GABELMAN, W. H. 1999. Potassium transport rate from root to shoot unrelated to potassium-use efficiency in tomato grown under low-potassium stress. *J. Plant Nutr.* 22: 621-631.

- CIDH. 2008. Comisión para la Investigación y Defensa de las Hortalizas. Cierre de ciclo de hortalizas. CAADES, Sinaloa, A.C.
- CLAUSSEN, W.; LENZ, F. 1999. Effect of ammonium or nitrate nutrition on net photosynthesis, growth, and activity of the enzymes nitrate reductase and glutamine synthetase in blueberry, raspberry and strawberry. *Plant Soil* 208: 95-102.
- ERREBHI, M.; WILCOX, G. E. 1990. Plant species response to ammonium-nitrate concentration ratios. *J. Plant Nutr.* 13: 1017-1029.
- ERSOVA, V. L. 1980. Promislenie tehnologii vozdelivania ovoshchnih kultur. Kisinev, Kortja moldavenjske. 156-173.
- GANMORE-NEUMANN, R.; KAFKAFI, U. 1980a. Root temperature and porcentaje $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ effect on tomato plant development. I. Morphology and growth. *Agron. J.* 72: 758-761.
- GERENDAS, J.; ZHU, Z.; BENDIXEN, R.; RATCLIFFE, R. G.; SATTELMACHER, B. 1997. Physiological and biochemical processes related to ammonium toxicity in higher plants. *Z. Pflanzenern. Bodenk* 160: 239-251.
- HO, L. C. 1996. Tomato, pp. 709-728. *In*. Photoassimilate Distribution in Plants and Crops. ZAMSKI, E.; SCHAFFER, A. A. (Eds.). Marcel Dekker, New York, Basel, Hong Kong.
- IKEDA, H.; XUEWEN, T. 1998. Urea as an organic nitrogen source for hydroponically grown tomatoes in comparison with inorganic nitrogen sources. *Soil Sci. Plant Nutr.* 44: 609-615.
- KHAN, N. K.; WATANABE, M.; WATANABE, Y. 2000. Effect of partial urea application on nutrient absorption by hydroponically grown spinach. *Soil Sci. Plant Nutr.* 46: 199-208.
- LAZIC, B.; DJUROVKA, M.; MARKOVIC, V.; JASNIC, S.; SEKULIC, P. 1991. Dobit iz zašticene bašte. Krstin, Novi Sad. pp. 120-143.
- LAZIC, B.; Djurovka, M.; Markovic V. 1993. Povrtarstvo, Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet. pp. 336-378.
- LESKOVAR, D. I.; STOFFELLA, P. J. 1995. Vegetable seedling root systems: Morphology, development, and importance. *HortScience* 30: 1153-1159.
- LIPS, S. H.; LEIDI, E. O.; SILBERBUSH, M.; SOARS, M. I. M.; LEWIS, O. E. M. 1990. Physiological aspects of ammonium and nitrate fertilization. *J. Plant Nutr.* 13: 1271-1289.
- LIPTAY, A.; JAWORSK, C. A.; PHATAK, S. C. 1981. Effect of tomato transplant stem diameter and ethephon treatment on tomato yield, fruit size and number. *Can. J. Plant Sci.* 61: 13-415.
- LIPTAY, A.; NICHOLLS, S. 1993. Nitrogen supply during greenhouse transplant production affects subsequent tomato root growth in the field. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 118(3): 339-342.
- LUO, J.; LIAN, Z.; YAN, X. 1993. Urea transformation and the adaptability of three Leary vegetables to urea as a source of nitrogen in hydroponic culture. *J. Plant Nutrition* 16(5): 797-812.
- MAGDALENO, V. J. J.; PEÑA, L. A.; CASTRO, B. R.; CASTILLO, G. A. M.; GALVIS, S. A.; RAMÍREZ, P. F.; BECERRA, L. P. A. 2006. Efecto de tres sustratos y dos colores de plástico en el desarrollo de plántulas de tomate de cáscara (*Physalis Ixocarpa Brot.*). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 12(002): 153-158. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- MARKOVIE, V.; TAKAC, A.; ILLIN, Z. 1995. Enriched zeolite as a substrate component in the production of pepper and tomato seedlings. *Acta Horticulturae* 396:1-328.
- MARKOVIÉ, V.; DJUROVKA, M.; ILLIN, Z. 1997. The effect of seedling quality on tomato yield, plant and fruit characteristics. *Acta Hort.* 462: 3-167.
- MARSCHNER, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Second Edition. Academic Press. San Diego, California. USA.
- MASSON, J.; TREMBLAY, N.; GOSSELING, A. 1991. Nitrogen fertilization and HPS supplementary lighting influence vegetable transplant production. *Journal of the American Society of Horticultural Science* 116: 4-598.
- MAYNARD, E. T.; VAVRINA, C. S.; SCOTT, W. D. 1996. Containerized muskmelon transplant: Cell volume effects on transplant development and subsequent yield. *Horticulture* 31:-61.
- McCALL, D. 1992. Effect of supplementary light on tomato transplant growth and the after-effects on yield. *Sci. Horti.*, 51: 1-70.
- MELTON, R. R.; DUFAULT, R. J. 1991. Nitrogen, phosphorus and potassium fertility regimes affect tomato transplant growth. *HortScience* 23: 41-142.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. 2000. Principios de Nutrición Vegetal. Traducción al Español de la 4ª edición (1987) de R. J. MELGAR Y M. RUÍZ. Internacional Potash Institute. Basel, Switzerland.
- MONTGOMERY, D. C. 2002. Diseño y Análisis de Experimentos. Segunda Edición. Traducción al Español de Rodolfo Piña García. Editorial Limusa, S. A. de C. V. México, D.F., 686 p.
- ORZOLEK, M. D. 1991. Establishment of vegetables in the field. *Hort. Tech.* 1:78-81.
- PEET, M. M.; RAPER, D. C.; TOLLEY, L. C.; ROBARGE, W. P. 1985. Tomato responses to ammonium and nitrate nutrition under controlled root-zone pH. *Journal Plant Nutrition* 8: 87-798.
- PORTREE, J. 1997. Greenhouse vegetable production guide for commercial growers. British Columbia Ministry of Agriculture, Fisheries and Food.
- PRECIADO, R. P.; BACA, C. G. A.; TIRADO, T. J. L.; KOHASHI, S. J.; TIJERINA, CH. L.; MARTÍNEZ, G. A. 2002. Nitrógeno y potasio en la producción de plántulas de melón. *Terra* 20: 67-276.
- SALSAC, L.; CHAILLOU, S.; MOROT-GAUDRY, J.; LESAIN, C.; JOLIVERT, E. 1987. Nitrate and ammonium nutrition in plants. *Plant Physiol. Biochem.* 25: 805-812.
- RODRÍGUEZ, H.; RODRÍGUEZ, J. 2002. Métodos de análisis de suelos y plantas: Criterios de Interpretación. Editorial Trillas:UANL
- SAS, Statistical Analysis System. 1999. User's guide. Versión 8. SAS Institute Inc., Cary, N. C. USA.
- SCHWARZ, M. 1995. Soilless culture management. Advanced series in Agricultural Sciences 24. Springer-Verlag. Berlin, Germany.
- STEINER, A. A.; VAN WINDEN, H. 1970. Recipe for ferric salt of ethylenediamintetra acetic acid. *Plant Physiol.* 45: 862-863.
- STEINER, A. A. 1984. The universal nutrient solution. Sixth Int. Congr. on Soilless Culture. ISOSC Proceeding. The Netherlands. pp: 633-649.
- STEINER, A. A. 1973. The selective capacity of tomato plants for ions in a nutrient solution. pp. 43-53. In: Proceeding 3rd International Congress on Soilless Culture. Wageningen, The Netherlands.
- TESI, R.; TALLARICO, R. 1984. L'indurimento delle piantine di pomodoro in vivaio e loro resistenza al freddo. *Culture Prolette* 11: 49-54.
- VAVRINA, C. S.; OBREZA, T. A. 1993. Response of chinese cabbage to nitrogen rate and source in sequential plantings. *HortScience* 28: 1164-1165.
- VILLEGAS, T. O. G.; SÁNCHEZ, G. P.; BACA, C. G. A.; RODRÍGUEZ, M. M. N.; TREJO, C.; SANDOVAL, V. M.; CÁRDENAS, S. E. 2005. Crecimiento y estado nutrimental de plántulas de

- tomate en soluciones nutritivas con diferente concentración de calcio y potencial osmótico. *Terra Latinoamericana* 23: 49-56.
- WESTON, L. A; ZANDSTA, B. H. 1989. Trasplant age and N and P nutrition effects on growth and yield of tomatoes. *Hortscience* 24: 88-90.
- WIEN, H. C. 1999. *The Physiology of Vegetable Crops*. CAB International. University Press, Cambridge. London, UK.
- WINSOR, G. W. 1990. *Soilless Culture for Horticultural Crop Production*. FAO Plant Production and Protection. Paper 101. Rome, 1-4, 42.

