

Relación nitrato/amonio/urea y concentración de potasio en la producción de tomate hidropónico*

Relation nitrate / ammonium / urea and potassium concentration in hydroponic tomato production

Saúl Parra Terraza^{1§}, Guadalupe Mendoza Palomares¹ y Manuel Villarreal Romero¹

¹Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de Sinaloa. Carretera Culiacán-El Dorado, km 17.5. Culiacán, Sinaloa, México. A. P. 726, C. P. 80000. Tel. 01 667 7543693. (pipo_m_p@hotmail.com), (manuelvillarreal2@yahoo.mx). §Autor para correspondencia: psaul@uas.uasnet.mx.

Resumen

Plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L. cv. IB-9) fueron cultivadas en un sistema hidropónico con el objetivo de evaluar el efecto de la relación nitrato, amonio, urea (100/0/0, 85/15/0, 85/0/15 y 85/7.5/7.5) y la concentración de potasio (7 y 9 mol m⁻³) en el rendimiento de fruto y composición mineral de las plantas. El rendimiento de fruto no fue afectado por los tratamientos, por lo que se puede sustituir 15% del total de nitrógeno nítrico de la solución nutritiva con un porcentaje igual de nitrógeno amoniacal o ureico, o una mezcla de amonio y urea, cada una a 7.5%. El contenido de fósforo en las hojas aumentó significativamente con la interacción de 85/15/0 y 9 mol m⁻³ de potasio, mientras que la concentración de calcio en las hojas disminuyó estadísticamente con 100/0/0 y 9 mol m⁻³ de potasio.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum* L., contenido nutrimental, hidroponía, soluciones nutritivas.

Introducción

El nitrógeno es un elemento esencial para el crecimiento y el metabolismo de las plantas; puede suministrarse en tres diferentes formas: nítrica, amoniacal y ureica (Parra *et al.*,

Abstract

Tomato plants (*Solanum lycopersicum* L. cv. IB-9) were grown in a hydroponic system in order to evaluate the effect of the ratio nitrate, ammonium, urea (100/0/0, 85/15/0, 85/0/15 and 85/7.5/7.5) and the concentration of potassium (7 and 9 mol m⁻³) in fruit yield and mineral composition of plants. The fruit yield was unaffected by the treatments, so that it can substitute 15% of the total nitrate nitrogen to the nutrient solution with an equal percentage of nitrogen or urea, or a mixture of ammonia and urea, each at 7.5 %. The phosphorus content in leaves was significantly increased by the interaction of 85/15/0 and 9 mol of potassium m⁻³, while the calcium concentration in leaves 100/0/0 statistically decreased and 9 mol m⁻³ potassium.

Key words: *Solanum lycopersicum* L., nutrient content, hydroponic, nutrient solutions.

Introduction

Nitrogen is an essential element for growth and metabolism of plants; it can be supplied in three different forms: nitrate, ammonia and urea (Parra *et al.*, 2010). The

* Recibido: abril de 2011

Aceptado: noviembre de 2011

2010). La forma nítrica es absorbida preferentemente por la mayoría de las plantas (Mengel y Kirkby, 2000; Miller y Cramer, 2004), por lo que es la más utilizada en los cultivos hidropónicos. La respuesta a la nutrición amoniacal varía entre especies y las condiciones ambientales (Kotsiras *et al.*, 2005), en ciertas concentraciones puede resultar tóxica para muchas especies vegetales (Salsac *et al.*, 1987), por lo que generalmente se recomienda aplicar el amonio en pequeñas concentraciones, discrepando los investigadores en las concentraciones a usar (Steiner, 1984; Sandoval *et al.*, 1995; Portree, 1997).

La urea es una de las principales fuentes de fertilizantes nitrogenados para la producción de plantas (Vavrina y Obreza, 1993); no obstante, rara vez se usa 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). El uso potencial de la urea como sustituto de los fertilizantes nítricos en hidroponía, podría reducir la acumulación excesiva de nitratos en las plantas (Luo *et al.*, 1993) y los costos de producción, ya que la urea es un fertilizante más barato que los fertilizantes nítricos. Está documentado que varias especies de plantas pueden incrementar su crecimiento, con aportes combinados de nitrato y amonio a diferencia de cuando se aporta cualquiera de las dos formas de nitrógeno por separado (Lips *et al.*, 1990; Errebhi y Wilcox, 1990); sin embargo, hay diferencias en la tolerancia de especies y cultivares respecto a la concentración de amonio en la relación nitrato/amonio (Claussen y Lenz, 1999).

El tomate está considerado como una especie sensible al amonio (Gerendas *et al.*, 1997), por lo que la concentración de N amoniacal debe ser entre tres y diez por ciento del total de nitrógeno suministrado (Portree, 1997; Steiner, 1984). La absorción de amonio está influenciada por la presencia de nitratos (Britto y Kronzucker, 2002) y potasio (Szczerba *et al.*, 2006) en la solución, los cuales pueden reducir la toxicidad del amonio. La absorción de nitratos incrementa la concentración de algunas hormonas del crecimiento en el xilema (Rahayu *et al.*, 2005), regulando la división y la expansión celular (Francis y Sorell, 2001), mientras que el potasio tiene similitudes con el amonio, en cuanto a la valencia, el diámetro del ion hidratado y su efecto sobre el potencial eléctrico de la membrana (Wang *et al.*, 1996; Xu *et al.*, 2002) por lo que hay interacción entre estos dos iones.

El amonio puede influir en la absorción y acumulación de potasio posiblemente por que compite con el para ingresar a las células (Szczerba *et al.*, 2006b); mientras que el

nitrate form, is preferentially absorbed by most plants (Mengel and Kirkby, 2000; Miller and Cramer, 2004), making it the most commonly used in hydroponic culture. The response to ammonia nutrition varies between species and environmental conditions (Kotsiras *et al.*, 2005), at certain concentrations can be toxic to many plant species (Salsac *et al.*, 1987), for what is generally recommended to apply the ammonium in small concentrations, researchers disagree on the concentrations to be used (Steiner, 1984, Sandoval *et al.*, 1995, Portree 1997

Urea is a major source of nitrogen fertilizers for crop production (Vavrina and Obreza, 1993), however, rarely used in hydroponic systems (Ikeda and Xuewen, 1998), due to the limited research related to absorption and utilization of said source (Khan *et al.*, 2000). The potential use of urea as a substitute for nitric fertilizers in hydroponics could reduce excessive nitrate accumulation in plants (Luo *et al.*, 1993) and production costs, since the urea fertilizer is cheaper than nitric fertilizers. It is documented that several species of plants can increase their growth, with combined contributions of nitrate and ammonium as opposed to when it provides any of the two forms of nitrogen separately (Lips *et al.*, 1990; Errebhi and Wilcox, 1990); nevertheless, there are differences in the tolerance of species and cultivars respect to the concentration of ammonia in the ratio nitrate / ammonium (Claussen and Lenz, 1999).

The tomato is considered a sensitive species to ammonium (Gerendas *et al.*, 1997), so the ammonia N concentration should be between three and ten percent of the total nitrogen supplied (Portree, 1997; Steiner, 1984). The absorption of ammonia is influenced by the presence of nitrates (Britto and Kronzucker, 2002) and potassium (Szczerba *et al.*, 2006) in the solution, which can reduce the toxicity of ammonia. The absorption of nitrates increases the concentration of some growth hormones in the xylem (Rahayu *et al.*, 2005), regulating cell division and expansion (Francis and Sorell, 2001), while potassium has similarities with the ammonia, as for the valence, the diameter of the hydrated ion and its effect on the electrical potential of the membrane (Wang *et al.*, 1996, Xu *et al.*, 2002) so there is interaction between these two ions.

Ammonia can affect the absorption and accumulation of potassium because possibly it competes with this element to enter the cells (Szczerba *et al.*, 2006b), while potassium

potasio puede inhibir la absorción de amonio en cultivos de maíz y cebada (Wang *et al.*, 1996) o proteger a las plantas de toxicidad debido a altas concentraciones de amonio (Zhu *et al.*, 1998; Santa-María *et al.*, 2000). El tomate absorbe grandes cantidades de potasio, mayores que cualquier otro nutrimento (Chen y Gabelman, 1999) por lo que un adecuado suministro de potasio puede favorecer el uso del amonio, si se considera que la toxicidad por amonio puede atribuirse a la disminución en la absorción de cationes (Marschner, 1995), a la alteración del balance osmótico (Gerendas *et al.*, 1997) y a la síntesis limitada de aniones orgánicos (Salsac *et al.*, 1987). El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la relación porcentual de nitrato/amonio/urea y la concentración de potasio en la solución nutritiva sobre el rendimiento de fruto y la composición mineral de tomate en hidroponía.

Materiales y métodos

El estudio se realizó bajo malla sombra al 50% (porcentaje de luz que bloquea la malla), en la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, México. Plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L. cv. IB-9), de crecimiento indeterminado, tipo bola, crecieron hasta su trasplante en charolas de poliestireno de 200 cavidades con un volumen unitario de 30 cm³ regadas con soluciones nutritivas con las mismas composiciones químicas (Parra *et al.*, 2010), que las aplicadas en el presente trabajo. El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial 4*2, con cuatro repeticiones por tratamiento. La unidad experimental estuvo compuesta por dos recipientes de plástico con capacidad individual de 20 L interconectados entre sí con manguera de plástico de 1.25 cm de diámetro.

Uno de los recipientes contenía 18 L de tezontle negro como sustrato con una granulometría de 2 a 5 mm de diámetro (Cuadro 1), con una planta de tomate por recipiente, y el otro recipiente, 10 L de solución nutritiva del tratamiento correspondiente para efectuar los riegos por subirrigación. Se aplicaron dos riegos diarios, el primero a las 8:00 am y el segundo a las 13:00 pm; diariamente se repuso el agua evapotranspirada aforando a 10 L con agua destilada y el pH se ajustó a 5.5±0.1 con HCl o NaOH 1N; las soluciones nutritivas se renovaron cada 15 días. Los tratamientos fueron ocho soluciones nutritivas resultantes de la combinación de cuatro relaciones porcentuales de NO₃⁻/NH₄⁺/CO(NH₂)₂ (100/0/0, 85/15/0, 85/0/15 y 85/7.5/7.5) y dos concentraciones de K⁺ (7 y 9 mol m⁻³).

can inhibit the absorption of ammonia in corn and barley (Wang *et al.*, 1996) or protect plants from toxicity due to high concentrations of ammonium (Zhu *et al.*, 1998, Santa-Maria *et al.*, 2000). The tomato absorbs large amounts of potassium, more than any other nutrient (Chen and Gabelman, 1999) so that an adequate supply of potassium can favor the use of ammonium, considering the toxicity of ammonia can be attributed to the decreased absorption of cations (Marschner, 1995), to the alteration of osmotic balance (Gerendas *et al.*, 1997) and to the limited synthesis of organic anions (Salsac *et al.*, 1987). The aim of this study was to evaluate the effect of the percentage ratio of nitrate/ammonium/urea and the potassium concentration in the nutrient solution on fruit yield and mineral composition of tomato in hydroponics.

Materials and methods

The study was conducted under shade cloth 50% (percentage of light that blocks the cover), in the Faculty of Agronomy of the Autonomous University of Sinaloa, Mexico. Seedlings of tomato (*Solanum lycopersicum* L. cv. IB-9), with indeterminate growth, ball type, grew until their transplant in polystyrene trays with 200 cavities with a unit volume of 30 cm³ irrigated with nutrient solutions with the same chemical compositions (Parra *et al.*, 2010), than those applied in this work. The experimental design was completely randomized with a factorial arrangement 4*2, with four replicates per treatment. The experimental unit consisted of two plastic containers with an individual capacity of 20 L interconnected each other by using a plastic hose of 1.25 cm in diameter

One of the containers contained 18 L of black volcanic rock as a substrate with a particle size of 2 to 5 mm in diameter (Table 1) with one tomato plant per container, and the other container, 10 L of the corresponding nutrient solution to make their subirrigation. Twice a day irrigations were applied, the first at 8:00 AM and the second at 13:00 PM, daily evapotranspiration water was reincorporated aforing to 10 L with distilled water and the pH was adjusted to 5.5 ± 0.1 with HCl or NaOH 1N, the nutrient solutions were renewed every 15 days. Treatments were eight nutrient solutions resulting from the combination of four percentage ratios of NO₃/NH₄⁺/CO(NH₂)₂ (100/0/0, 85/15/0, 85/0/15 and 85/7.5/7.5) and two concentrations of K⁺ (7 and 9 mol m⁻³).

Los tratamientos se diseñaron a partir de la solución universal de Steiner (1984) (tratamiento 1, Cuadro 2); esta solución no incluye al amonio ni a la urea como fuentes de N, por lo que las modificaciones fueron: 1) adición de una concentración de NH_4^+ y reducción equivalente de la concentración de NO_3^- ; 2) disminución de las concentraciones relativas de los aniones (NO_3^- , H_2PO_4^- , SO_4^{2-}) e incrementos de 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, que permitió mantener la relación mutua entre Ca^{2+} y Mg^{2+} (2.25:1); 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 (-0.0024), propuesto por Steiner (1984).

Cuadro 2. Composición química (mol m^{-3}) de las soluciones nutritivas utilizadas en los tratamientos.

Table 2. Chemical composition (mol m^{-3}) of the nutrient solutions used in the treatments.

Tratamiento	NO_3^-	H_2PO_4^-	SO_4^{2-}	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NH_4^+
1	12	1	3.5	0	7	4.5	2	0
2	11.61	0.97	3.39	0	8.71	3.68	1.63	0
3	10.18	1.22	4.28	0	6.98	3.9	1.73	1.7
4	9.89	1.19	4.16	0	8.73	3.21	1.43	1.4
5	9.86	1.18	4.15	1.8	6.77	4.35	1.93	0
6	10.13	1.22	4.26	1.8	8.94	3.78	1.68	0
7	10.37	1.24	4.36	0.9	6.79	4.37	1.94	0.9
8	10.01	1.2	4.21	0.9	8.83	3.48	1.55	0.7

Las soluciones nutritivas se prepararon con sales inorgánicas grado reactivo y agua destilada y se les añadieron las concentraciones de micronutrientes (en mg 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 periodo de cosecha inició el 23 de enero y terminó el 23 de marzo de 2009. Se evaluó rendimiento (kg planta^{-1}) de frutos rojos y frutos verdes; rendimiento total (frutos rojos + frutos verdes), número de frutos rojos por planta y el peso promedio de frutos rojos (g planta^{-1}). En el último corte de frutos las plantas se cosecharon y separaron en hojas, tallos, frutos (rojos y verdes); estos órganos, con excepción de los frutos verdes, se secaron en estufa con circulación forzada de aire a una temperatura de 70°C durante 72 h, se molieron en un molino eléctrico y tamizaron con malla 40.

Cuadro 1. Caracterización física del tezontle utilizado en el experimento.

Table 1. Physical characterization of the volcanic rock used in the experiment.

Características	Valores
Densidad aparente (g cm^{-3})	0.75
Densidad real (g cm^{-3})	2
Porosidad total (% volumen)	63
Porosidad de aireación (% volumen)	43
Capacidad de retención de agua (% volumen)	20

The treatments were designed from the universal solution Steiner (1984) (treatment 1, Table 2), this solution does not include ammonium or urea as nitrogen sources, so that the modifications were: 1) addition of a concentration of NH_4^+ and equivalent reduction in the concentration of NO_3^- ;

2) decrease in the relative concentrations of anions (NO_3^- , H_2PO_4^- , SO_4^{2-}) and increased concentrations of H_2PO_4^- and SO_4^{2-} , to match the concentration of NH_4^+ added and maintain mutual relationship of H_2PO_4^- and SO_4^{2-} (1:3.5), 3) the inclusion of NH_4^+ increased the relative concentrations of cations (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} and NH_4^+), so that the concentration of NH_4^+ added was subtracted from the concentrations of K^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} , considering their relationship, which maintained the mutual relationship between Ca^{2+} and Mg^{2+} (2.25:1), 4) previous modifications led to a change in the osmotic potential of the nutrient solution were adjusted so that the concentrations of ions using the correction factor (-0.0024) proposed by Steiner (1984).

Nutrient solutions were prepared with reagent grade inorganic salts and distilled water, also were added micronutrients concentrations (mg L^{-1}) as follows:

Al material tamizado se le realizó una digestión seca en una mufla a 550 °C durante 5 h y se determinaron las concentraciones de P, K, Ca y Mg. El P se cuantificó por el método amarillo vanadato molibdato (Rodríguez y Rodríguez, 2002), K por flamometría (Alcántar y Sandoval, 1999), Ca y Mg por titulación con EDTA (Chavira y Castellanos, 1987); mientras que el N se determinó por el procedimiento semi-micro Kjeldhal (Bremner, 1965) modificado para incluir nitratos. El análisis de varianza de las variables consideradas se realizó para los factores principales y su interacción con el programa SAS (1999) versión ocho. Para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

Resultados y discusión

Rendimiento

El peso de frutos totales (rojos + verdes), número de frutos rojos y el peso promedio de frutos rojos, no presentaron diferencias significativas por efecto de los tratamientos. El peso de frutos totales varió de 4.372 a 4.578 kg planta⁻¹, el número de frutos rojos por planta de 17.3 a 19.5 y el peso promedio de frutos rojos varió de 148.3 a 155.8 g planta⁻¹ (Cuadro 3). Estos resultados contrastan con los de Siddiqi *et al.* (2002) y Bialczyk *et al.* (2007), quienes al añadir 10% y 20% del nitrógeno total en forma de NH₄⁺ a la solución nutritiva, obtuvieron incrementos de 15% y 20% respectivamente en el rendimiento de tomate cultivares Trust F1 y Perkoz F1 comparado con la solución de nitrato al 100%, lo cual puede atribuirse a que los cultivares de tomate responden diferente a las fuentes de nitrógeno (Ben-Oliel *et al.*, 2004), a variaciones en las condiciones ambientales (Kotsiras *et al.*, 2005) y experimentales prevalecientes en ambos estudios.

La adición de 15% de nitrógeno total en forma de urea a la solución nutritiva, tampoco afectó estadísticamente el peso de frutos totales de tomate, cultivar IB-9 (Cuadro 3). Lo anterior, puede explicarse considerando que en hidroponía, igual que en el suelo la urea puede ser hidrolizada a amonio por la enzima ureasa (Bundy y Bremner, 1974) con la subsecuente conversión de amonio a nitrato mediante el proceso de nitrificación (Aminuddin *et al.*, 1993; Luo *et al.*, 1993). Luo *et al.* (1993) al evaluar las transformaciones de la urea en condiciones de hidroponía, encontraron que en 28 días se realizó la transformación de urea a amonio y

Fe 2.5, Mn 0.5, B 0.5, Cu 0.02 and Zn 0.05. The Fe was provided as Fe-EDTA (Steiner and Van Winden, 1970).

The harvest period began on January 23 and ended on March 23, 2009. We evaluated yield (kg plant⁻¹) of red fruits and green, yield total (red + green fruits), number of fruits per plant and average weight of red fruits (g plant⁻¹). In the last fruit harvest the plants were separated into leaves, stems and fruits (red and green), these organs, except for the green fruits, were dried in an oven with forced air at 70 °C during 72 h, they were grounded in an electric mill and sieved to a mesh 40.

The sieved material was put inside a muffle at 550 °C during 5 hr for it dry digestion, at the end of which it was determined the concentrations of P, K, Ca and Mg. The P was quantified by vanadate molybdate yellow method (Rodríguez and Rodríguez, 2002), K by flamometry (Alcantar and Sandoval, 1999), Ca and Mg by titration with EDTA (Chavira and Castellanos, 1987), while N was determined by the semi-micro Kjeldahl method (Bremner, 1965) modified to include nitrates. Analysis of variance of the variables was performed for the principal components and their interaction with the SAS program (1999) version eight. For means comparison it was used the Tukey test ($\alpha \leq 0.05$).

Results and discussion

Yield

Total weight of fruits (red + green), number of red fruits and average weight of the same, did not show significant differences in treatment evaluated. Total fruit weight ranged from 4 372 to 4 578 kg plant⁻¹, the number of fruits per plant from 17.3 to 19.5 and the average weight of fruits ranged from 148.3 to 155.8 g plant⁻¹ (Table 3). These results contrast with those of Siddiqi *et al.* (2002) and Bialczyk *et al.* (2007), who by adding 10% and 20% of total nitrogen in the form of NH₄⁺ to the nutrient solution, obtained increases of 15% and 20% respectively in the yield of tomato cultivars Trust F1 and Perkoz F1 compared to the nitrate solution 100%, which can be attributed to tomato cultivars respond differently to nitrogen sources (Ben-Oliel *et al.*, 2004), to variations in environmental conditions (Kotsiras *et al.*, 2005) and also the experimentals involved in both studies

nitrato, por ello mencionan que la urea en solución puede ser considerada como una mezcla de nitrógeno inorgánico y orgánico. Aminuddin *et al.* (1993) indican que en un sistema hidropónico de técnica en película nutritiva (NFT) la hidrólisis de la urea inicia el séptimo día y finaliza el día 20.

The addition of 15% of total nitrogen as urea in the nutrient solution, neither statistically affected the total fruit weight of tomato cultivar IB-9 (Table 3). This can be explained considering that in hydroponics, as in the soil urea can be hydrolyzed into ammonia by urease enzyme (Bundy and

Cuadro 3. Efecto de la relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+/\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ y concentración de K en solución nutritiva sobre el peso fresco de frutos de tomate cv. IB-9, en hidroponía.

Table 3. Effect of the $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+/\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ and K concentration in nutrient solution on the fresh weight of tomato fruits cv. IB-9, in hydroponics.

Factor	Peso fresco de frutos (kg planta ⁻¹)			NFR ^x	PPFR ^y (g planta ⁻¹)
	Rojos	Verdes	Rojos+Verdes		
Relación porcentual de NO ₃ ⁻ /NH ₄ ⁺ /CO(NH ₂) ₂					
100/0/0	2.857 a ^z	1.517 a	4.375 a	18.8 a	153 a
85/15/0	2.66 a	1.763 a	4.423 a	17.3 a	155.8 a
85/0/15	2.698 a	1.88 a	4.578 a	18 a	151 a
85/7.5/7.5	2.861 a	1.594 a	4.455 a	19.5 a	148.3 a
Concentración de K (mol m ⁻³)					
7	2.726 a	1.817 a	4.544 a	18 a	155 a
9	2.812 a	1.56 a	4.372 a	19 a	150 a
NO ₃ ⁻ /NH ₄ ⁺ /CO(NH ₂) ₂ X K	ns	ns	ns	ns	ns

^x= número de frutos rojos por planta; ^y= peso promedio de frutos rojos; ^z= medias con letras iguales dentro de cada columna y cada factor son iguales (Tukey; $p \leq 0.05$);

ns= no significativo a $p \leq 0.05$.

En el presente estudio la solución nutritiva fue reemplazada cada 15 días, por lo que posiblemente se presentó el tiempo suficiente para que gran parte de la urea fue transformada a amonio y nitrato, lo que sugiere que la aplicación de un cierto porcentaje de urea en la solución nutritiva, puede reemplazar al nitrato en la solución nutritiva sin afectar el rendimiento, además de reducir la acumulación de nitratos en frutos de vegetales como el tomate (Tan *et al.*, 2000). Guins *et al.* (1994); Zhu *et al.* (1997) reportaron que la sustitución de 20 y 25% de nitratos por urea en la solución nutritiva, no afectó el crecimiento de lechuga tampoco en pak choi (*Brassica pequinensis* L.).

Concentración de nutrimentos en hojas

Las concentraciones de fósforo y de calcio fueron significativamente afectadas por la interacción relación porcentual nitrato/amonio/urea*concentración de potasio (Cuadro 4). Con las relaciones 100/0/0, 85/0/15 y 85/7.5/7.5 los contenidos de fósforo en las hojas fueron estadísticamente iguales para ambas concentraciones de potasio, mientras que el contenido de fósforo (0.383%) para la relación 85/15/0 con 9 mol m⁻³ de potasio, fue significativamente mayor comparada con esa misma relación y 7 mol m⁻³ de potasio (Figura 1).

Bremner, 1974) with subsequent conversion of ammonium to nitrate by nitrifying process (Luo *et al.*, 1993; Aminuddin *et al.*, 1993). Luo *et al.* (1993) during the evaluation of urea transformations in hydroponic conditions, they found that in 28 days, it was performed the transformation of urea to ammonium and nitrate, therefore they indicated that the urea in solution may be regarded as a mixture of inorganic and organic nitrogen. Aminuddin *et al.* (1993) indicate that in a hydroponic nutrient film technique (NFT) hydrolysis of urea starts at the seventh day and ends on day 20.

In this study the nutrient solution was replaced every 15 days, therefore possibly the time was enough for most of the urea was converted to ammonium and nitrate, aspect that suggest that the application of a certain percentage of urea nutrient solution can replace nitrate in the nutrient solution without compromising the yield, beside the reduction of nitrate accumulation in fruits of plants such as tomatoes (Tan *et al.*, 2000). Guins *et al.* (1994), Zhu *et al.* (1997) reported that replacing 20 and 25% of nitrates for urea in the nutrient solution did not affect lettuce growth neither in pak choi (*Brassica pequinensis* L.).

Cuadro 4. Efecto de la relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+/\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ y concentración de K en la solución nutritiva sobre el contenido de nutrientes en los órganos de plantas de tomate cv. IB-9, en hidroponía.**Table 4. Effect of the $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+/\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ and K concentration in the nutrient solution on the nutrient content in the organs of tomato plants cv. IB-9, in hydroponics.**

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	2.92 a ^z	0.05 b	2.43 a	3.5 a	1.2 a
85/15/0	3.54 a	0.22 a	2.79 a	2.51 b	1.04 ab
85/0/15	3.57 a	0.05 b	2.57 a	2.67 b	0.94 ab
85/7.5/7.5	3.62 a	0.04 b	2.53 a	2.31 b	0.89 b
Concentración de K (mol m^{-3})					
7	3.31 a	0.06 b	2.52 a	2.7 a	1.04 a
9	3.51 a	0.12 a	2.64 a	2.79 a	1 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	1.33 b	0.18 b	2.33 a	0.87 a	0.56 a
85/15/0	1.87 a	0.37 a	2.4 a	0.69 a	0.2 b
85/0/15	1.94 a	0.3 a	2.3 a	0.77 a	0.27 b
85/7.5/7.5	1.84 ab	0.29 ab	2.4 a	0.75 a	0.53 a
Concentración de K (mol m^{-3})					
7	1.69 a	0.26 a	2.43 a	0.81 a	0.28 b
9	1.8 a	0.31 a	2.28 b	0.74 a	0.5 a
$\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+/\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \times \text{K}$	**	ns	ns	ns	**
Frutos rojos					
Relación porcentual de $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+/\text{CO}(\text{NH}_2)_2$					
100/0/0	3.06 a	0.15 a	2.51 a	0.13 b	0.04 ab
85/15/0	2.86 a	0.18 a	2.43 a	0.16 a	0.01 c
85/0/15	3.2 a	0.22 a	2.63 a	0.15 ab	0.03 bc
85/7.5/7.5	2.8 a	0.19 a	2.48 a	0.17 a	0.05 a
Concentración de K (mol m^{-3})					
7	3.1 a	0.18 a	2.51 a	0.15 a	0.03 b
9	2.85 a	0.19 a	2.51 a	0.16 a	0.04 a
$\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+/\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \times \text{K}$	ns	ns	ns	ns	**

^z= medias con letras iguales dentro de cada columna y cada factor son iguales (Tukey; $p \leq 0.05$); ns= no significativo, **= significativo a $p \leq 0.01$.

Marschner (1995) menciona que las plantas suministradas con nitrógeno amoniacal, generalmente contienen altos contenidos de aniones; por ejemplo, el fósforo para mantener el equilibrio de aniones y cationes en las plantas, lo que explica este aumento significativo de fósforo en las hojas. Parra *et al.* (2010) reportaron que con una relación 85/15/0 y 9 mol m^{-3} de potasio en la solución nutritiva, la concentración de P en hojas de plántula de tomate, fue significativamente mayor con respecto a los valores de P obtenidos con las relaciones 100/0/0, 85/0/15 y 85/7.5/7.5, lo que coincide con los resultados de este estudio e indica un efecto similar de la relación 85/15/0 sobre el contenido de fósforo en una plántula joven y una planta madura.

Nutrient concentration in leaves

The concentrations of phosphorus and calcium were significantly affected by the interaction percentage ratio nitrate/ammonium/urea*potassium concentration (Table 4). With the concentrations 100/0/0, 85/0/15 and 85/7.5/7.5, the phosphorus contents of the leaves were statistically the same on both concentrations of potassium, while the phosphorus content (0.383%) to the relation 85/15/0 to 9 mol m^{-3} of Potassium, was significantly higher compared with the same relation and 7 mol of potassium m^{-3} (Figure 1).

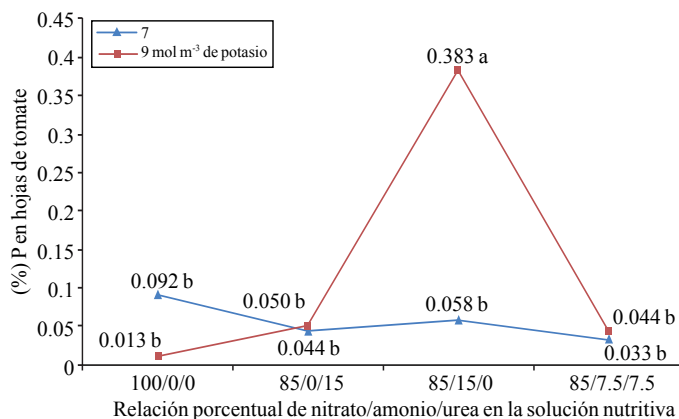


Figura 1. Interacción de la relación porcentual de nitrato/amonio/urea y concentración de potasio en la solución nutritiva sobre la concentración de fósforo en hojas de tomate. Valores con la misma letra en cada columna y en cada línea son iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

Figure 1. Interaction of the percentage ratio of nitrate/ammonium/urea and potassium concentration in the nutrient solution on the concentration of phosphorus in tomato leaves. Values with the same letter in each column and each line are equal (Tukey, $p \leq 0.05$).

En la Figura 2 se observa que la relación porcentual nitrato/amonio/urea no afectó estadísticamente los contenidos de calcio en las hojas para ambas concentraciones de potasio; con 9 mol m⁻³ de potasio en la solución nutritiva el contenido de calcio (3.92%) para la relación 100/0/0, fue significativamente mayor comparado con las otras relaciones, las cuales fueron estadísticamente iguales entre sí (2.28, 2.43 y 2.10% de calcio para las relaciones 85/0/15, 85/15/0 y 85/7.5/7.5). Este resultado coincide con lo reportado por diversos autores (Marschner, 1995; Mengel y Kirkby, 2000), quienes mencionan que las plantas que absorben preferencialmente los nitratos en lugar del amonio contienen niveles altos de cationes, entre los cuales está el calcio. Siddiqui *et al.* (2002) reportaron una reducción en la concentración de calcio en hojas de tomate debido al amonio, lo cual coincide con el resultado obtenido en este estudio (Cuadro 4).

Concentración de nutrientes en tallos

Las concentraciones de nitrógeno y magnesio en los tallos, fueron significativamente afectados por la interacción de los factores relación porcentual nitrato/amonio/urea*concentración de potasio; mientras que el contenido de fósforo presentó diferencias estadísticas por efecto del factor relación porcentual nitrato/amonio/urea (Cuadro 4). Con 7 mol m⁻³ de potasio en la solución nutritiva el contenido de nitrógeno fue de 2.1% para las relaciones 85/0/15 y 85/15/0, valores significativamente

Marschner (1995) mentions that the plants supplied with ammonia nitrogen usually contain high levels of anions, such as phosphorus to maintain the balance of anions and cations in plants, which explains the significant increase of phosphorus in the leaves. Parra *et al.* (2010) reported that a ratio 85/15/0 and 9 mol m⁻³ of potassium in the nutrient solution, the P concentration in leaves of tomato seedlings was significantly higher with respect to P values obtained with the 100/0/0, 85/0/15 and 85/7.5/7.5 relations, which coincides with the results of this study and indicates a similar effect of the ratio 85/15/0 on the content of phosphorus in a young seedling and a mature plant.

The Figure 2 shows that, the percentage ratio nitrate/ammonium /urea statistically did not affect statistically the contents of calcium in the leaves for both concentrations of potassium, with 9 mol of potassium m⁻³ in the nutrient solution. The calcium content (3.92%) for the 100/0/0 ratio was significantly higher compared to other relations, which were statistically equal to each other (2.28, 2.43 and 2.10% of calcium for relations 85/0/15, 85/15/0 and 85/7.5/7.5). This result agrees with that reported by several authors (Marschner, 1995; Mengel and Kirkby, 2000), who mentioned that plants preferentially absorb nitrates instead of ammonium, containing high levels of cations, among which is calcium. Siddiqui *et al.* (2002) reported a reduction in calcium concentration in tomato leaves due to ammonium, which coincides with the result obtained in this study (Table 4).

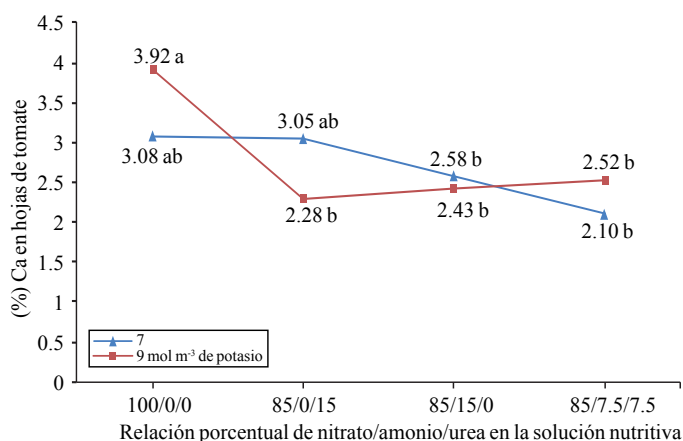


Figura 2. Interacción de la relación porcentual de nitrato/amonio/urea y concentración de potasio en la solución nutritiva sobre la concentración de calcio en hojas de tomate. Valores con la misma letra en cada columna y en cada línea son iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

Figure 2. Interaction of the percentage ratio of nitrate/ammonium /urea and potassium concentration in the nutrient solution on the concentration of calcium in tomato leaves. Values with the same letter in each column and each line are equal ($p \leq 0.05$).

mayores al obtenido con 100/0/0 y estadísticamente igual a 85/7.5/7.5 (Figura 3). La Figura 4 indica que con la relación 85/7.5/7.5 y 9 mol m⁻³ de potasio el contenido de magnesio fue de 0.8%, valor estadísticamente mayor al obtenido con esa misma relación y 7 mol m⁻³ de potasio (0.2%).

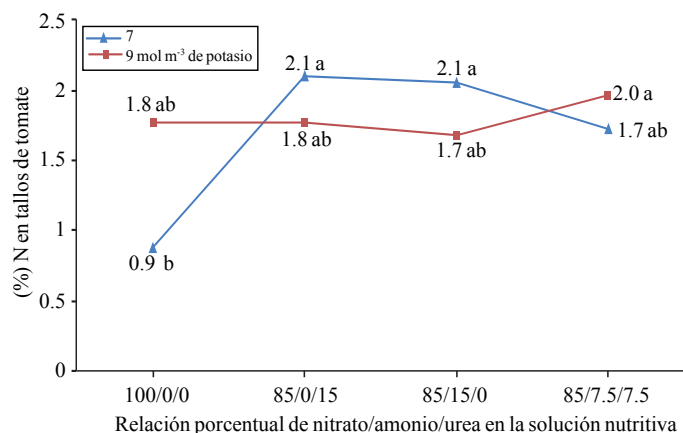


Figura 3. Interacción de la relación porcentual de nitrato/amonio/urea y concentración de potasio en solución nutritiva sobre la concentración de nitrógeno en tallos de tomate. Valores con la misma letra en cada columna y en cada línea son iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

Figure 3. Interaction of the percentage ratio of nitrate/ammonium/urea and potassium concentration in nutrient solution on the nitrogen concentration in stems of tomato. Values with the same letter in each column and each line are equal (Tukey, $p \leq 0.05$).

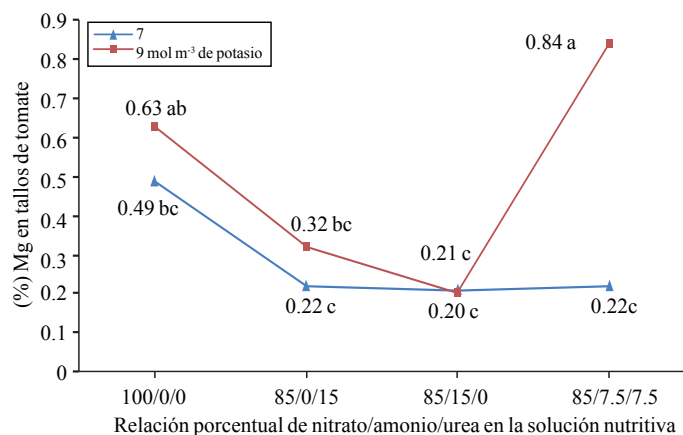


Figura 4. Interacción de la relación porcentual de nitrato/amonio/urea y concentración de potasio en la solución nutritiva sobre la concentración de magnesio en tallos de tomate. Valores con la misma letra en cada columna y en cada línea son iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

Figure 4. Interaction of the percentage ratio of nitrate/ammonium/urea and potassium concentration in the nutrient solution on the magnesium concentration in tomato stems. Values with the same letter in each column and each line are equal (Tukey, $p \leq 0.05$).

Nutrient concentration in stems

The concentrations of nitrogen and magnesium in stems were significantly affected by the interaction of percentage ratio nitrate/ammonium/urea * potassium concentration, while the phosphorus content showed statistical differences due to the effect of the factor percentage nitrate/ammonium/urea (Table 4). With 7 mol m⁻³ of potassium in the nutrient solution the content of nitrogen was 2.1% for relations 85/0/15 and 85/15/0, values significantly higher to that obtained with 100/0/0 and statistically equal to 85/7.5/7.5 (Figure 3). Figure 4 indicates that with the relation 85/7.5/7.5 and 9 mol m⁻³ of potassium, magnesium content was 0.8%, which is statistically higher than that obtained with the same relation and 7 mol m⁻³ of potassium (0.2%).

Also seen in Figure 4 that, by increasing the ammonium content (ratio 85/15/0) or urea (ratio 85/0/15) magnesium contents are significantly lower at 0.2 and 0.3%, respectively, which is similar to that reported by other researchers (Mengel and Kirkby, 2000; Marschner, 1995), who mentioned that ammonium can inhibit the absorption and accumulation of cations, such as magnesium. The phosphorus content in the stems (0.37 and 0.3%) obtained with 85/15/0 and 85/0/15 relations were significantly greater than that obtained with 100/0/0 (0.18%) and statistically equal to 85/7.5/7.5 (0.29%) (Table 4), which coincides with that reported by Mengel and Kirkby (2000), Marschner (1995), who mentioned that the plants supplied with ammoniacal nitrogen, usually contain high concentrations of anions, such phosphorus, as the ammonium favors its absorption and accumulation to maintain electroneutrality at the cellular level (Marschner, 1995).

Nutrient concentration in red fruits

The concentration of magnesium in the red fruits was significantly affected by the interaction between the percentage ratio nitrate/ammonium/urea and the potassium concentration, while the calcium concentration was statistically different in the percentage ratio nitrate/ammonium/urea (Table 4). With the relation 85/7.5/7.5 and 9 mol m⁻³ of potassium, magnesium content was 0.081%, which is statistically higher than that obtained with the same relation and 7 mol of potassium m⁻³ (0.025%) (Figure 5).

The calcium content obtained with 100/0/0 ratio was 0.13%, a value significantly lower than those obtained with 85/15/0 and 85/7.5/7.5 relations (0.16 and 0.17%) (Table 4). This

También se observa en la Figura 4 que al incrementar el contenido de amonio (relación 85/15/0) o de urea (relación 85/0/15) los contenidos de magnesio bajan significativamente a 0.2 y 0.3%, respectivamente, lo que es similar a lo reportado por otros investigadores (Mengel y Kirkby, 2000; Marschner, 1995), quienes mencionan que el amonio puede inhibir la absorción y acumulación de cationes, como el magnesio. Los contenidos de fósforo en los tallos (0.37 y 0.3%) obtenidos con las relaciones 85/15/0 y 85/0/15, fueron significativamente mayores al obtenido con 100/0/0 (0.18%), y estadísticamente igual a 85/7.5/7.5 (0.29%) (Cuadro 4), que coincide con lo reportado por Mengel y Kirkby (2000); Marschner (1995), quienes mencionan que las plantas suministradas con nitrógeno amoniacal, generalmente contienen altas concentraciones de aniones, por ejemplo fósforo, ya que el amonio favorece su absorción y acumulación para mantener la electroneutralidad a nivel celular (Marschner, 1995).

Concentración de nutrientes en frutos rojos

La concentración de magnesio en los frutos rojos, fue significativamente afectada por la interacción entre la relación porcentual nitrato/amonio/urea y la concentración de potasio; mientras que la concentración de calcio fue estadísticamente diferente en la relación porcentual nitrato/amonio/urea (Cuadro 4). Con la relación 85/7.5/7.5 y 9 mol m⁻³ de potasio el contenido de magnesio fue 0.081%, valor estadísticamente mayor al obtenido con esa misma relación y 7 mol m⁻³ de potasio (0.025%) (Figura 5).

El contenido de calcio obtenido con la relación 100/0/0 fue 0.13%, valor significativamente menor a los obtenidos con las relaciones 85/15/0 y 85/7.5/7.5 (0.16 y 0.17%) (Cuadro 4). Este resultado es difícil de explicar, ya que generalmente la absorción de calcio es limitada por la competencia del amonio (Marschner, 1995; Mengel y Kirkby, 2000); por lo tanto, se esperaría que los frutos de tomate provenientes de las relaciones 85/15/0 y 85/7.5/7.5, tuvieran una concentración menor de calcio comparado con la relación 100/0/0.

Este resultado difiere de lo reportado por Siddiqi *et al.* (2002), quienes encontraron que la concentración de amonio en la solución nutritiva redujo las concentraciones de calcio en los frutos. Probablemente, estas diferencias en los contenidos de calcio en los frutos del presente estudio con el de ellos, pueden ser atribuidas a variaciones en los genotipos o condiciones ambientales diferentes prevalecientes en ambos trabajos.

result is difficult to explain, since generally the absorption of calcium is limited by competition from ammonium (Marschner, 1995; Mengel and Kirkby, 2000), therefore, be expected that tomato fruits from relations 85/15/0 and 85/7.5/7.5, had a lower concentration of calcium compared to the ratio 100/0/0.

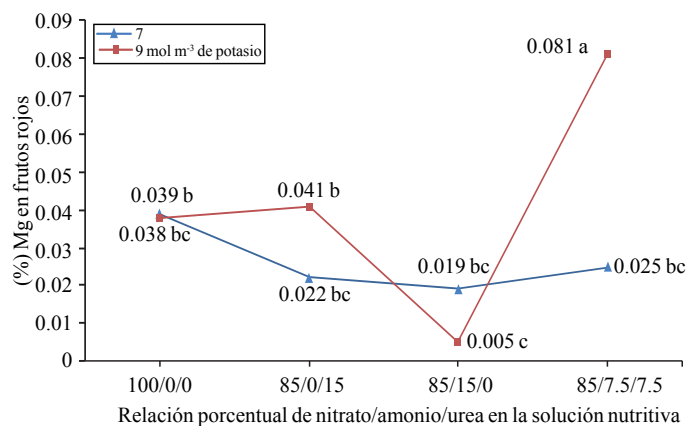


Figura 5. Interacción de la relación porcentual de nitrato/amonio/urea y concentración de potasio en la solución nutritiva sobre la concentración de magnesio en frutos rojos de tomate. Valores con la misma letra en cada columna y en cada línea son iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

Figure 5. Interaction of the percentage ratio of nitrate/ammonium/urea and potassium concentration in the nutrient solution on the magnesium concentration in red tomato fruits. Values with the same letter in each column and each line are equal ($p \leq 0.05$).

This result differs from that reported by Siddiqi *et al.* (2002), who found that the concentration of ammonium in the nutrient solution reduced calcium concentrations in the fruits. Probably, these differences in calcium content in the fruits of this study in contrast with them can be attributed to variations in genotypes or different environmental conditions prevailing in both works.

Conclusions

The results indicate that replacing 15% of the total nitrate nitrogen in the nutritive solution by a similar percentage of N-ammoniacal and urea or a mixture 7.5% N-ammoniacal-7.5% N-ureic, can be used without affecting the tomato IB-9 yield in hydroponic. The interaction of the percentage ratio nitrate/ammonium/urea

Conclusiones

Los resultados indican que la sustitución de 15% del total de nitrógeno nítrico en la solución nutritiva, por un porcentaje similar de nitrógeno amoniacal y ureico o una mezcla 7.5% N-amoniaco-7.5% N-ureico, pueden ser utilizadas sin afectar el rendimiento de tomate cultivar IB-9 en hidroponía. La interacción de la relación porcentual nitrato/amonio/urea y la concentración de potasio en la solución nutritiva, afectaron estadísticamente las concentraciones de fósforo y calcio en hojas, nitrógeno y magnesio en tallos, y magnesio en frutos rojos.

Agradecimientos

A la Universidad Autónoma de Sinaloa por su apoyo financiero, a través del Programa de Fortalecimiento y Apoyo a Proyectos de Investigación (PROFAPI-2008).

Literatura citada

- Alcántar, G. G. y Sandoval, V. M. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publicación Especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México. 156 p.
- Aminuddin, H.; Khalip, R.; Norayah, K. y Alias, H. 1993. Urea as the nitrogen source in NFT hydroponic system. *Pertanika J. Trop. Agric. Sci.* 16:87-94.
- Ben-Oliel, G.; Kant, S.; Naim, M.; Rabinowitch, H. D.; Takeoka, G. R.; Buttery, R. G. and Kafkafi, U. 2004. Effects of ammonium to nitrate ratio and salinity on yield and fruit quality of large and small tomato fruit hybrids. *J. Plant Nutr.* 27:1795-1812.
- Bremner, J. M. 1965. Total nitrogen. *In*: Black, C. A. (ed.). *Methods of soil analysis. (Part 2).* (Agronomy 9). American Society of Agronomy. Madison, WI. USA. 1149-1178 p.
- Bialczyk, J.; Lechowski, Z.; Dziga, D. and Mej, E. 2007. Fruit yield of tomato cultivated on media with bicarbonate and nitrate/ammonium as the nitrogen source. *J. Plant Nutr.* 30:149-161.
- Britto, D. T. and Kronzucker, H. J. 2002. NH_4^+ toxicity in higher plants. *J. Plant Physiol.* 159:567-584.
- Bundy, L. G. and Bremner, J. M. 1974. Effects of nitrification inhibitors on transformation of urea N in soils. *Soil Biochem.* 6:369-376.
- Chavira, R. J. C. y Castellanos, R. J. Z. 1987. Sales solubles. *In*: Aguilar, S. A.; Etchevers, J. D. y Castellanos, R. J. Z. (eds.). *Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo.* Publicación Especial Núm. 1. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. 109-124 p.
- Chen, J. and 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.
- Claussen, W. and 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. and Wilcox, G. E. 1990. Plant species response to ammonium-nitrate concentration ratios. *J. Plant Nutr.* 13:1017-1029.
- Francis, D. and Sorell, D. A. 2001. The interface between the cell cycle and plant growth regulators: a mini review. *Plant Growth Regulation.* 33:1-12.
- Gerendas, J.; Zhu, Z.; Bendixen, R.; Ratcliffe, R. G. and Sattelmacher, B. 1997. Physiological and biochemical processes related to ammonium toxicity in higher plants. *Z. Pflanzenernaehr. Bodenk.* 160:239-251.
- Guins, A.; Post, W. N. K.; Kirkby, E. A. and Aktas, M. 1994. Influence of partial replacement of nitrate by amino acid nitrogen or urea in the nutrient medium on nitrate accumulation in NFT grown winter lettuce. *J. Plant Nutr.* 17:1929-1938.
- Ikeda, H. and Xuwen, 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.

End of the English version



- Khan, N. K.; Watanabe, M. and Watanabe, Y. 2000. Effect of partial urea application on nutrient absorption by hydroponically grown spinach. *Soil Sci. Plant Nutr.* 46:199-208.
- Kotsiras, A.; Olympios, C. M. and Passam, H. C. 2005. Effects of nitrogen form and concentration on yield and quality of cucumbers grown on rockwool during spring and winter in southern Greece. *J. Plant Nutr.* 28:2027-2035.
- Lips, S. H.; Leidi, E. O.; Silberbush, M.; Soars, M. I. M. and Lewis, O. E. M. 1990. Physiological aspects of ammonium and nitrate fertilization. *J. Plant Nutr.* 13:1271-1289.
- Luo, J.; Lian, Z. and Yan, X. 1993. Urea transformation and the adaptability of three Leary vegetables to urea as a source of nitrogen in hydroponic culture. *J. Plant Nutr.* 16:797-812.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Second edition. Academic Press. San Diego, California. USA. 231-254 pp.
- Mengel, K. y Kirkby, E. A. 2000. Principios de nutrición vegetal. Traducción al español de la 4^a edición de Melgar, R. J. y Ruíz, M. Internacional Potash Institute. Basel, Switzerland. 135-146 p.
- Miller, A. J. and Cramer, M. D. 2004. Root nitrogen acquisition and assimilation. *Plant Soil.* 274:1-36.
- Parra, T. S.; Salas, N. E.; Villarreal, R. M.; Hernández, V. S. y Sánchez, P. P. 2010. Relaciones nitrato/amonio/urea y concentraciones de potasio en la producción de plántulas de tomate. *Revista Chapingo. Serie Horticultura.* 16:37-46.
- Portree, J. 1997. Greenhouse vegetable production guide for commercial growers. British Columbia Ministry of Agriculture, Fisheries and Food.
- Rahayu, Y. S.; Walch-Liu, P.; Neumann, G.; Romheld, V.; Von Wiren, N. and Bangerth, F. 2005. Root-derived cytokinins as long-distance signals for NO₃⁻ induced stimulation of leaf growth. *J. Exp. Bot.* 56:1143-1152.
- Rodríguez, H. y Rodríguez, J. 2002. Métodos de análisis de suelos y plantas: criterios de interpretación. Editorial Trillas, S. A. de C. V. D. F., México. 155-157 pp.
- Salsac, L.; Chaillou, S.; Morot-Gaudry, J.; Lesaint, C. and Jolivet, E. 1987. Nitrate and ammonium nutrition in plants. *Plant Physiol. Biochem.* 25:805-812.
- Sandoval, V. M.; Alcántar, G. G. and Tirado, T. J. L. 1995. Use of ammonium in nutrient solutions. *J. Plant Nutr.* 18:1449-1457.
- Santa-María, G. E.; Danna, C. H. and Czibener, C. 2000. High-affinity potassium transport in barley roots: Ammonium-sensitive and-insensitive path-ways. *Plant Physiol.* 123:297-306.
- Statistical Analysis System (SAS) Institute. 1999. User's guide. Versión 8. SAS Institute Inc. Cary, N. C. USA.
- Siddiqi, M. Y.; Malhotra, B.; Min, X. and Glass, A. D. M. 2002. Effects of ammonium and inorganic carbon enrichment on growth and yield of a hydroponic tomato crop. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 165:191-197.
- Steiner, A. A. and van Winden, H. 1970. Recipe for ferric salts of ethylenediaminetetraacetic acid. *Plant Physiol.* 46:862-863.
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. Sixth International Congress on Soilless Culture. ISOSC Proceeding. The Netherlands. 633-649 pp.
- Szczerba, M. W.; Britto, D. T. and Kronzucker, H. J. 2006. Rapid, futile K⁺ cycling and pool-size dynamics define low-affinity potassium transport in barley. *Plant Physiol.* 141:1494-1507.
- Szczerba, M. W.; Britto, D. T. and Kronzucker, H. J. 2006b. The face value of ion fluxes: the challenge of determining influx in the low-affinity transport range. *J. Exp. Bot.* 57:3293-3300.
- Tan, X. W.; Ikeda, H. and Oda, H. 2000. The absorption, translocation, and assimilation of urea, nitrate or ammonium in tomato plants at different plant growth stages in hydroponic culture. *Hortic. Sci.* 84:275-283.
- Vavrina, C. S. and Obreza, T. A. 1993. Response of chinese cabbage to nitrogen rate and source in sequential plantings. *HortScience.* 28:1164-1165.
- Wang, M. Y.; Siddiqi, M. Y. and Glass, A. D. M. 1996. Interaction between K⁺ and NH₄⁺: effects on ion uptake by rice roots. *Plant Cell Environ.* 19:1037-1046.
- Xu, G.; Wolf, S. and Kafkafi, U. 2002. Ammonium on potassium interaction in sweet pepper. *J. Plant Nutr.* 25:719-734.
- Zhu, Z.; Gerendas, J. and Sattelmacher, B. 1997. Effects of replacing of nitrate with urea or choride on the growth and nitrate accumulation in pak-choi in the hydroponics. In: Ando, T.; Fujita, K.; Mae, T.; Matsumoto, H.; Mori, S. and Sekiya, J. (eds.). *Plant nutrition for sustainable food production and environment.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 963-964 pp.
- Zhu, J. K.; Liu, J. and Xiong, L. 1998. Genetic analysis of salt tolerance in *Arabidopsis thaliana*: evidence for a critical role of potassium nutrition. *Plant Cell.* 10:1181-1191.