

FERTILIZACIÓN DE TOMATE CON NITRATO Y AMONIO EN RAÍCES SEPARADAS EN HIDROPONÍA

Esteban Arturo Rivera-Espejel¹; Manuel Sandoval-Villa^{1*}; María de las Nieves Rodríguez-Mendoza¹; Carlos Trejo-López²; Rosalino Gasga-Peña³

¹Colegio de Postgraduados, Programa de Edafología. km 36.5 carretera México-Texcoco. Montecillo, Texcoco, Estado de México, MÉXICO. C.P. 56230.

Correo-e: msandoval@colpos.mx (* Autor para correspondencia).

²Colegio de Postgraduados, Programa de Botánica. km 36.5 carretera México-Texcoco. Montecillo, Texcoco, Estado de México, MÉXICO. C.P. 56230.

³Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario Núm. 184, carretera Acatlán-San Juan Ixcaquixtla km 5, Colonia El Maestro C.P. 74949, Acatlán de Osorio, Puebla, MÉXICO.

RESUMEN

Los efectos del amonio y nitrato sobre el cultivo de tomate hidropónico se han estudiado desde que la hidroponía se utiliza como un medio de producción comercial. Se ha encontrado que pequeñas proporciones de amonio mejoran el crecimiento y el rendimiento de las plantas. Sin embargo, estos estudios se han realizado con el total de las raíces expuestas a estas combinaciones. Se probó la hipótesis de que separar la mitad de las raíces y exponer esa parte a alta concentración de amonio, permite incrementar el crecimiento, el rendimiento y la calidad de frutos de tomate, sin que la planta presente síntomas de toxicidad por amonio. Se estableció un experimento cuyos tratamientos fueron los siguientes: 1) 12 meq·litro⁻¹ de NO₃⁻:agua; 2) 9 meq·litro⁻¹ de NO₃⁻:3 meq·litro⁻¹ de NH₄⁺; 3) 6 meq·litro⁻¹ de NO₃⁻:6 meq·litro⁻¹ de NH₄⁺; y 4) agua:6 meq·litro⁻¹ de NH₄⁺. Se usó un diseño completamente al azar con cinco repeticiones. La unidad experimental fue una planta de tomate con raíces separadas en porciones de 50 %. Cada parte creció en la subdivisión correspondiente de un recipiente dividido en dos partes del mismo volumen, el cual se llenó con tezontle. Se evaluaron las variables altura de planta, diámetro de tallo, longitud y volumen de raíz, rendimiento de frutos por planta, calidad de fruto (diámetro polar y ecuatorial, sólidos solubles totales y acidez titulable) y vida de anaquel. Los resultados indicaron que las relaciones NO₃⁻:NH₄⁺ tuvieron un efecto significativo ($P \leq 0.05$) sobre todas las variables, excepto longitud de raíz y acidez titulable.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: *Solanum lycopersicum* L., formas de nitrógeno, raíces divididas, tezontle.

TOMATO FERTILIZATION USING AMMONIUM AND NITRATE IN SPLIT ROOTS IN HYDROPONICS

ABSTRACT

The effects of ammonium and nitrate on hydroponic tomato crop have been studied since hydroponics is used as a means of commercial production. In general, it has been found that small proportions of ammonium improve plant growth and yield. However, these studies were carried out with all the roots exposed to these combinations. We tested the hypothesis that separating the half of the roots and exposing this portion to high concentration of ammonium helps to increase growth, yield and fruit quality, without ammonium toxicity symptoms. For this reason, an experiment was conducted which treatments were: 1) 12 meq·liter⁻¹ of NO₃⁻:water; 2) 9 meq·liter⁻¹ of NO₃⁻:3 meq·liter⁻¹ of NH₄⁺; 3) 6 meq·liter⁻¹ of NO₃⁻:6 meq·liter⁻¹ of NH₄⁺; and 4) water:6 meq·liter⁻¹ of NH₄⁺. We used a completely randomly design with five replications. The experimental unit consisted of a tomato plant with split roots in quantities of 50 %. Each part grew up in a container divided into two parts of the same volume, which was filled with red volcano gravel called "tezontle". Plant height, diameter, root volume and length, fruit yield per plant, fruit quality (polar and equatorial diameter, total soluble solids and titratable acidity) and shelf life were quantified. The results indicated that NO₃⁻:NH₄⁺ ratios had a significant effect ($P \leq 0.05$) on all variables, except for root length and tritable acidity.

ADDITIONAL KEYWORDS: *Solanum lycopersicum* L., forms of nitrogen, split roots, tezontle.

INTRODUCCIÓN

El nitrógeno (N) es uno de los nutrimentos que cobra gran importancia en la fertilización de los cultivos por su influencia en el crecimiento y desarrollo. Las formas principales en que las plantas aprovechan este nutrimento son el nitrato (NO_3^-) y el amonio (NH_4^+) (Owen y Jones, 2001; Loqué y Wirén, 2004). La mayoría de los trabajos realizados acerca de las formas de N suministradas al sistema radical y sus efectos sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas han consistido en la total exposición de las raíces a diversas combinaciones y concentración de NO_3^- y NH_4^+ en la solución nutritiva.

El NH_4^+ en muchas circunstancias naturales y agrícolas puede resultar tóxico para las plantas (Dejoux *et al.*, 2000; Miller y Cramer, 2004), más aún cuando está como fuente única de N y en altas concentraciones, debido a la disminución del pH, al desbalance anión/catión o al consumo de energía resultado de la salida de iones. Las plantas domesticadas son más susceptibles a la toxicidad por NH_4^+ . Aquí se incluyen las especies de tomate, papa, frijol, cebada, chícharo, ricino, mostaza, remolacha azucarera, fresa, cítricos, clavelón, entre otras, mientras que, entre las especies con mayor tolerancia a NH_4^+ están el arroz, el arándano, la cebolla y el puerro (Britto y Kronzucker, 2002).

Los síntomas más evidentes de toxicidad por NH_4^+ en las plantas se manifiestan como clorosis de hojas, marchitamiento (estrés por déficit de agua), disminución del crecimiento y del rendimiento y, en casos extremos, la muerte de la planta (Cramer y Lewis, 1993). Otros síntomas observados frecuentemente son una disminución en la relación raíz:parte aérea, aunque el efecto inverso ha sido observado en algunas especies. Además, se presenta una disminución en la fotosíntesis neta (Claussen y Lenz, 1999). Las plantas desarrollan raíces más delgadas y más largas cuando el NH_4^+ es la principal fuente de N, una estrategia apropiada para una forma de N relativamente inmóvil (Bloom *et al.*, 2003).

El desbalance catión/anión, que resulta del cambio de la fuente de N de NO_3^- a NH_4^+ parece ser el factor principal en la generación de toxicidad, y es conocido como “síndrome amoniacal” (Chaillou y Lamaze, 2001). Otra característica de la toxicidad por NH_4^+ es la acumulación de aminoácidos en los tejidos. Cuando se suministra N en forma de NH_4^+ muchas plantas lo absorben en grandes cantidades.

En general, el NO_3^- en la solución nutritiva contrarresta los efectos negativos del NH_4^+ en el crecimiento de las plantas (Houdusse *et al.*, 2008). Estos efectos del NO_3^- han sido observados en diferentes especies de plantas, aunque sus mecanismos permanecen esencialmente sin entenderse (Britto y Kronzucker, 2002; Houdusse *et al.*, 2005). Mientras que las plantas alimentadas con NH_4^+ causan acidificación de la rizosfera, las plantas expuestas a NO_3^- causan alcalinización, probablemente en respuesta al exceso de absorción de aniones en relación a cationes (Britto y Kronzucker, 2002).

INTRODUCTION

Nitrogen (N) is one of the nutrients of great importance in the fertilization of crops due to growth and development influence. Nitrate (NO_3^-) and ammonium (NH_4^+) are the main forms in which plants use this nutrient (Owen and Jones, 2001; Loqué and Wirén, 2004). Most of the studies performed on the forms of N supplied to the root system and the effects on growth and development of plants have involved the total exposure of the roots to various combinations and concentrations of NO_3^- and NH_4^+ in the nutrient solution.

NH_4^+ in many natural and agricultural circumstances can be toxic to plants (Dejoux *et al.*, 2000; Miller and Cramer, 2004), and highly toxic when it is used as only source of N and at high concentrations, due to its influence on the decrease in pH, anion/cation imbalance or energy consumption result of ion efflux. Domesticated plants are more susceptible to the toxicity of NH_4^+ . Here are included the species of tomatoes, potatoes, beans, barley, peas, castor oil plant, mustard, sugar beet, strawberry, citrus, marigold, among others, while rice, cranberry, onion and leek are tolerant to ammonium (Britto and Kronzucker, 2002).

The most common symptoms of toxicity of NH_4^+ in plants manifest as chlorosis of leaves, wilting (water deficit stress), decreased growth and yield, and in extreme cases, the death of the plant (Cramer and Lewis, 1993). Other symptoms frequently observed are a decrease in the root:shoot ratio, although the opposite effect has been observed in some species. Furthermore, a decrease in the net photosynthesis (Claussen and Lenz, 1999) is observed. Plants develop thinner and longer roots when NH_4^+ is the main source of N, an appropriate strategy for a relatively immobile N form (Bloom *et al.*, 2003).

Cation/anion imbalance, resulting from the change of the source of N of NO_3^- to NH_4^+ seems to be the main factor in generating toxicity, and is known as “ammonia syndrome” (Chaillou and Lamaze, 2001). Another feature of NH_4^+ toxicity is the amino acid accumulation in tissues. When N is supplied as NH_4^+ , it is absorbed in large amounts by many plants.

In general, NO_3^- in the nutrient solution counteracts the negative effects of NH_4^+ on plant growth (Houdusse *et al.*, 2008). These effects of NO_3^- have been observed in different plant species, although its mechanisms remain poorly understood (Britto and Kronzucker, 2002; Houdusse *et al.*, 2005). Plants fed with NH_4^+ cause rhizosphere acidification, plants exposed to NO_3^- cause alkalization, probably in response to the absorbing excess of anions in relation to cations (Britto and Kronzucker, 2002).

Many studies have shown that plants benefit from a mixture of NO_3^- and NH_4^+ (Britto and Kronzucker, 2002), although the optimal ratio and the concentration of N varies depending on the species and age of the plant, and pH of the growth

Muchos estudios han mostrado que las plantas se benefician con una mezcla de NO_3^- y NH_4^+ (Britto y Kronzucker, 2002), aunque la relación óptima y la concentración de N varía dependiendo de la especie y la edad de la planta, así como del pH del medio de crecimiento (Demsar y Osvald, 2003; Li *et al.*, 2003; Miller y Cramer, 2004).

El sinergismo entre NO_3^- y NH_4^+ puede explicarse por el posible papel del NO_3^- como una señal que estimula (u optimiza) una variedad de respuestas bioquímicas en las plantas (Tischner, 2000). De acuerdo con la revisión de Britto y Kronzucker (2002), una posibilidad es que la síntesis de citocinina es maximizada cuando NO_3^- y NH_4^+ son abastecidos en forma simultánea. Una más es que la alcalinización de la rizosfera resultado de la absorción de NO_3^- por las plantas puede limitar la acidificación asociada con la nutrición de NH_4^+ . Sin embargo, este efecto puede ser parcial o requerir una alta relación $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ en la solución nutritiva, ya que el NH_4^+ inhibe significativamente la absorción de NO_3^- , frecuentemente en más de 50 %, mientras que la absorción de NH_4^+ puede ser estimulada moderadamente por NO_3^- . Posiblemente la respuesta sinérgica más importante al suministrar NO_3^- y NH_4^+ se debe al mayor transporte de N hacia la parte aérea, tema de importancia agronómica, ya que el N almacenado en los tejidos de la parte aérea puede ser remobilizado durante el periodo crítico de llenado de grano y desarrollo del fruto, cuando el reparto de N vía raíces puede llegar a ser casi inexistente debido al inicio de la senescencia.

En varias investigaciones se ha utilizado la técnica de raíces separadas, la cual consiste en fraccionar en dos o más porciones al sistema radical de la planta, de tal manera que cada parte de la raíz pueda someterse a cambios en las condiciones del medio de crecimiento de forma independiente (Zhu y Ito, 2000; Flores *et al.*, 2002; Muholland *et al.*, 2002; Tabatabaie *et al.*, 2003). En cuanto al suministro de NO_3^- y NH_4^+ , se han realizado estudios aplicando la técnica de raíces separadas en soya y maíz (Chaillou *et al.*, 1994; Schortemeyer y Fiel, 1996), frijol (Guo *et al.*, 2001). En tomate los estudios de suministro de NO_3^- y NH_4^+ aplicando dicha técnica son escasos (Lu *et al.*, 2009). El objetivo de la presente investigación fue estudiar el efecto de las formas de N sobre el crecimiento y desarrollo de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) con raíces separadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

El experimento se realizó en un invernadero ubicado en el Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, Estado de México, México cuyas coordenadas geográficas son 19° 28' 05" latitud norte y 98° 54' 09" longitud oeste, a una altitud de 2,220 m. El invernadero utilizado es de tipo túnel con estructura de metal y cubierta de plástico, con malla anti-insecto en las paredes laterales y cubierta color negro sobre la superficie del suelo.

medium (Demsar and Osvald, 2003; Li *et al.*, 2003; Miller and Cramer, 2004).

The synergism between NO_3^- and NH_4^+ can be explained by the possible role of NO_3^- as a signal that stimulates (or optimizes) a variety of biochemical responses in plants (Tischner, 2000). According to the review of Britto and Kronzucker (2002), one possibility is that the synthesis of cytokinin is maximized when NO_3^- and NH_4^+ are supplied simultaneously. Another possibility is that rhizosphere alkalization, result of the uptake of NO_3^- by plants, can limit the acidification associated with the nutrition of NH_4^+ . However, this effect may be partially or require a high $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ ratio in the nutrient solution, since NH_4^+ significantly inhibits the absorption of NO_3^- , frequently more than 50 %, while the absorption of NH_4^+ can be moderately stimulated by NO_3^- . Probably the most important synergistic response by supplying NO_3^- and NH_4^+ is due to the greater transport of N to the shoot, subject of agronomic importance, since N stored in shoot tissues can be remobilized during the critical grain filling period and fruit development, when the distribution of N via roots can become almost non-existent due to the onset of senescence.

Several studies have used the technique of split roots, which consist of splitting into two or more portions the root system of the plant, so that each part of the root can be independently subjected to changes in the conditions of the growth medium (Zhu and Ito, 2000; Flores *et al.*, 2002; Muholland *et al.*, 2002; Tabatabaie *et al.*, 2003). As for the supply of NO_3^- and NH_4^+ , studies using the split root technique in soybeans and maize (Chaillou *et al.*, 1994; Schortemeyer and Fiel, 1996), and bean (Guo *et al.*, 2001) have been conducted. In the case of tomato, the studies of supplying NO_3^- and NH_4^+ using this technique are scarce (Lu *et al.*, 2009). The aim of this research was to study the effect of N forms on growth and development of tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.) with split roots.

MATERIALS AND METHODS

Experimental site

The experiment was conducted in a greenhouse located at Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados, Estado de México, Mexico, the geographical coordinates are 19° 28' 05" N and 98° 54' 09" W, at an altitude of 2,220 m. The tunnel greenhouse used had metal structure and plastic cover, with anti-insect mesh on the side walls and black cover on the soil surface.

Establishment of the experiment

Seeds of tomato hybrid Charleston were sown to obtain seedlings. We used polystyrene trays with 200 cavities and deposited a seed per cavity. The substrate for germination was peat moss. At 12 days after sowing, seedlings were re-

Establecimiento del experimento

Para la obtención de plántulas se sembraron semillas de tomate híbrido Charleston. Se utilizaron charolas de poliestireno de 200 cavidades y se depositó una semilla por cavidad. El sustrato utilizado para la germinación fue turba (peat moss). A los 12 días después de la siembra las plántulas se extrajeron de la charola con todo y cepellón, y se colocó cada plántula en un vaso de poliestireno número 18 con agrolita para favorecer un mayor crecimiento de raíces. Las plántulas permanecieron en los vasos durante 30 días aproximadamente. Posteriormente se trasplantaron en botes de plástico con capacidad de 19 litros cada uno. En el interior de cada bote se colocaron dos bolsas de polietileno color negro, llenas con tezontle y separadas por una lámina de plástico ubicada en la parte central. Se colocó una planta por cada bote con su respectiva separación de bolsas para llevar a cabo la división en el sistema radical. Las plantas fueron colocadas en la parte media de la unión de las bolsas ubicadas en el interior de cada bote, para lo cual el sistema radical de cada planta se separó en forma manual en dos porciones homogéneas, colocando una porción por sección. Las plantas se mantuvieron en posición vertical con hilos de rafia sujetas a una línea de alambre localizado sobre éstas.

Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos consistieron en cuatro relaciones de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ (12:agua, 9:3, 6:6 y agua:6 meq·litro⁻¹, respectivamente). Se suministró por separado cada componente de cada relación. Los tratamientos se distribuyeron completamente al azar con cinco repeticiones. La unidad experimental consistió de una planta con raíz separada colocada en un bote con capacidad de 19 litros conteniendo como sustrato tezontle.

Solución nutritiva

Se empleó una modificación de la solución universal de Steiner (1984) cuya composición base fue la siguiente: (meq·litro⁻¹): 12 NO_3^- , 1 H_2PO_4^- , 7 SO_4^{2-} , 7 K^+ , 4 Mg^{2+} y 9 Ca^{2+} . Para complementar la formulación se emplearon las fuentes de fertilizantes y cantidades que se especifican en los Cuadros 1 y 2, tomando en cuenta los aniones y cationes que proporciona el agua (meq·litro⁻¹), los cuales fueron para cationes 1.37, 0.14, 2.4, 1.07 y 0.01 para Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Na^+ y B, respectivamente, y para aniones, 0.01, 0.05, 0.92, 0.5 y 3.68 para NO_3^- , H_2PO_4^- , SO_4^{2-} , Cl^- y HCO_3^- , respectivamente. La conductividad eléctrica del agua fue de 0.4 dS·m⁻¹, pH de 7.59 y una presión osmótica de 0.14 atmósferas.

Como fuente de micronutrientes, en la solución nutritiva, se suministraron los siguientes fertilizantes (mg·litro⁻¹): Fe-Na-EDTA (13.3 % Fe), $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, H_3BO_3 , $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ y $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ a razón de 10, 2.5, 0.5, 2.5, 0.08 y 0.12, respectivamente. El potencial osmótico de las soluciones nutritivas se ajustó a 0.767 atmósferas. El pH se ajustó entre 5.8 y 6 con ácido sulfúrico.

moved from the tray, and each seedling was placed in a polystyrene cup (num. 18) with perlite to promote further growth of roots. Seedlings were kept in the cups for about 30 days. Subsequently, the seedlings were transplanted into plastic pots with capacity of 19 liters each. Inside each pot, two black polyethylene bags were placed and filled with volcanic rock and separated by a plastic sheet placed in the middle. We placed one plant per pot with its respective bags separation to carry out the division in the root system. The plants were placed in the middle part, where the plastic bags joined, located in the interior of each pot, to which the root system of each plant was manually separated into two homogeneous portions, placing a portion per section. The plants were kept in a vertical position using polyethylene yarns attached to a wire line located on the plants.

Treatments and experimental design

The treatments consisted of four $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ ratios (12:water, 9:3, 6:6 and water:6 meq·liter⁻¹, respectively). Each component of each ratio was added separately. The treatments were completely randomized with five replications. The experimental unit consisted of a plant with split roots placed in a pot with 19 liter capacity containing a red volcanic gravel locally known as tezontle as substrate.

Nutrient solution

A modification of the universal solution of Steiner (1984) was used, the base composition was as follows: (meq·liter⁻¹): 12 NO_3^- , 1 H_2PO_4^- , 7 SO_4^{2-} , 7 K^+ , 4 Mg^{2+} and 9 Ca^{2+} . To complete the formulation, we used the fertilizer sources and amounts specified in Tables 1 and 2, taking into account the anions and cations provided by the water (meq·liter⁻¹), which were for cations 1.37, 0.14, 2.4, 1.07 and 0.01 for Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Na^+ and B, respectively, and for anions, 0.01, 0.05, 0.92, 0.5 and 3.68 for NO_3^- , H_2PO_4^- , SO_4^{2-} , Cl^- and HCO_3^- , respectively. The electrical conductivity of the water was 0.4 dS·m⁻¹, pH of 7.59 and an osmotic pressure of 0.14 atmospheres.

As a source of micronutrients in the nutrient solution, the following fertilizers (mg·liter⁻¹) were provided: Fe-Na-EDTA (13.3 % Fe), $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, H_3BO_3 , $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ and $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ at rate of 10, 2.5, 0.5, 2.5, 0.08 and 0.12, respectively. The osmotic potential of the nutrient solution was adjusted to 0.767 atmospheres. The pH was adjusted between 5.8 and 6 with sulfuric acid.

Variables evaluated

During the growing season, the following response variables were quantified: plant height (cm), stem diameter (mm), root volume (ml) and length (cm). Volume was measured by means of the water displacement. Fruit yield per plant (kg) and post-harvest fruit quality were also quantified. For

CUADRO 1. Cantidad de fertilizante (mg·litro⁻¹) en la solución nutritiva para los tratamientos con NO₃⁻ evaluados en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) híbrido Charleston con raíces separadas.TABLE 1. Amount of fertilizer (mg·liter⁻¹) in the nutrient solution for treatments with NO₃⁻ evaluated in tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.) hybrid Charleston with split roots.

12 meq·litro ⁻¹ de NO ₃ ⁻ / meq·liter ⁻¹ of NO ₃ ⁻		9 meq·litro ⁻¹ de NO ₃ ⁻ / meq·liter ⁻¹ of NO ₃ ⁻		6 meq·litro ⁻¹ de NO ₃ ⁻ / meq·liter ⁻¹ of NO ₃ ⁻	
Fuente / Source	Cantidad / Amount	Fuente / Source	Cantidad / Amount	Fuente / Source	Cantidad / Amount
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	900.95	Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	952.91	Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	780.86
HNO ₃	0.125 ml·litro ⁻¹ / ml·liter ⁻¹	HNO ₃	0.086 ml·litro ⁻¹ / ml·liter ⁻¹	Ca(H ₂ PO ₄) ₂	123.40
KNO ₃	240.64	K ₂ SO ₄	627.41	CaSO ₄	76.79
K ₂ SO ₄	390.39	MgSO ₄ ·7H ₂ O	221.83	K ₂ SO ₄	661.39
MgSO ₄ ·7H ₂ O	197.18	H ₃ PO ₄	0.02 ml·litro ⁻¹ / ml·liter ⁻¹	MgSO ₄ ·7H ₂ O	247.71
H ₃ PO ₄	0.018 ml·litro ⁻¹ / ml·liter ⁻¹	H ₂ SO ₄	0.04 ml·litro ⁻¹ / ml·liter ⁻¹	H ₂ SO ₄	0.11 ml·litro ⁻¹ / ml·liter ⁻¹

CUADRO 2. Cantidad de fertilizante (mg·litro⁻¹) en la solución nutritiva para los tratamientos con NH₄⁺ evaluados en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) híbrido Charleston con raíces separadas.TABLE 2. Amount of fertilizer (mg·liter⁻¹) in the nutrient solution for treatments with NH₄⁺ evaluated in tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.) hybrid Charleston with split roots.

6 meq·litro ⁻¹ de NH ₄ ⁺ / meq·liter ⁻¹ of NH ₄ ⁺		3 meq·litro ⁻¹ de NH ₄ ⁺ / meq·liter ⁻¹ of NH ₄ ⁺	
Fuente / Source	Cantidad / Amount	Fuente / Source	Cantidad / Amount
(NH ₄) ₂ SO ₄	364.05	(NH ₄) ₂ SO ₄	209.44
Ca(OH) ₂	204.43	Ca(OH) ₂	244.76
Ca(H ₂ PO ₄) ₂	102.35	Ca(H ₂ PO ₄) ₂	118.72
CaCl ₂	27.75	CaCl ₂	27.75
K ₂ SO ₄	548.11	K ₂ SO ₄	631.77
MgSO ₄ ·7H ₂ O	156.51	MgSO ₄ ·7H ₂ O	224.30
H ₂ SO ₄	0.22 ml·litro ⁻¹ / ml·liter ⁻¹	H ₂ SO ₄	0.25 ml·litro ⁻¹ / ml·liter ⁻¹

Variables evaluadas

Durante el desarrollo del cultivo se cuantificaron las siguientes variables de respuesta: altura de planta (cm), diámetro de tallo (mm), longitud (cm) y volumen de raíz (ml). El volumen se determinó mediante el desplazamiento de agua. También se cuantificó el rendimiento de frutos por planta (kg) y la calidad postcosecha de los frutos. Para esta última los frutos de tomate fueron cosechados en madurez comercial (color rojo homogéneo) y se les realizaron mediciones de diámetro polar y ecuatorial (mm), acidez titula-

post-harvest fruit quality, tomato fruits were harvested at commercial maturity (red color) and measurements of polar and equatorial diameter (mm), titratable acidity (% of citric acid), concentration of total soluble solids (°Brix) and shelf life (days) were performed. Titratable acidity was quantified by neutralizing 10 ml of tomato juice with NaOH 0.01 N, for which we used phenolphthalein as indicator. Total soluble solids were determined with a manual handheld refractometer (Atago N-1α). Shelf life was quantified from harvest until the moment when the fruit showed corrugations in the epicarp, at room temperature.

ble (% de ácido cítrico), concentración de sólidos solubles totales (°Brix) y vida de anaquel (días). La acidez titulable se cuantificó neutralizando 10 ml de jugo de tomate con NaOH 0.01 N para lo cual se utilizó fenoltaleína como indicador. Los sólidos solubles totales se determinaron con un refractómetro manual (Atago N-1α). La vida de anaquel se cuantificó desde la cosecha hasta que el fruto presentó co-rugaciones en su epicarpio, a temperatura ambiente.

Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos consistió en un análisis de varianza y prueba de comparación de medias (Tukey, $P \leq 0.05$) efectuados con el programa estadístico Statistical Analysis System.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura de planta y diámetro de tallo

De acuerdo al análisis de varianza, las relaciones $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ sólo tuvieron efecto significativo ($P \leq 0.05$) en altura de planta a partir de los 43 y hasta los 60 días después del trasplante (ddt). En la Figura 1 se observa que a los 43, 55 y 60 ddt se presentó la misma tendencia de la altura de planta para las diferentes relaciones $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$.

Las plantas tratadas con la relación agua:6 meq-litro⁻¹ NH_4^+ presentaron menor altura, mientras que las plantas con mayor altura fueron las expuestas a la relación 6 meq-litro⁻¹ NO_3^- :6 meq-litro⁻¹ NH_4^+ , seguidas por las que se trataron con la relación 9 meq-litro⁻¹ NO_3^- :3 meq-litro⁻¹ NH_4^+ y la relación 12 meq-litro⁻¹ NO_3^- :agua. A los 60 ddt la mayor altura (143.20 cm) se tuvo con la relación 6 meq-litro⁻¹ NO_3^- :6 meq-litro⁻¹ NH_4^+ , seguido de 9 meq-litro⁻¹ NO_3^- :3 meq-litro⁻¹ NH_4^+ , 12 meq-litro⁻¹ NO_3^- :agua y agua:6 meq-litro⁻¹ NH_4^+ con 138.00, 132.20 y 119.20 cm, respectivamente. Al respecto, Sandoval-Villa *et al.* (2001), en un estudio con plantas de tomate cultivadas en lana de roca en condiciones de invernadero, evaluaron el efecto del suministro de cinco relaciones $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ (0:100, 10:90, 20:80, 30:70 y 40:60) en los estados vegetativo, vegetativo + floración, floración + fructificación, fructificación y en el ciclo completo, y encontraron que la concentración de NH_4^+ en la solución no afectó la altura de planta.

De acuerdo al análisis de varianza, las relaciones $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ tuvieron efecto significativo ($P \leq 0.05$) en diámetro de tallo a partir de los 36 ddt hasta el final del ciclo del cultivo (136 ddt). En este periodo se realizaron mediciones a los 36, 43, 60, 70, 91 y 136 ddt, en las cuales las plantas tratadas con la relación 9 meq-litro⁻¹ NO_3^- :3 meq-litro⁻¹ NH_4^+ presentaron el mayor diámetro (9.39, 10.49, 10.61, 10.54, 11.09 y 12.01 mm, respectivamente), en contraste con las que se trataron con la relación agua:6 meq-litro⁻¹ NH_4^+ , las cuales mostraron el valor más bajo durante el ciclo del cultivo, a partir de los 36 ddt (8.02, 7.85, 9.3, 8.98, 9.14 y 9.66 mm, respectivamente) (Figura 2).

Statistical analysis

The data statistical analysis consisted of an analysis of variance and mean comparison test (Tukey, $P \leq 0.05$) performed with the Statistical Analysis System.

RESULTS AND DISCUSSION

Plant height and stem diameter

According to the analysis of variance, $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ ratios had only significant effect ($P \leq 0.05$) on plant height from 43 until 60 days after transplanting (dat). Figure 1 shows that at 43, 55 and 60 dat the same trend of plant height was observed for the different $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ ratios.

Plants treated with the ratio water:6 meq-liter⁻¹ NH_4^+ had lower height, while plants with greater height were exposed to the ratio 6 meq-liter⁻¹ NO_3^- :6 meq-liter⁻¹ NH_4^+ , followed by those treated with the ratio 9 meq-liter⁻¹ NO_3^- :3 meq-liter⁻¹ NH_4^+ and the ratio 12 meq-liter⁻¹ NO_3^- :water. At 60 dat, the greatest height (143.20 cm) was obtained with the ratio 6 meq-liter⁻¹ NO_3^- :6 meq-liter⁻¹ NH_4^+ , followed by 9 meq-liter⁻¹ NO_3^- :3 meq-liter⁻¹ NH_4^+ , 12 meq-liter⁻¹ NO_3^- :water and water:6 meq-liter⁻¹ NH_4^+ with 138.00, 132.20 and 119.20 cm, respectively. In this regard, Sandoval-Villa *et al.* (2001), in a study with tomato plants grown in rockwool under greenhouse conditions, evaluated the effect of supplying five $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ ratios (0:100, 10:90, 20:80, 30:70 and 40:60) in the stages: vegetative, vegetative + flowering, flowering + fruiting, fruiting and the whole cycle, and found that the concentration of NH_4^+ in the solution did not affect plant height.

According to the analysis of variance, $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ ratios had significant effect ($P \leq 0.05$) on stem diameter from 36 dat until the end of the crop cycle (136 dat). In this period, measurements at 36, 43, 60, 70, 91 and 136 dat were performed, in which the plants treated with the ratio 9 meq-liter⁻¹ NO_3^- :3 meq-liter⁻¹ NH_4^+ showed the largest diameter (9.39, 10.49, 10.61, 10.54, 11.09 and 12.01 mm, respectively), in contrast to those treated with the ratio water:6 meq-liter⁻¹ NH_4^+ , which showed the lowest value during the crop cycle, from 36 dat (8.02, 7.85, 9.3, 8.98, 9.14 and 9.66 mm, respectively) (Figure 2).

Root volume and length

$\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ ratios had significant effect ($P \leq 0.05$) on root volume, but had no effect on root length. The portions of roots grown in solution with 12, 9 and 6 meq-liter⁻¹ of NO_3^- were statistically equal in volume (123.2, 86.8 and 95.8 ml, respectively) and surpassed the root portion that grew only with water (32.4 ml). Similar behavior had the portions grown in NH_4^+ with 3 meq-liter⁻¹ (116 ml) and 6 meq-liter⁻¹ (102 and 112.6 ml, in ratios combined with 6 meq-liter⁻¹ NO_3^- and water respectively) by showing statistically equal values while the lowest value was for the portion treated with water (26 ml) (Figure 3).

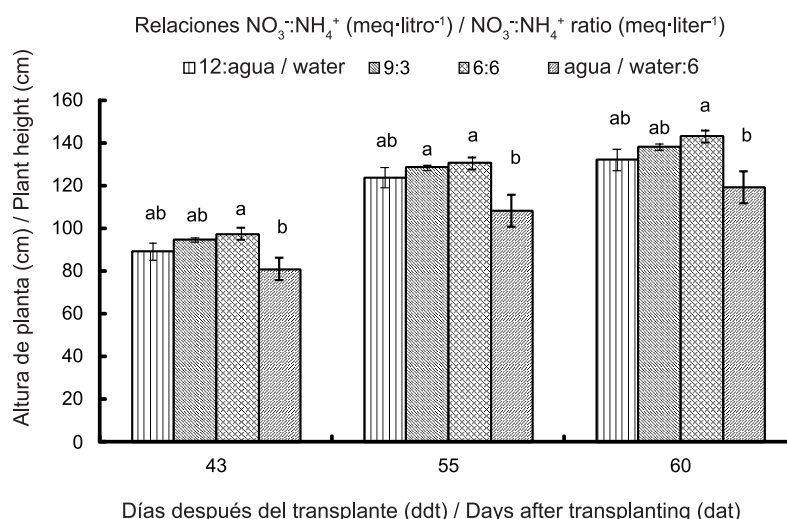


FIGURA 1. Efecto de la relación $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ sobre la altura de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) híbrido Charleston con raíces separadas en cultivo hidropónico en tezontle. Los datos son medias $\pm$ error estándar ($n = 5$). Medias con letras distintas, en cada muestreo, indican diferencias significativas (Tukey, $P \leq 0.05$).

FIGURE 1. Effect of $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ ratio on height of tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.) hybrid Charleston with split roots in hydroponics using tezontle. Data are means $\pm$ standard error ($n = 5$). Means with different letters in each sampling indicate significant differences (Tukey, $P \leq 0.05$).

Longitud y volumen radical

Las relaciones $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ tuvieron efecto significativo ($P \leq 0.05$) en volumen de raíz pero no para la variable longitud de raíz. Las porciones de raíz crecidas en solución con 12, 9 y 6 meq·litro⁻¹ de NO_3^- fueron estadísticamente iguales en volumen (123.2, 86.8 y 95.8 ml, respectivamente) y superaron a la porción de raíz que creció sólo con agua (32.4 ml). Comportamiento similar presentaron las porciones crecidas en NH_4^+ con 3 meq·litro⁻¹ (116 ml) y 6 meq·litro⁻¹ (102 y 112.6 ml, en las relaciones combinadas con 6 meq·litro⁻¹ NO_3^- y agua respectivamente) al mostrar valores estadísticamente iguales mientras que el valor más bajo se tuvo con la porción tratada con agua (26 ml) (Figura 3).

Al respecto, Guo *et al.* (2001) al realizar un estudio en *Phaseolus vulgaris* L., cultivado en sistema de raíces separadas utilizando en la solución nutritiva 5 mM de N (NO_3^- o NH_4^+ como fuentes), encontraron que las raíces crecidas en la porción con solución de NO_3^- presentaron mayor desarrollo por lo que produjeron más del doble de materia seca comparadas con las que fueron abastecidas con NH_4^+ . Estos resultados pueden deberse a que el NH_4^+ inhibe el crecimiento de las raíces, probablemente por la acidificación del medio relacionado con la constante absorción de cationes (Magalhaes y Huber, 1989).

Lu *et al.* (2009), al trabajar con plántulas de tomate con raíces separadas y tres tratamientos en los que se suministró

In this regard, Guo *et al.* (2001) when conducting a study in *Phaseolus vulgaris* L., grown in split root system using in the nutrient solution 5 mM of N (NO_3^- o NH_4^+ as sources), found that the roots treated with the solution NO_3^- had further development, and produced more than twice dry matter compared to those that were supplied with NH_4^+ . These results may be because NH_4^+ inhibits root growth, probably by medium acidification associated with the constant absorption of cations (Magalhaes and Huber, 1989).

Lu *et al.* (2009), when working with tomato seedlings with split roots and three treatments supplying a total of 5 mM of N applying only NO_3^- (N/N), providing separately NO_3^- and NH_4^+ (N/A) and providing separately NO_3^- and a mixture of 75 % NO_3^- plus 25 % NH_4^+ (N/NA), found that length, diameter, area and volume of the roots supplied with NH_4^+ in the treatment N/A were lower than the values of the roots of treatment N/N. In contrast, root growth supplied with NO_3^- in the same treatment (N/A) was significantly stimulated in the values of these variables of response compared with the values of treatment N/N. Furthermore, comparing the values of these variables supplied with NO_3^- and NH_4^+ in the same treatment (N/A) the portion treated with NH_4^+ had significantly lower values than those treated with NO_3^- .

Fruit quality and yield

$\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ ratios showed significant effects ($P \leq 0.05$) in yield and fruit diameter (polar and equatorial). Fruit yield

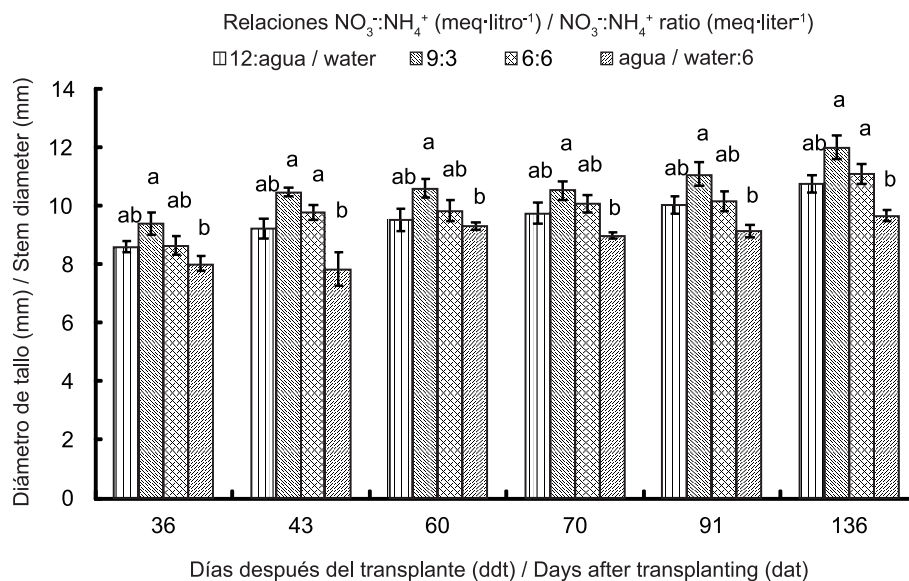


FIGURA 2. Efecto de la relación $\text{NO}_3:\text{NH}_4^+$ sobre el diámetro de tallo en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) híbrido Charleston con raíces separadas en cultivo hidropónico en tezontle. Los datos son medias $\pm$ error estándar ($n = 5$). Medias con letras distintas, en cada muestreo, indican diferencias significativas (Tukey, $P \leq 0.05$).

FIGURE 2. Effect of $\text{NO}_3:\text{NH}_4^+$ ratio on stem diameter in tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.) hybrid Charleston with split roots in hydroponics using tezontle. Data are means $\pm$ standard error ($n = 5$). Means with different letters in each sampling indicate significant differences (Tukey, $P \leq 0.05$).

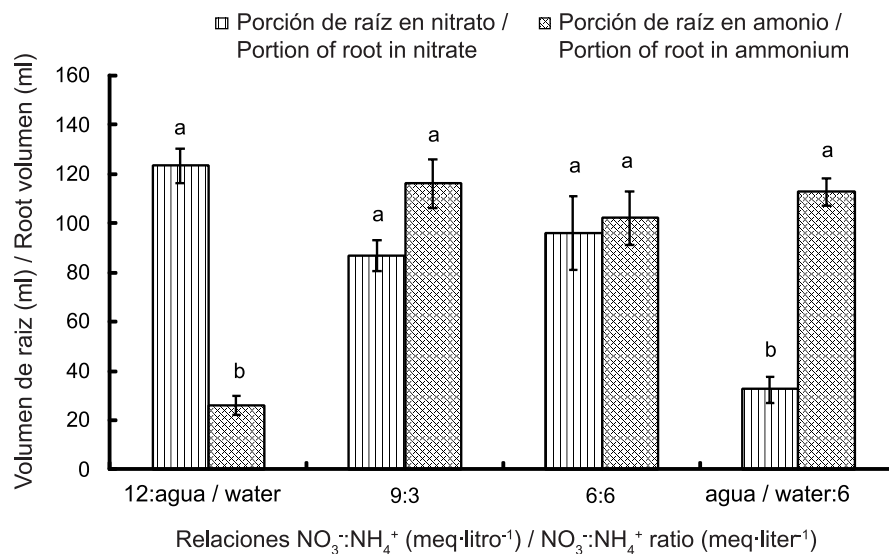


FIGURA 3. Efecto de la relación $\text{NO}_3:\text{NH}_4^+$ sobre el volumen de raíz de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) híbrido Charleston con raíces separadas en cultivo hidropónico en tezontle. Los datos son medias $\pm$ error estándar ($n = 5$). Medias con letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $P \leq 0.05$).

FIGURE 3. Effect of $\text{NO}_3:\text{NH}_4^+$ ratio on root volume in tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.) hybrid Charleston with split roots in hydroponics using tezontle. Data are means $\pm$ standard error ($n = 5$). Means with different letters in each treatment indicate significant differences (Tukey, $P \leq 0.05$).

en total 5 mM de N -aplicando sólo NO_3^- (N/N), proporcionando por separado NO_3^- y NH_4^+ (N/A) y, proveyendo por separado NO_3^- y una mezcla de 75 % de NO_3^- más 25 % de NH_4^+ (N/NA)-, encontraron que la longitud, diámetro, superficie y volumen de las raíces abastecidas con NH_4^+ en el tratamiento N/A fueron inferiores a los valores correspondientes de las raíces del tratamiento N/N. En contraste, el crecimiento de raíces suministradas con NO_3^- , en el mismo tratamiento (N/A), fue estimulado significativamente en los valores de dichas variables de respuesta comparada con los valores del tratamiento N/N. Además, comparando los valores de dichas variables abastecidas con NO_3^- y NH_4^+ en el mismo tratamiento (N/A) se tuvo que la porción que se trató con NH_4^+ presentó valores considerablemente más bajos que aquellas que se trataron con NO_3^- .

Rendimiento y calidad de fruto

Las relaciones $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ tuvieron efectos significativos ($P \leq 0.05$) en rendimiento y diámetro de fruto (polar y ecuatorial). El rendimiento de fruto por planta se consideró al sexto racimo, después de éste la planta fue podada.

Para obtener más altos rendimientos de tomate, las concentraciones óptimas de N- NH_4^+ en cultivo hidropónico deben estar alrededor de 25 a 30 % del N total en la solución (Hartman *et al.*, 1986). En el presente estudio el mayor rendimiento de fruto (5.41 kg-planta⁻¹) se tuvo en plantas tratadas con la relación 9 meq-litro⁻¹ NO_3^- :3 meq-litro⁻¹ NH_4^+ y el menor (3.03 kg-planta⁻¹) con la relación agua:6 meq-litro⁻¹ NH_4^+ , mientras que las tratadas con las relaciones 12 meq-litro⁻¹ NO_3^- :agua y 6 meq-litro⁻¹ NO_3^- :6 meq-litro⁻¹ NH_4^+ presentaron rendimientos intermedios con 4.26 y 4.79 kg-planta⁻¹, respectivamente (Figura 4). Lo anterior contrasta con lo reportado por Sandoval-Villa *et al.* (2001), quienes, en un estudio con plantas de tomate cultivadas en lana de roca en condiciones de invernadero, evaluaron el efecto del suministro de 5 relaciones $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ (0:100, 10:90, 20:80, 30:70 y 40:60) en los estados vegetativo, vegetativo + floración, floración + fructificación, fructificación y en el ciclo completo, y obtuvieron que la concentración de NH_4^+ en la solución y el periodo de abastecimiento no afectó el rendimiento de frutos.

Bialczyk *et al.* (2007), al trabajar con cultivo hidropónico de tomate bajo invernadero, encontraron que las plantas cultivadas en un medio con NH_4^+ disminuyeron su rendimiento comparadas con las que se desarrollaron en un medio con NO_3^- . Además, con un suministro de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ a una relación 4:1 el rendimiento se incrementó en 20 % en comparación con las plantas que sólo se les suministró NO_3^- .

En cuanto a diámetro polar y ecuatorial de los frutos, éstos tuvieron valores estadísticamente iguales y superiores cuando las plantas se trataron con las relaciones 9 meq-litro⁻¹ NO_3^- :3 meq-litro⁻¹ NH_4^+ (57.18 y 66.3 mm, diámetro polar y

per plant considered up to the sixth cluster, thereafter the plant was pruned.

To obtain higher tomato yields, the optimum concentrations of N- NH_4^+ in hydroponics should be around 25-30 % of total N in the solution (Hartman *et al.*, 1986). In this study the highest fruit yield (5.41 kg-plant⁻¹) was for plants treated with the ratio 9 meq-liter⁻¹ NO_3^- :3 meq-liter⁻¹ NH_4^+ and the lowest (3.03 kg-plant⁻¹) for plants treated with water:6 meq-liter⁻¹ NH_4^+ , while those treated with the ratios 12 meq-liter⁻¹ NO_3^- :water and 6 meq-liter⁻¹ NO_3^- :6 meq-liter⁻¹ NH_4^+ showed intermediate yields with 4.26 and 4.79 kg-plant⁻¹, respectively (Figure 4). This contrasts with that reported by Sandoval-Villa *et al.* (2001), who, in a study with tomato plants grown in rockwool under greenhouse conditions, evaluated the effect of the supply of 5 $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ (0:100, 10:90, 20:80, 30:70 and 40:60) ratios in vegetative, vegetative + flowering, flowering + fruiting, fruiting stages and the whole cycle, and showed that the concentration of NH_4^+ in the solution and the period of supply did not affect fruit yield.

Bialczyk *et al.* (2007), when working with hydroponic tomato grown under greenhouse conditions, found that plants grown in an environment with NH_4^+ decreased the yield compared to those developed with NO_3^- . Furthermore, with a supply of $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ to a ratio 4:1 the yield increased by 20 % compared to plants that received only NO_3^- .

As for polar and equatorial fruit diameter, the values were statistically similar and higher when plants were treated with the ratios 9 meq-liter⁻¹ NO_3^- :3 meq-liter⁻¹ NH_4^+ (57.18 and 66.3 mm, polar diameter and equatorial respectively) and 6 meq-liter⁻¹ NO_3^- :6 meq-liter⁻¹ NH_4^+ (58.51 and 67.08 mm, polar diameter and equatorial respectively). Lower polar and equatorial diameter values were observed in the treatment water:6 meq-liter⁻¹ NH_4^+ (53.65 and 61.49 mm, respectively) (Figure 5).

$\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ ratios showed no significant effect ($P \leq 0.05$) on the percentage of titratable acidity in fruits. However, the concentration of total soluble solids had significant effects. According to the Tukey test ($P \leq 0.05$) the higher content of total soluble solids read as °Brix was shown in fruits of plants treated with the ratio water:6 meq-liter⁻¹ NH_4^+ (5.43 °Brix) and the low values were observed in the ratios 9 meq-liter⁻¹ NO_3^- :3 meq-liter⁻¹ NH_4^+ and 6 meq-liter⁻¹ NO_3^- :6 meq-liter⁻¹ NH_4^+ (4.97 and 4.96 °Brix, respectively) (Figure 6). Siddiqi *et al.* (2002) indicate that the flavor and aroma of tomato fruits, based on a blind taste test, improves when it is used as a source of ammonium nitrogen fertilizers. Furthermore, they mention that the improvement may be due to high levels of glutamine and glutamate in tomato tissues.

The flavor of the tomato fruit is extremely complex. A high proportion of sugars and acids, and more than 200 volatile compounds have been identified, but it is unclear how

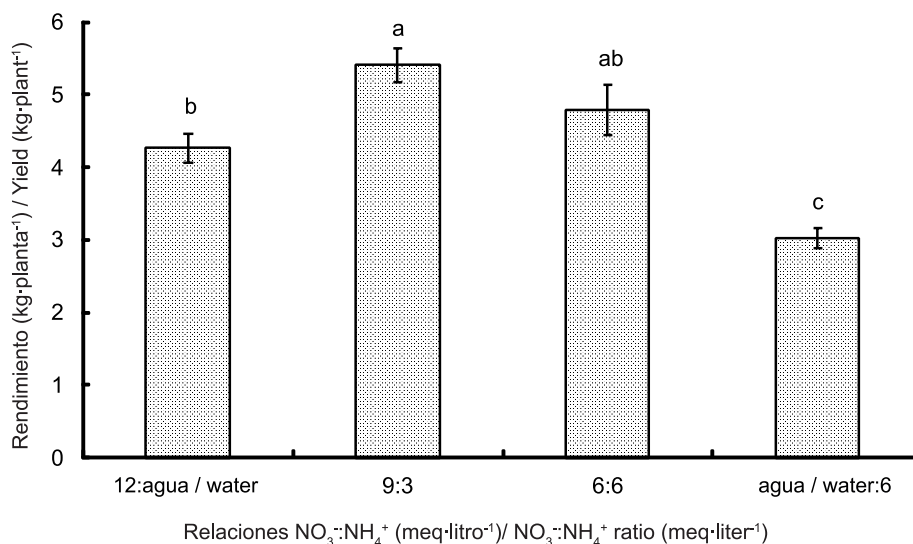


FIGURA 4. Efecto de la relación $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ sobre el rendimiento de fruto en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) híbrido Charleston con raíces separadas en cultivo hidropónico en tezontle. Los datos son medias $\pm$ error estándar ($n = 5$). Medias con letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $P \leq 0.05$).

FIGURE 4. Effect of $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ ratio on fruit yield in tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.) hybrid Charleston with split roots in hydroponics using tezontle. Data are means $\pm$ standard error ($n = 5$). Means with different letters in each treatment indicate significant differences (Tukey, $P \leq 0.05$).

ecuatorial respectivamente) y 6 meq·litro⁻¹ $\text{NO}_3^-:6$ meq·litro⁻¹ NH_4^+ (58.51 y 67.08 mm, diámetro polar y ecuatorial respectivamente). Los valores más bajos de diámetro polar y ecuatorial se tuvieron con el tratamiento agua:6 meq·litro⁻¹ NH_4^+ (53.65 y 61.49 mm, respectivamente) (Figura 5).

La relaciones $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ no tuvieron efecto significativo ($P \leq 0.05$) en el porcentaje de acidez titulable en los frutos. Sin embargo, sí se tuvieron efectos significativos en la concentración de sólidos solubles totales. Según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) el mayor contenido de sólidos solubles totales expresado en °Brix se obtuvo en frutos de plantas tratadas con la relación agua:6 meq·litro⁻¹ NH_4^+ (5.43 °Brix) y los valores bajos se observaron para las relaciones 9 meq·litro⁻¹ $\text{NO}_3^-:3$ meq·litro⁻¹ NH_4^+ y 6 meq·litro⁻¹ $\text{NO}_3^-:6$ meq·litro⁻¹ NH_4^+ (4.97 y 4.96 °Brix, respectivamente) (Figura 6). Siddiqi *et al.* (2002) señalan que el sabor y aroma de los frutos de tomate, con base en una prueba sensorial ciega, mejora cuando se usa como fuente de nitrógeno fertilizantes amoniacales. Además, mencionan que la mejora puede deberse a elevados niveles de glutamina y glutamato en los tejidos de tomate.

El sabor del fruto de tomate es extremadamente complejo. Una alta proporción de azúcares y ácidos, y más de 200 componentes volátiles han sido identificados, pero no está claro cómo y en qué magnitud de ellos contribuyen al sabor y al

and to what extent they contribute to the flavor and aroma (Stevens and Rick 1986; Malundo *et al.*, 1995). The sweetness is usually correlated with total soluble solids and sugar content, mainly fructose and glucose. The acidity has been correlated to pH and titratable acidity, mainly citric acid and malate (Auerswald *et al.*, 1999).

Concentrations of total soluble solids in fruits of plants treated with the ratios tested were in the optimum range of flavor 5.03, 4.97, 4.96 and 5.43 °Brix in the case of 12 meq·liter⁻¹ $\text{NO}_3^-:$ water, 9 meq·liter⁻¹ $\text{NO}_3^-:3$ meq·liter⁻¹ NH_4^+ , 6 meq·liter⁻¹ $\text{NO}_3^-:6$ meq·liter⁻¹ NH_4^+ and water:6 meq·liter⁻¹ NH_4^+ , respectively) according to Aguayo and Artés (2004), who point out that tomatoes should have a total soluble solids content of between 4 and 6 °Brix to have an optimal aroma and flavor.

Shelf life

$\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ ratios had significant effect ($P \leq 0.05$) on shelf life of fruits. Plants treated with 12 meq·liter⁻¹ $\text{NO}_3^-:$ water and 9 meq·liter⁻¹ $\text{NO}_3^-:3$ meq·liter⁻¹ NH_4^+ produced longer shelf life fruits (33.4 and 33.8 days, respectively) and were statistically equal to each other. But, those treated with ratios 6 meq·liter⁻¹ $\text{NO}_3^-:6$ meq·liter⁻¹ NH_4^+ and water:6 meq·liter⁻¹ NH_4^+ , had lower shelf life fruits (25.6 and 26.8 days, respectively), which were statistically similar (Figure 7).

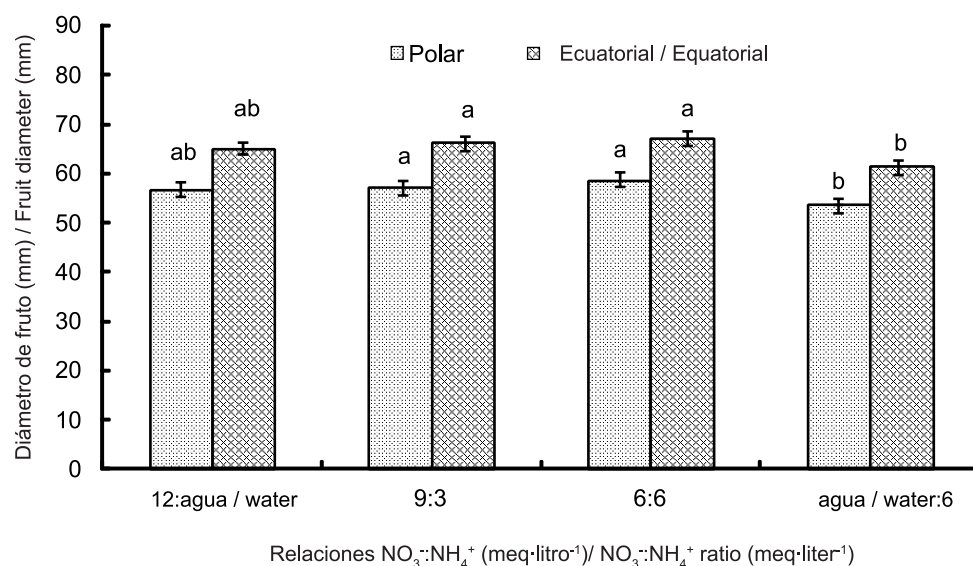


FIGURA 5. Efecto de la relación $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ sobre el diámetro polar y ecuatorial en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) híbrido Charleston con raíces separadas en cultivo hidropónico en tezontle. Los datos son medias $\pm$ error estándar (n = 5). Medias con letras distintas, en cada variable, indican diferencias significativas (Tukey, $P \leq 0.05$).

FIGURE 5. Effect of $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ ratio on polar and equatorial diameter in tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.) hybrid Charleston with split roots in hydroponics using tezontle. Data are means $\pm$ standard error (n = 5). Means with different letters in each treatment indicate significant differences (Tukey, $P \leq 0.05$).

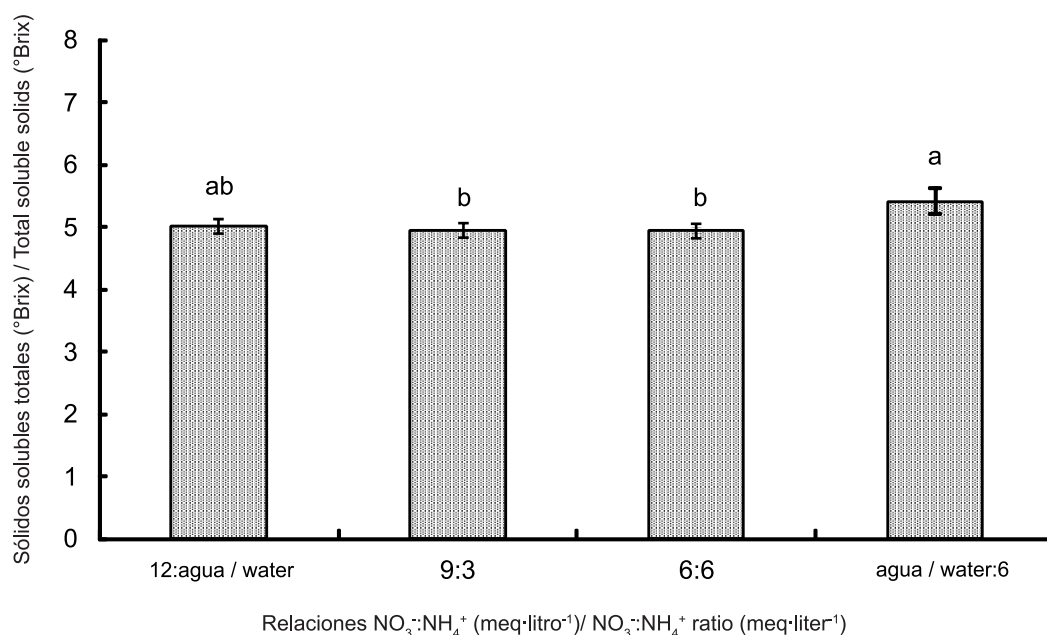


FIGURA 6. Efecto de la relación $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ sobre los sólidos solubles totales en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) híbrido Charleston con raíces separadas en cultivo hidropónico en tezontle. Los datos son medias $\pm$ error estándar (n = 5). Medias con letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $P \leq 0.05$).

FIGURE 6. Effect of $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ ratio on total soluble solids in tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.) hybrid Charleston with split roots in hydroponics using tezontle. Data are means $\pm$ standard error (n = 5). Means with different letters in each treatment indicate significant differences (Tukey, $P \leq 0.05$).

aroma (Stevens y Rick 1986; Malundo *et al.*, 1995). La dulzura es usualmente correlacionada con los sólidos solubles totales y el contenido de azúcar, principalmente fructosa y glucosa. La acidez ha sido correlacionada al pH y acidez titulable, principalmente ácido cítrico y malato (Auerswald *et al.*, 1999).

Villarreal *et al.* (2002), when studied nine treatments (three $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ ratios and three development stages of tomato crop with $250 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ of N, and an equivalent control to $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ of N was included), determined that the $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ ratios used at different stages of crop development did not significantly influence the shelf life (0-20 days).

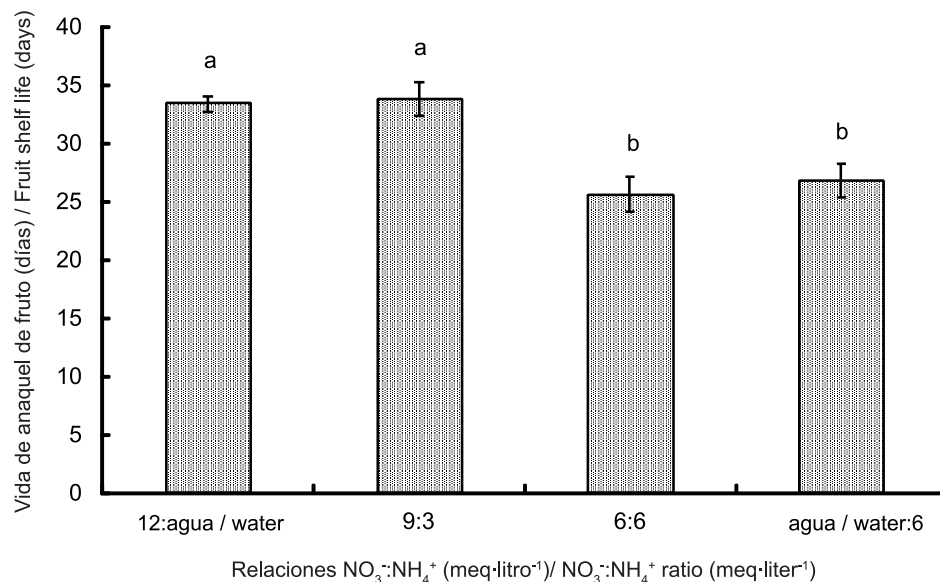


FIGURA 7. Efecto de la relación $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ sobre la vida de anaquel de frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) híbrido Charleston con raíces separadas en cultivo hidropónico en tezontle. Los datos son medias $\pm$ error estándar ($n = 5$). Medias con letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $P \leq 0.05$).

FIGURE 7. Effect of $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ ratio on shelf life of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruits hybrid Charleston with split roots in hydroponics using tezontle. Data are means $\pm$ standard error ($n = 5$). Means with different letters in each treatment indicate significant differences (Tukey, $P \leq 0.05$).

Las concentraciones de sólidos solubles totales en los frutos de las plantas tratadas con las relaciones evaluadas estuvieron en el rango óptimo de sabor (5.03, 4.97, 4.96 y 5.43°Brix en el caso de $12 \text{ meq}\cdot\text{litr}^{-1} \text{ NO}_3^-:\text{agua}$, $9 \text{ meq}\cdot\text{litr}^{-1} \text{ NO}_3^-:3 \text{ meq}\cdot\text{litr}^{-1} \text{ NH}_4^+$, $6 \text{ meq}\cdot\text{litr}^{-1} \text{ NO}_3^-:6 \text{ meq}\cdot\text{litr}^{-1} \text{ NH}_4^+$ y $\text{agua}:6 \text{ meq}\cdot\text{litr}^{-1} \text{ NH}_4^+$, respectivamente) de acuerdo con Aguayo y Artés (2004) quienes señalan que los tomates deben tener un contenido en sólidos solubles totales de entre 4 y 6°Brix para tener un aroma y sabor óptimos,

Vida de anaquel

Las relaciones $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ tuvieron efecto significativo ($P \leq 0.05$) en la vida de anaquel de los frutos. Las plantas que se trataron con las relaciones $12 \text{ meq}\cdot\text{litr}^{-1} \text{ NO}_3^-:\text{agua}$ y $9 \text{ meq}\cdot\text{litr}^{-1} \text{ NO}_3^-:3 \text{ meq}\cdot\text{litr}^{-1} \text{ NH}_4^+$ produjeron frutos de mayor vida de anaquel (33.4 y 33.8 días, respectivamente), y fueron estadísticamente iguales entre sí. En tanto las que se trataron con las relaciones $6 \text{ meq}\cdot\text{litr}^{-1} \text{ NO}_3^-:6 \text{ meq}\cdot\text{litr}^{-1} \text{ NH}_4^+$ y $\text{agua}:6 \text{ meq}\cdot\text{litr}^{-1} \text{ NH}_4^+$, presentaron frutos con menor vida de anaquel (25.6 y 26.8 días,

CONCLUSIONS

The tallest plants and the largest polar and equatorial diameters were obtained when the sources of N (NO_3^- and NH_4^+) were in equal proportion ($6 \text{ meq}\cdot\text{litr}^{-1} \text{ NO}_3^-:6 \text{ meq}\cdot\text{litr}^{-1} \text{ NH}_4^+$) in the growth medium.

The highest yield of fruits per plant was obtained with the ratio $9 \text{ meq}\cdot\text{litr}^{-1} \text{ NO}_3^-:3 \text{ meq}\cdot\text{litr}^{-1} \text{ NH}_4^+$, treatment that had also the highest stem diameter.

$\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ ratios in which water participates increased total soluble solids, and corresponded to the high concentrations of NO_3^- and NH_4^+ (12 and $6 \text{ meq}\cdot\text{litr}^{-1}$, respectively), while the plants treated with ratios $12 \text{ meq}\cdot\text{litr}^{-1} \text{ NO}_3^-:\text{water}$ and $9 \text{ meq}\cdot\text{litr}^{-1} \text{ NO}_3^-:3 \text{ meq}\cdot\text{litr}^{-1} \text{ NH}_4^+$ produced longer shelf life fruits.

$\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ ratios had no significant effect on the percentage of titratable acidity in fruits and root length.

End of English Version

respectivamente), que fueron estadísticamente iguales (Figura 7).

Las plantas tratadas con la relación 9 meq·litro⁻¹ NO₃⁻:3 meq·litro⁻¹ NH₄⁺ superaron en 32 % (8.2 días) a las que se trataron con 6 meq·litro⁻¹ NO₃⁻:6 meq·litro⁻¹ NH₄⁺. Villarreal *et al.* (2002), al estudiar nueve tratamientos (tres relaciones NH₄⁺:NO₃⁻ y tres etapas de desarrollo del cultivo de tomate, con 250 kg·ha⁻¹ de N; además se incluyó un testigo equivalente a 450 kg·ha⁻¹ de N), determinaron que las proporciones NH₄⁺:NO₃⁻ empleadas en las distintas etapas de desarrollo del cultivo, no influyeron significativamente en la vida de anaquel (0 a 20 días).

CONCLUSIONES

La mayor altura de planta y los mayores diámetros polar y ecuatorial se tuvieron cuando las fuentes de N (NO₃⁻ y NH₄⁺) estuvieron en igual proporción (6 meq·litro⁻¹ NO₃⁻:6 meq·litro⁻¹ NH₄⁺) en el medio de crecimiento.

El mayor rendimiento de frutos por planta se obtuvo con la relación 9 meq·litro⁻¹ NO₃⁻:3 meq·litro⁻¹ NH₄⁺, tratamiento que presentó también el mayor diámetro de tallo.

Las relaciones NO₃⁻:NH₄⁺ en las que participa el agua incrementaron los sólidos solubles totales, y correspondieron a las concentraciones altas de NO₃⁻ y NH₄⁺ (12 y 6 meq·litro⁻¹, respectivamente), mientras que las plantas tratadas con las relaciones 12 meq·litro⁻¹ NO₃⁻:agua y 9 meq·litro⁻¹ NO₃⁻:3 meq·litro⁻¹ NH₄⁺ produjeron frutos de mayor vida de anaquel.

Las relaciones NO₃⁻:NH₄⁺ no tuvieron efecto significativo en el porcentaje de acidez titulable en los frutos y la longitud de raíz.

LITERATURA CITADA

AGUAYO, E.; ARTÉS, F. 2004. Elaboración de tomate mínimamente procesado en fresco, pp: 121-133. *In*: Tomates. Producción y Comercio. NAMESNY, A. (ed.). Ediciones de Horticultura S.L. Reus, Barcelona, España.

AUERSWALD, H.; SCHWARZ, D.; KORNELSON, C.; KRUMBEIN, A.; BRÜCKNER, B. 1999. Sensory analysis, sugar and acid content of tomato at different EC values of the nutrient solution. *Scientia Horticulturae* 82(3): 227-242. doi: 10.1016/S0304-4238(99)00058-8

BIALCZYK, J.; LECHOWSKI, Z.; DZIGA, D.; MEJ, E. 2007. Fruit yield of tomato cultivated on media with bicarbonate and nitrate/ammonium as the nitrogen source. *Journal of Plant Nutrition* 30(1): 149-161. doi: 10.1080/01904160601055202

BLOOM, A. J.; MEYERHOFF, P. A.; TAYLOR, A. R.; ROST, T. L. 2002. Root development and absorption of ammonium and nitrate from the rhizosphere. *Journal of Plant Growth Regulation* 21(4): 416-431. doi: 10.1007/s00344-003-0009-8

BRITTO, D. T.; KRONZUCKER, H. J. 2002. NH₄⁺ toxicity in higher plants a critical review. *Journal of Plant Physiology* 159(6): 567-584. doi: 10.1078/0176-1617-0774

CHAILLOU, S.; LAMAZE, T. 2001. Ammoniacal nutrition of plants, pp. 53-69. *In*: Nitrogen Assimilation by Plants. MOROT-GAUDRY, J. F. (ed.). Science Publishers. Enfield, New Hampshire, USA.

CHAILLOU, S.; RIDEOUT, J. W.; RAPER, C. D.; MOROT-GAUDRY, J. F. 1994. Responses of soybean to ammonium and nitrate supplied in combination to the whole root system or separately in a split-root system. *Physiologia Plantarum* 90(2): 259-268. doi: 10.1111/j.1399-3054.1994.tb00386.x

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 and Soil* 208(1): 95-102. doi: 10.1023/A:1004543128899

CRAMER, M. D.; LEWIS, O. A. M. 1993. The influence of nitrate and ammonium nutrition on the growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) and maize (*Zea mays*) plants. *Annals of Botany* 72(4): 359-365. doi: 10.1006/anbo.1993.1119

DEJOUX, J. F.; RECOUS, S.; MEYNARD, J. M.; TRINSOUTROT, I.; LETERME, P. 2000. The fate of nitrogen from winter-frozen rapeseed leaves: mineralization, fluxes to the environment and uptake by rapeseed crop in spring. *Plant and Soil* 218(1-2): 257-272. doi: 10.1023/A:1014934924819

DEMSAR, J.; OSVALD, J. 2003. Influence of NO₃⁻:NH₄⁺ ratio on growth and nitrate accumulation in lettuce (*Lactuca sativa* var. capitata L.) in aeroponic system. *Agrochimica* 47(3-4): 112-121.

FLORES, P.; BOTELLA, M. A.; MARTÍNEZ, V.; CERDA, A. 2002. Response to salinity of tomato seedling with a split-root system: nitrate uptake and reduction. *Journal of Plant Nutrition* 25(1): 177-187. doi: 10.1081/PLN-100108789

GUO, S.; BRÜCK, H.; GERENDÁS, J.; SATTELMACHER, B. 2001. Effect of nitrogen form on water, N, and K uptake of *Phaseolus vulgaris* L. grown in a split-root system, pp. 220-221. *In*: Plant Nutrition-Food Security and Sustainability of Agro-Ecosystems Through Basic and Applied Research. HORST, W. J. (ed.). Kluwer Academic Publishers. USA. doi: 10.1007/0-306-47624-X_106

HARTMAN, P. L.; MILLS, H. A.; JONES, J. B. 1986. The influence of nitrate ammonium ratios on growth, fruit development, and element concentration in "Floradel" tomato plants. *Journal of The American Society for Horticultural Science* 111(4): 487-490.

HOUDUSSE, F.; ZAMARREÑO, A. M.; GARNICA, M.; GARCÍA-MINA, J. M. 2005. The importance of nitrate in ameliorating the effects of ammonium and urea nutrition on plant development: the relationships with free polyamines and proline plant concentrations. *Functional Plant Biology* 32: 1057-1067.

HOUDUSSE, F.; GARNICA, M.; ZAMARREÑO, A. M.; YVIN, J. C.; GARCÍA-MINA, J. 2008. Possible mechanism of the nitrate action regulating free-putrescine accumulation in ammonium fed plants. *Plant Science* 175(5): 731-739. doi: 10.1016/j.plantsci.2008.07.008

LI, C.; DONG, H.; LI, J. 2003. Influence of different ratios nitrogen nutrition on photosynthetic and sugar metabolism of cotton. *Cotton Science* 15(2): 87-90.

- LOQUÉ, D.; WIRÉN, N. 2004. Regulatory levels for the transport of ammonium in plant roots. *Journal of Experimental Botany* 55(401): 1293-1305. doi: 10.1093/jxb/erh147
- LU, Y. L.; XU, Y. C.; SHEN, Q. R.; DONG, C. X. 2009. Effects of different nitrogen forms on the growth and cytokinin content in xylem sap of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) seedlings. *Plant and Soil* 315(1-2): 67-77. doi: 10.1007/s11104-008-9733-y
- MAGALHÃES, J. R.; HUBER, D. M. 1989. Ammonium assimilation in different plant species as affected by nitrogen form and pH control in solution culture. *Fertilizer Research* 21(1): 1-6.
- MALUNDO, T. M. M.; SHEWFELT, R. L.; SCOTT, J. W. 1995. Flavor quality of fresh tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by sugar and acid levels. *Postharvest Biology and Technology* 6(1-2): 103-110. doi: 10.1016/0925-5214(94)00052-T
- MILLER, A. J.; CRAMER, M. D. 2004. Root nitrogen acquisition and assimilation. *Plant and Soil* 274: 1-36.
- MULHOLLAND, R. N.; FUSSELL, M.; EDMONSON, R. N.; TAYLOR, A. J.; BASHAM, J.; MCKEE, J. M. T.; PARSONS, N. 2002. The effect of split-root salinity stress on tomato leaf expansion, fruit yield and quality. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 77(5): 509-519. http://www.jhortscib.org/Vol77/77_5/2.htm
- OWEN, A. G.; JONES, D. L. 2001. Competition for amino acids between wheat roots and rhizosphere microorganisms and the role of amino acids in plant N acquisition. *Soil Biology and Biochemistry* 33(4): 651-657. doi:10.1016/S0038-0717(00)00209-1
- SANDOVAL-VILLA, M.; GUERTAL, E. A.; WOOD, C. W. 2001. Greenhouse tomato response to low ammonium-nitrogen concentrations and duration of ammonium-nitrogen supply. *Journal of Plant Nutrition* 24(11): 1787-1798. doi: 10.1081/PLN-100107312
- SCHORTEMEYER, M.; FEIL, B. 1996. Root morphology of maize under homogeneous or spatially separated supply of ammonium and nitrate at three concentration ratios. *Journal of Plant Nutrition* 19(7): 1089-1097. doi: 10.1080/01904169609365182
- SIDDIQI, M. Y.; MALHOTRA, B.; MIN, X.; GLASS, A. D. M. 2002. Effects of ammonium and inorganic carbon enrichment on growth and yield of a hydroponic tomato crop. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 165(2): 191-197. [http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/1522-2624\(200204\)165:2%3C191::AID-JPLN191%3E3.0.CO;2-D/abstract](http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/1522-2624(200204)165:2%3C191::AID-JPLN191%3E3.0.CO;2-D/abstract)
- STEINER, A. A. 1984. The universal nutrient solution, pp. 633-649. *In: Proceedings of Sixth International Congress for Soilless Culture. International Society for Soilless Culture. Wageningen, The Netherlands.*
- STEVENS, M. A.; RICK, C. M. 1986. Genetics and breeding; fruit quality, pp: 84-96. *In: The Tomato Crop, a Scientific Basis for Improvement. AHERTON, J. G.; RUDICH, J. (eds.). Chapman and Hall. London, G.B.* doi: 10.1007/978-94-009-3137-4_2
- TABATABAIE, S. J.; GREGORY, P. J.; HO, L.; HADLEY, P. 2003. Split root system for the use of saline water in hydroponic tomato production. *Acta Horticulturae* 609: 307-312. http://www.actahort.org/books/609/609_46.htm
- TISCHNER, R. 2000. Nitrate uptake and reduction in higher and lower plants. *Plant, Cell and Environment* 23(10): 1005-1024. doi: 10.1046/j.1365-3040.2000.00595.x
- VILLARREAL, R. M.; GARCÍA E., R. S.; OSUNA E., T.; ARMENTA B., A. D. 2002. Efecto de dosis y fuente de nitrógeno en rendimiento y calidad postcosecha de tomate en fertirriego. *Terra* 20(3): 311-320. <http://www.chapingo.mx/terra/contenido/20/3/art311-320.pdf>
- ZHU, Y.; ITO, T. 2000. Effects of nutrient stress by split-root system on the growth and K, Ca, and Mg contents at different stages of hydroponically grown tomato seedlings. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 69(6): 677-683. doi: 10.2503/jjshs.69.677