

Relación NO_3^-/K^+ en la solución nutritiva en el crecimiento y rendimiento de pepino hidropónico*

$\text{RNO}_3^-/\text{K}^+$ ratio in nutrient solution on growth and yield of hydroponic cucumber

Saúl Parra Terraza^{1§}, Gustavo Eduardo González Terán¹, Werner Rubio Carrasco² y Sergio Hernández Verdugo¹

¹Universidad Autónoma de Sinaloa-Facultad de Agronomía. Carretera Culiacán-El dorado km 17.5. Culiacán, Sinaloa, México. (g_eduardogr@hotmail.com; sergioh2002mx@yahoo.com.mx). ²Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C. Culiacán, Sinaloa, México. (wrubio@ciad.mx). [§]Autor para correspondencia: saul.parra@uas.edu.mx.

Resumen

A la relación NO_3^-/K^+ en la solución nutritiva (SN) se le considera un factor clave para obtener altos rendimientos; sin embargo, por la falta de investigaciones al respecto, su importancia está sujeta a discusión. El objetivo de este trabajo fue evaluar en invernadero el efecto de tres relaciones $\text{NO}_3^-/\text{aniones}$ (40, 60 y 80/100) y tres de $\text{K}^+/\text{cationes}$ (15, 35 y 55/100) sobre el crecimiento, composición mineral y el rendimiento de pepino (*Cucumis sativus* L. cultivar Luxell). El experimento constó de dos etapas: la 1, desde la siembra al trasplante, y la 2, desde trasplante hasta cosecha; en ambas etapas el diseño experimental utilizado fue completamente al azar con arreglo factorial 3^2 . En la etapa 1, los efectos de las relaciones NO_3^-/K^+ sobre las variables de crecimiento no fueron significativos, aunque para las concentraciones de P, K y Mg en hojas hubo significancia. En la etapa 2, hubo diferencias ($p \leq 0.05$) en el rendimiento para la relación $\text{NO}_3^-/\text{aniones}$ y para $\text{K}^+/\text{cationes}$, pero no para su interacción. El mayor rendimiento (90.56 t ha^{-1}) se obtuvo con la relación intermedia (60/100 $\text{NO}_3^-/\text{aniones}$), mientras que para la relación $\text{K}^+/\text{cationes}$ el mayor rendimiento (83.40 t ha^{-1}) fue obtenido también con la relación intermedia (35/100). Con relaciones altas de $\text{NO}_3^-/\text{aniones}$ y de $\text{K}^+/\text{cationes}$, los rendimientos disminuyen 9.98 y 31.84%, respectivamente, por lo que es indispensable hacer un manejo equilibrado de

Abstract

NO_3^-/K^+ ratio in the nutrient solution (SN) is considered a key factor to obtaining high yields; however, by the lack of research on the subject, its importance is subject to discussion. The aim of this study was to evaluate under greenhouse the effect of three ratios $\text{NO}_3^-/\text{anions}$ (40, 60 and 80/100) and three of $\text{K}^+/\text{cations}$ (15, 35 and 55/100) on growth, mineral composition and yield on cucumber (*Cucumis sativus* L. cultivar Luxell). The experiment consisted of two stages: first stage from sowing to transplant, and second from transplanting to harvest; in both stages the experimental design was completely randomized with a factorial arrangement 3^2 . In stage 1, the effects of NO_3^-/K^+ ratios on growth variables were not significant, although the concentrations of P, K and Mg on leaves were significant. In Stage 2, there were differences ($p \leq 0.05$) in yield for $\text{NO}_3^-/\text{anions}$ and $\text{K}^+/\text{cations}$ ratios, but not for their interaction. The highest yield (90.56 t ha^{-1}) was obtained with the intermediate ratio (60/100 $\text{NO}_3^-/\text{anions}$), while for $\text{K}^+/\text{cations}$ the highest yield (83.40 t ha^{-1}) was also obtained with the intermediate ratio (35/100). With high ratios of $\text{NO}_3^-/\text{anions}$ and $\text{K}^+/\text{cations}$, yields decreased 9.98 and 31.84%, respectively, so it is essential to have balance in the management of $\text{NO}_3^-/\text{anions}$ and $\text{K}^+/\text{cations}$ ratios in the SN to not alter nutrient concentrations in leaves and reduce the yield of cucumber grown in hydroponics.

* Recibido: enero de 2016
Aceptado: abril de 2016

las relaciones NO_3^- /aniones y de K^+ /cationes en la SN para no alterar las concentraciones nutrimentales en las hojas y reducir el rendimiento de pepino cultivado en hidroponía.

Palabras clave: *Cucumis sativus*, relación N/K, relación nitrato/aniones, relación potasio/cationes, rendimiento.

Introducción

En el año 2014, en México se sembraron 16 902 ha de pepino (*Cucumis sativus* L.), con una producción de 707 632 toneladas, de las cuales 43% fue producida en el estado de Sinaloa, en una superficie de 4 203 ha (SIAP, 2014). En Sinaloa el pepino se cultiva a campo abierto y en condiciones protegidas (invernadero y casa sombra). En ambos sistemas de producción se aplican SN que contienen fertilizantes disueltos para aportar los nutrientes para las plantas.

De los 17 nutrimentos esenciales, generalmente el productor de hortalizas aplica 12 (N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn, Mn, B y Mo), ya que el C, H, O, Cl y Ni, no se aplican, porque los cuatro primeros las plantas los obtienen del agua o del aire y el Ni no se utiliza porque se desconoce su impacto en las hortalizas o porque se considera que las plantas obtienen el Ni de los fertilizantes o del agua de riego; el Ni se encuentra como contaminante en los fertilizantes (Brown *et al.*, 1987). De estos nutrimentos el N y el K son los que se utilizan en mayor cantidad debido a que son importantes para el rendimiento de las plantas y la interacción N-K generalmente se presenta en los ecosistemas agrícolas (Johnston y Milford, 2009).

El N es un componente del DNA, RNA, proteínas y enzimas, clorofila, ATP, auxinas y citoquininas (Hawkesford *et al.*, 2012), y puede suministrarse a las plantas en cuatro formas: nítrica, amoniacal, ureica y aminoácidos, aunque la forma nítrica es absorbida preferentemente por las plantas desarrolladas en suelos (Masclaux-Daubresse *et al.*, 2010), por lo que es la más usada en los cultivos hortícolas. El K participa en el gradiente de potencial eléctrico en las membranas celulares, la turgencia, la activación de enzimas, la fotosíntesis, el metabolismo de azúcares y de almidón, la síntesis de proteínas, la apertura y cierre de estomas, la estabilización del pH celular, y en el balance catión-anión celular (Zhang *et al.*, 2010).

Keywords: *Cucumis sativus*, N/K ratio, nitrate/anions ratio, potassium/cation ratio, yield.

Introduction

In 2014, in Mexico were planted 16 902 ha of cucumber (*Cucumis sativus* L.), with a production of 707 632 tons, of which 43% were produced in the state of Sinaloa, in an area of 4 203 ha (SIAP, 2014). In Sinaloa cucumber is grown in open field and under protected conditions (greenhouse and shade house). In both production systems apply SN containing dissolved fertilizer to supply nutrients to the plant.

Of the 17 essential nutrients, usually vegetable producer applies 12 (N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn, Mn, B and Mo), since C, H, O, Cl and Ni, are not applied, because the first four plants obtain them from water or air and Ni is not used because its impact is unknown in vegetables or because it is considered that the plants obtain Ni from fertilizer or water irrigation; Ni is found as pollutant in fertilizers (Brown *et al.*, 1987). Of these nutrients N and K are used in higher amounts because are important for plant yield and the interaction N-K usually occurs in agricultural ecosystems (Johnston and Milford, 2009).

N is a DNA, RNA, proteins and enzymes, chlorophyll, ATP, auxins and cytokinins component (Hawkesford *et al.*, 2012), and can be supplied to plants in four ways: nitric, ammoniac, ureic and amino acids, although the nitrate form is preferentially absorbed by plants grown in soils (Masclaux-Daubresse *et al.*, 2010), which is the most widely used in horticultural crops. K participates in the electric potential gradient in cell membranes, turgor, enzyme activation, photosynthesis, sugars and starch metabolism, protein synthesis, opening and closing of stomata, stabilization cellular pH and cell cation-anion balance (Zhang *et al.*, 2010).

An adequate supply of K is associated with increased yield and fruit size of many horticultural crops (Kanai *et al.*, 2007). A high concentration of NO_3^- , regarding H_2PO_4^- and SO_4^{2-} anions, and a low concentration of K^+ , compared to Ca^{2+} and Mg^{2+} cations in the SN indicates a high ratio of NO_3^-/K^+ , also known as the N/K ratio. Steiner (1961) mentions that many people consider important the N/K ratio;

Un suministro adecuado de K se asocia con aumento del rendimiento y el tamaño del fruto de muchos cultivos hortícolas (Kanai *et al.*, 2007). Una concentración alta de NO_3^- , respecto a los aniones H_2PO_4^- y SO_4^{2-} , y una baja concentración de K^+ , respecto a los cationes Ca^{2+} y Mg^{2+} en la SN, indica una relación alta de NO_3^-/K^+ , también conocida como la relación N/K. Steiner (1961) menciona que muchas personas consideran importante la relación N/K; sin embargo, actualmente dicha importancia está sujeta a discusión, por la falta de estudios al respecto. En México y en otros países hay pocos trabajos de la relación N/K en la SN, utilizando relaciones $\text{NO}_3^-/\text{aniones}$ y $\text{K}^+/\text{cationes}$, ya que para definir estas relaciones es necesario considerar la metodología propuesta por Steiner (1984), sin embargo esta técnica no es de conocimiento usual o no tiene una aceptación general.

El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de tres relaciones $\text{NO}_3^-/\text{aniones}$ (NO_3^- , H_2PO_4^- y SO_4^{2-}) y tres relaciones $\text{K}^+/\text{cationes}$ (K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+}), con base en la SN universal de Steiner, sobre el crecimiento, la composición mineral y el rendimiento de un híbrido de pepino desarrollado en condiciones de invernadero.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en un invernadero perteneciente a la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, localizado en $24^\circ 37'$ y $24.40''$ latitud norte, y $105^\circ 24'$ y $107^\circ 26'$ y $35.69''$ longitud oeste, a una altitud de 38 m. El experimento constó de dos etapas: la 1, desde la siembra hasta el trasplante, con una duración de 38 días y la etapa 2 desde trasplante hasta cosecha, con duración de 78 días. En la etapa 1, semillas de pepino (*Cucumis sativus* L. cultivar Luxell) tipo americano, de crecimiento indeterminado, fueron sembradas en charolas de poliestireno de 128 cavidades con volumen individual de 35 cm^3 que contenían fibra de coco como sustrato, previamente lavado con agua destilada.

El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial 3^2 , y cuatro repeticiones, para un total de 36 unidades experimentales, donde cada unidad experimental consistió de 30 plantas. Los factores y niveles evaluados fueron: 1) relación $\text{NO}_3^-/\text{aniones}$ (NO_3^- , H_2PO_4^- , SO_4^{2-}) (40/100, 60/100 y 80/100); y 2) relación $\text{K}^+/\text{cationes}$ (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) (15/100, 35/100 y 55/100). Al combinar las tres relaciones $\text{NO}_3^-/\text{aniones}$ con las tres relaciones $\text{K}^+/\text{cationes}$ resultan nueve SN, las cuales se diseñaron a partir

however, this importance is currently subject to discussion by the lack of studies. In Mexico and other countries there are few studies of N/K ratio in SN, using $\text{NO}_3^-/\text{anions}$ and $\text{K}^+/\text{cations}$ ratios, as to define these ratios is necessary to consider the methodology proposed by Steiner (1984), however this technique is not common knowledge or has no general acceptance.

The objective of this study was to determine the effect of three $\text{NO}_3^-/\text{anions}$ (NO_3^- , H_2PO_4^- and SO_4^{2-}) and three $\text{K}^+/\text{cations}$ (K^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+}) ratios, based on the universal Steiner SN on growth, mineral composition and yield of a hybrid cucumber grown under greenhouse conditions.

Materials and methods

The study was conducted in a greenhouse from the Faculty of Agriculture of the Autonomous University of Sinaloa, located at $24^\circ 37'$ and $24.40'$ north latitude and $105^\circ 24'$ and $107^\circ 26'$ and $35.69'$ west longitude, to an altitude of 38 m. The experiment consisted of two stages: stage 1 from sowing to transplanting, with a duration of 38 days and stage 2 from transplantation to harvest, lasting 78 days. In stage 1, cucumber seeds (*Cucumis sativus* L. cultivar Luxell) American type, indeterminate growth, were sown in polystyrene trays of 128 cavities with individual volume of 35 cm^3 containing coconut fiber as substrate, previously washed with distilled water.

The experimental design was completely randomized with a factorial arrangement 3^2 , and four replications, for a total of 36 experimental units, where each experimental unit consisted of 30 plants. The factors and levels evaluated were: 1) $\text{NO}_3^-/\text{anions}$ ratios (NO_3^- , H_2PO_4^- , SO_4^{2-}) (40/100, 60/100 and 80/100); and 2) $\text{K}^+/\text{cationes}$ ratios (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) (15/100, 35/100 and 55/100). By combining the three $\text{NO}_3^-/\text{anions}$ with three ratios $\text{K}^+/\text{cationes}$ ratios result in nine SN, which were designed from modifications of the universal SN (Steiner, 1984) and consisting of varying the concentration of NO_3^- in relation to H_2PO_4^- and SO_4^{2-} , thus K^+ concentration regarding Ca^{2+} and Mg^{2+} . The chemical composition of SN was calculated and adjusted to an osmotic potential of -0072 MPa (Table 1), according to Steiner (1984) proposal.

The SN were prepared with inorganic salts reagent grade and distilled water and the following micronutrient concentrations (mg L^{-1}) were added: 2.5 Fe, 0.5 Mn, B 0.5,

de modificaciones de la SN universal (Steiner, 1984) y consistieron en variar la concentración de NO_3^- con relación a H_2PO_4^- y SO_4^{2-} , así como la concentración de K^+ con respecto a Ca^{2+} y Mg^{2+} . La composición química de las SN, se calculó y ajustó a un potencial osmótico de -0.072 MPa (Cuadro 1), de acuerdo con lo propuesto por Steiner (1984).

Las SN se prepararon con sales inorgánicas grado reactivo y agua destilada y se añadieron las concentraciones de micronutrientes (mg L^{-1}) siguientes: Fe 2.5, Mn 0.5, B 0.5, Cu 0.02 y Zn 0.05 (Parra *et al.* 2010). El Fe se proporcionó como Fe-EDTA y el pH de las SN se ajustó a 5.5 ± 0.1 con HCl 1N o NaOH 1N. Ocho días después de la siembra, se inició la aplicación de las SN al 50% de su concentración durante 10 días, los 20 días restantes se aplicaron las SN al 100%. Las plantas se regaron diariamente a las 08:00 y 14:00 h asperjando al follaje los tratamientos con atomizadores (1 L de capacidad) hasta el escurrimiento de la solución por los orificios inferiores de las cavidades. Para evaluar el efecto de los factores sobre las variables de crecimiento (altura, diámetro de tallo y pesos secos de hojas, tallos y plantas) se seleccionaron seis plantas por tratamiento, y para determinar la composición mineral del vástago se escogieron 20 plantas, a 38 días después de la siembra, y se integraron cuatro repeticiones compuestas, cada una, con cinco plantas, cuyos vástagos se fraccionaron en hojas y tallos. En estos órganos se realizó el análisis químico para determinar las concentraciones de N, P, K, Ca y Mg conforme a las metodologías propuestas por Motsara y Roy (2008).

En la etapa 2 del experimento se utilizaron plantas de pepino de 38 d después de la siembra, provenientes de la etapa 1, previamente sometidas a los tratamientos descritos en el Cuadro 1. Las plantas se trasplantaron en un sistema hidropónico de subirrigación en circuito cerrado, integrado por dos recipientes de plástico con capacidad de 20 L cada uno, pintados de color negro e interconectados entre sí con manguera de hule de 1.25 cm de diámetro. Uno de los recipientes contenía 18 L de fibra de coco como sustrato, previamente lavado con agua destilada; la fibra de coco tuvo una densidad aparente de 0.09 g cm^{-3} , una densidad real de 0.051 g cm^{-3} , una porosidad total de 82.4% de volumen, una porosidad de aireación de 19.8% de volumen y una capacidad de retención de agua de 62.7% de volumen.

En un recipiente se colocaron dos plantas de pepino, conducidas a un tallo y en el otro 10 L de SN del tratamiento correspondiente (Cuadro 1) para efectuar dos riegos diarios a la fibra de coco, el primero a las 7 am y el segundo a las

Cu 0.02 and Zn 0.05 (Parra *et al.*, 2010). Fe was provided as Fe-EDTA and SN pH was adjusted to 5.5 ± 0.1 with 1N HCl or 1N NaOH. Eight days after planting, the application of SN started at 50% of its concentration for 10 days, the remaining 20 days, SN were applied at 100%. The plants were watered daily at 08:00 and 14:00 h spraying the foliage with atomizers (1 L capacity) until runoff of the solution through lower holes of the cavities. To evaluate the effect of the factors on the growth variables (height, stem diameter and dry weights of leaves, stems and plants) six plants were selected per treatment, and to determine the mineral composition of the stem, 20 plants were selected, 38 days after planting, four composite replications were integrated, each with five plants, whose shoots were fractionated on leaves and stems. A chemical analysis was performed to this organs to determine the concentrations of N, P, K, Ca and Mg according to methodologies proposed by Motsara and Roy (2008).

In stage 2, cucumber plants of 38 d after sowing were used, from stage 1, previously subjected to the treatments described in Table 1. The plants were transplanted in a subirrigation closed circuit hydroponic system, consisting of two plastic containers with capacity of 20 L each, painted black and interconnected with rubber hose of 1.25 cm in diameter. One of the containers contained 18 L of coconut fiber as substrate, previously washed with distilled water; coconut fiber had a bulk density of 0.09 g cm^{-3} , a real density of 0.051 g cm^{-3} , and total porosity of 82.4% of volume, aeration porosity 19.8% of volume and water retention capacity 62.7% of volume.

In a bowl two cucumber plants were placed, led to a stem and on the other 10 L of SN of the corresponding treatment (Table 1) to perform two daily irrigations to the coconut fiber, the first at 7 am and the second at 12 pm; evapotranspired water was recovered daily through mark with distilled water and pH of the SN was adjusted to 5.5 ± 0.2 with HCl or NaOH 1N; SN were renewed every 15 d and prepared as described in stage 1. The treatments were distributed in a completely randomized design with factorial arrangement of treatments 3^2 and five replications. The harvest period lasted 37 d and the variables evaluated were yield (kg ha^{-1}), number of fruits per plant, average fruit weight, fruit length and nutrient concentration in leaves, to which are quantified the concentrations of N, P, K, Ca and Mg with the methods described in stage 1. Analysis of variance of response variables was performed by evaluating the main factors from the factorial design:

12 pm; diariamente se repuso el agua evapotranspirada, mediante aforo con agua destilada y se ajustó el pH de las SN a 5.5±0.2 con HCl o NaOH 1N; las SN se renovaron cada 15 d y se prepararon como se describió en la etapa 1. Los tratamientos se distribuyeron en un diseño completamente al azar con un arreglo de tratamientos factorial 3² y cinco repeticiones. El periodo de cosecha duró 37 d y las variables evaluadas fueron rendimiento (kg ha⁻¹), número de frutos por planta, peso promedio de frutos, longitud de frutos y concentración de nutrientes en hojas, a las cuales se les cuantificaron las concentraciones de N, P, K, Ca y Mg con los métodos descritos en la etapa 1. El análisis de varianza de las variables de respuesta se hizo mediante la evaluación de los factores principales del diseño factorial: 1) relación NO₃⁻/aniones (NO₃⁻, H₂PO₄⁻, SO₄²⁻), y 2) relación K⁺/cationes (K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺) y se determinó a interacción de dichos factores.

1) NO₃⁻/anions (NO₃⁻, H₂PO₄⁻ and SO₄²⁻) ratio, and 2) K⁺/cations (K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺) and determined the interaction of these factors.

Results and discussion

Stage 1

Growth variables. The analysis of variance showed no significant effect on the interaction NO₃⁻/anions x K⁺/cations in any of the variables of seedling growth, indicating that N/K ratio did not affect growth, 38 d after sowing. However NO₃⁻/anions ratio was significant ($p \leq 0.05$) for plant height and K⁺/cations ratio was for stem dry weight (PST)

Cuadro 1. Composición química de las soluciones nutritivas empleadas en el experimento.

Table 1. Chemical composition of nutrient solutions used in the experiment.

NO ₃ ⁻ (mol _c m ⁻³)	H ₂ PO ₄ ⁻ (mol _c m ⁻³)	SO ₄ ²⁻ (mol _c m ⁻³)	K ⁺ (mol _c m ⁻³)	Ca ²⁺ (mol _c m ⁻³)	Mg ²⁺ (mol _c m ⁻³)
9.14	1.71	12	3.43	13.45	5.98
12.86	1.07	7.5	3.21	12.61	5.6
16.13	0.5	3.53	3.03	11.87	5.27
8.5	1.59	11.15	7.43	9.56	4.25
12	1	7	7	9	4
15.12	0.47	3.31	6.61	8.5	3.78
7.93	1.49	10.41	10.91	6.18	2.75
11.25	0.94	6.56	10.31	5.84	2.6
14.22	0.44	3.11	9.78	5.54	2.46

Para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Los análisis estadísticos se realizaron con el programa SAS Institute (1999) versión 8.

Resultados y discusión

Etapas 1

Variables de crecimiento. El análisis de varianza no mostró efectos significativos de la interacción NO₃⁻/aniones x K⁺/cationes en ninguna de las variables del crecimiento de las plántulas, lo que indica que las relaciones N/K no afectaron el crecimiento, 38 d después de la siembra. Sin embargo, la relación NO₃⁻/aniones fue significativa ($p \leq 0.05$) para altura de planta y la relación K⁺/cationes lo fue para peso seco de tallo (PST) (Cuadro 2). La mayor altura se obtuvo con 80/100 NO₃⁻/aniones en la SN (14.2 a 16.1 mol NO₃⁻ m⁻³) y

(Table 2). The greatest height was obtained with 80/100 NO₃⁻/anions in SN (14.2 at 16.1 mol NO₃⁻ m⁻³) and the lowest with 40/100 NO₃⁻/anions (7.93 at 9.14 mol NO₃⁻ m⁻³). This result agrees with that reported by Preciado *et al.* (2002), who found that high doses of nitrogen (12 at 14 mol NO₃⁻ m⁻³) promoted the growth of stem in melon (*Cucumis melo* L.), while in Cucumber (*Cucumis sativus* L.), Moreno *et al.* (2011) mention that 12.3 mol NO₃⁻ m⁻³ increased stem length. The biggest PST (0.22 g).

It was obtained with the lower K⁺/cations (15/100) ratio, possibly this concentration covered K demand of plants and promoted the absorption of N, P, Ca and Mg in stem (Table 5), as these nutrients had the highest

la menor con 40/100 NO₃⁻/aniones (7.93 a 9.14 mol NO₃⁻ m⁻³). Este resultado coincide con lo reportado por Preciado *et al.* (2002), quienes encontraron que dosis altas de nitrógeno (12 a 14 mol NO₃⁻ m⁻³) promovieron el crecimiento de tallo en melón (*Cucumis melo* L.), mientras que en pepino (*Cucumis sativus* L.), Moreno *et al.* (2011) mencionan que 12.3 mol NO₃⁻ m⁻³ incrementó la longitud de tallo. El mayor PST (0.22 g).

concentrations in this organ, while the lowest PST (0.17 g) was obtained with higher K⁺/cations (55/100) ratio, which had the highest concentration of K in stems and lower concentrations of N, P, Ca and Mg, perhaps because the ratio 55/100 K⁺/cations exceeded K requirements by plants and high absorption of K reduced the concentrations of N, P, Ca and Mg. This result agrees with that mentioned

Cuadro 2. Efecto de la relación NO₃⁻/aniones y K⁺/cationes en la solución nutritiva en la altura (A), diámetro de tallo (DT), peso seco de hojas (PSH), peso seco de tallos (PST) y peso seco de plantas (PSP) de pepino, 38 días después de la siembra.

Table 2. Effect of NO₃⁻/anions and K⁺/cation ratio in nutrient solution in height (A), stem diameter (DT), dry weight of leaves (PSH), stems dry weight (PST) and plants dry weight (PSP) of cucumber, 38 days after planting.

Factor	A cm	DT mm	PSH g	PST g	PSP g
Relación porcentual de NO ₃ ⁻ /aniones					
40/100	27.5 b	4.8 a	0.37 a	0.19 a	0.56 a
60/100	30.4 a	4.7 a	0.39 a	0.18 a	0.57 a
80/100	30.7 a	4.7 a	0.41 a	0.2 a	0.61 a
Relación porcentual de K ⁺ /cationes					
15/100	28.9 a	4.6 a	0.42 a	0.22 a	0.58 a
35/100	29.6 a	4.8 a	0.37 a	0.18 b	0.59 a
55/100	29.9 a	4.9 a	0.38 a	0.17 b	0.56 a
NO ₃ ⁻ /aniones X K ⁺ /cationes	ns	ns	ns	ns	ns

Medias con letras iguales en cada columna para cada factor son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05); ns= no significativo.

fue obtenido con la menor relación K⁺/cationes (15/100), posiblemente a que esta concentración cubrió la demanda de K de las plantas y favoreció la absorción de N, P, Ca y Mg en tallo (Cuadro 5), ya que estos nutrimentos tuvieron las mayores concentraciones en dicho órgano, mientras que el menor PST (0.17 g) se obtuvo con la mayor relación K⁺/cationes (55/100), la cual tuvo la mayor concentración de K en tallos y las menores concentraciones de N, P, Ca y Mg, quizás porque la relación 55/100 K⁺/cationes excedió los requerimientos de K por las plantas y la alta absorción de K redujo las concentraciones de N, P, Ca y Mg. Este resultado coincide con lo mencionado por Fageria (2001), en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.), donde las altas concentraciones de K en la SN inhibieron la absorción de P, Ca y Mg.

Análisis nutrimental en hojas

La relación NO₃⁻/aniones fue diferente ($p \leq 0.05$) para la concentración de Ca en hojas (Cuadro 3); la mayor concentración de Ca (2.44%) se obtuvo con la relación 60/100 NO₃⁻/aniones y la menor (2.20%) fue obtenida con 80/100 NO₃⁻/aniones. Según Fageria (2001), cuando un nutriente está en concentración excesiva en el medio de crecimiento puede afectar la absorción de otro, por lo que

by Fageria (2001), in rice (*Oryza sativa* L.), where high concentrations of K in SN inhibited the absorption of P, Ca and Mg.

Nutritional analysis on leaves

The NO₃⁻/anions ratio was different ($p \leq 0.05$) for Ca concentration in leaves (Table 3); the highest concentration of Ca (2.44%) was obtained with the ratio 60/100 NO₃⁻/anions and the lowest (2.20%) was obtained with 80/100 NO₃⁻/anions. According Fageria (2001), when a nutrient is in an excessive concentration in the growth medium can affect the absorption of another, so in the present study a ratio of 80% in NO₃⁻ in SN, inhibited Ca absorption. N concentrations in leaves were affected ($p \leq 0.05$) by K⁺/cations ratio, the lowest value of N (6.12%) was obtained with 35/100 K⁺/cations and the highest value (6.66% N) was obtained with 55/100 K⁺/cations (Table 3).

Zhang *et al.* (2010) mention that an optimal application of K is favorable for proper nutrient management in agriculture, in this sense the high dose of K promoted the accumulation of N in leaves. The concentrations of Ca in the leaves were reduced ($p \leq 0.05$) with increases in K⁺/cation ratio in SN

en el presente estudio una proporción de 80% de NO₃⁻ en la SN, inhibió la absorción de Ca. Las concentraciones de N en hojas fueron afectadas ($p \leq 0.05$) por la relación K⁺/cationes, el menor valor de N (6.12%) se obtuvo con 35/100 K⁺/cationes y el mayor valor (6.66% de N) se obtuvo con 55/100 K⁺/cationes (Cuadro 3).

(Table 3), by antagonism of K with Ca (Fageria, 2001), which was reflected in increased absorption K and less of Ca. The interaction of the factors was significant for concentrations of P, K and Mg in leaves (Table 3), P concentrations obtained with the three NO₃⁻/anions ratios were similar for ratios 35 and 55/100 K⁺/cations, however,

Cuadro 3. Efecto de la relación NO₃⁻/aniones y K⁺/cationes en la solución nutritiva y la concentración de N, P, K, Ca y Mg en hojas de plantas de pepino, 38 días después de la siembra.

Table 3. Effect of NO₃⁻/anions and K⁺/cation ratio in nutrient solution and the concentration of N, P, K, Ca and Mg in leaves of cucumber plants, 38 days after planting.

Factor	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
Relación porcentual de NO ₃ ⁻ /aniones					
40/100	6.21 a	0.99 a	3.71 a	2.2 b	0.69 b
60/100	6.6 a	0.78 b	3.6 a	2.44 a	0.91 a
80/100	6.24 a	0.61 c	3.74 a	2.39 ab	0.95 a
Relación porcentual de K ⁺ /cationes					
15/100	6.28 ab	0.82 a	2.43 c	2.89 a	0.95 a
35/100	6.12 b	0.75 a	3.72 b	2.37 b	0.86 b
55/100	6.66 a	0.81 a	4.9 a	1.72 c	0.75 c
NO ₃ ⁻ /aniones X K ⁺ /cationes	ns	**	**	ns	**

Medias con letras iguales en cada columna para cada factor, son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05); ns= no significativo; ** = altamente significativo.

Zhang *et al.* (2010) mencionan que una óptima aplicación de K es favorable para un adecuado manejo de los nutrientes en la agricultura, en ese sentido la dosis alta de K fomentó la acumulación de N en las hojas. Las concentraciones de Ca en las hojas fueron reducidas ($p \leq 0.05$) con los aumentos de la relación K⁺/cationes en la SN (Cuadro 3), por antagonismo del K con el Ca (Fageria, 2001), que se reflejó en mayor absorción de K y menor de Ca. La interacción de los factores fue significativa para las concentraciones de P, K y Mg en hojas (Cuadro 3), las concentraciones de P obtenidas con las tres relaciones NO₃⁻/aniones fueron similares para las relaciones 35 y 55 /100 K⁺/cationes, sin embargo, para la relación 15/100 K⁺/cationes hubo variación (Cuadro 4). La mayor concentración de P (1.23%) se obtuvo con 40/100 NO₃⁻/aniones y 15/100 K⁺/cationes y la menor (0.57%) fue obtenida con 80/100 NO₃⁻/aniones y 15/100 K⁺/cationes, lo que puede atribuirse a que la relación 40/100 NO₃⁻/aniones tuvo una concentración de 1.71 mol_c m⁻³ de H₂PO₄⁻, comparado con 0.5 mol_c m⁻³ de H₂PO₄⁻ de la relación 80/100 NO₃⁻/aniones (Cuadro 1). Respecto al K, las mayores concentraciones (5.1, 4.8 y 4.79% de K en hojas) fueron obtenidas con la combinación de la relación 55/100 K⁺/cationes y 40, 60 y 80/100 NO₃⁻/aniones (Cuadro 4), atribuido a la mayor concentración de K en estas soluciones, lo que favoreció su absorción y acumulación. Las concentraciones

for the ratio 15/100 K⁺/cations had variation (Table 4). The highest concentration of P (1.23%) was obtained with 40/100 NO₃⁻/ anion and 15/100 K⁺ anion / cation and the lowest (0.57%) was obtained with 80/100 NO₃⁻/K + 15/100 anion / cation, which can be attributed to the relationship 40/100 NO₃⁻/anions had a concentration of 1.71 mol_c m⁻³ H₂PO₄⁻, compared to 0.5 mol_c m⁻³ of H₂PO₄⁻ from the ratio 80/100 NO₃⁻/anions (Table 1). Regarding K, the highest concentrations (5.1, 4.8 and 4.79% of K in leaves) were obtained with the combination of the ratio 55/100 K⁺/cations and 40, 60 and 80/100 NO₃⁻/anions (Table 4), attributed to higher concentration of K in these solutions, favoring their absorption and accumulation. Mg concentrations in leaves obtained with three ratios NO₃⁻/anions were different ($p \leq 0.01$) for all three ratios K⁺/cations (Table 4), where combinations 80/100 NO₃⁻/anions with 15, 35 and 55/100 K⁺/cations had the lowest concentrations of Mg (0.81, 0.7 and 0.54%, respectively) due to antagonism of K on Mg (Gransee and Führs, 2013), because at greater proportion of K in SN, lower concentration of Mg in leaves.

Nutritional analysis in stems

The interaction of NO₃⁻/anions x K⁺/cation factors was significant for P concentration (Table 5) where P concentrations obtained with the three NO₃⁻/anions ratio

de Mg en las hojas obtenidas con las tres relaciones $\text{NO}_3^-/\text{aniones}$ fueron diferentes ($p \leq 0.01$) para las tres relaciones $\text{K}^+/\text{cationes}$ (Cuadro 4), donde las combinaciones 80/100 $\text{NO}_3^-/\text{aniones}$ con 15, 35 y 55/100 $\text{K}^+/\text{cationes}$ tuvieron las menores concentraciones de Mg (0.81, 0.7 y 0.54%, respectivamente), debido al antagonismo del K sobre el Mg (Gransee y Führes, 2013), porque a mayor proporción de K en la SN, menor concentración de Mg en hojas.

Cuadro 4. Efecto de la interacción $\text{NO}_3^-/\text{aniones}$ x $\text{K}^+/\text{cationes}$ en la solución nutritiva en la concentración de P, K, Mg en hojas de plántulas de pepino, 38 días después de la siembra.

Table 4. Effect of the interaction $\text{NO}_3^-/\text{anions}$ x $\text{K}^+/\text{cationes}$ in nutrient solution in the concentration of P, K and Mg in cucumber seedlings leaves, 38 days after planting.

Factor $\text{NO}_3^-/\text{aniones}$ x $\text{K}^+/\text{cationes}$	P (%)	K (%)	Mg (%)
40/100 x 15/100	1.23 a	2.89 de	0.96 ab
60/100 x 15/100	0.65 bc	2.1 f	1.09 a
80/100 x 15/100	0.57 c	2.29 ef	0.81 bc
40/100 x 35/100	0.87 bc	3.14 d	1.05 a
60/100 x 35/100	0.79 bc	3.89 c	0.84 bc
80/100 x 35/100	0.6 bc	4.13 bc	0.7 cd
40/100 x 55/100	0.87 bc	5.1 a	0.84 bc
60/100 x 55/100	0.89 b	4.8 ab	0.81 bc
80/100 x 55/100	0.67 bc	4.79 ab	0.54 d

Medias con letras iguales en cada columna y para cada relación $\text{K}^+/\text{cationes}$, son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Análisis nutrimental en tallos

La interacción de los factores $\text{NO}_3^-/\text{aniones}$ x $\text{K}^+/\text{cationes}$ fue significativa para la concentración de P (Cuadro 5), donde las concentraciones de P obtenidas con las tres relaciones $\text{NO}_3^-/\text{aniones}$ fueron diferentes ($p \leq 0.05$) para la relación 55/100 $\text{K}^+/\text{cationes}$ (Figura 1), ya que en esta relación la mayor concentración de P (1.25%) se obtuvo con 40/100 $\text{NO}_3^-/\text{aniones}$, y la menor (0.44% de P) fue obtenida con 80/100 $\text{NO}_3^-/\text{aniones}$ (Cuadro 5), como fue explicado en la concentración de P en las hojas. Las concentraciones de N y Mg fueron afectadas ($p \leq 0.05$) por la relación $\text{NO}_3^-/\text{aniones}$, mientras que las concentraciones de N, K, Ca y Mg fueron diferentes ($p \leq 0.05$) para la relación $\text{K}^+/\text{cationes}$ (Cuadro 5).

Con la relación 60/100 $\text{NO}_3^-/\text{aniones}$ se obtuvo la mayor concentración de N en tallos (6.13%), mientras que la menor (4.87%) fue obtenida con 40/100 $\text{NO}_3^-/\text{aniones}$; la mayor concentración de Mg en tallos (0.64%) se obtuvo con 40/100 $\text{NO}_3^-/\text{aniones}$ y la menor (0.48% de Mg) con 80/100 $\text{NO}_3^-/\text{aniones}$. Con la relación 15/100 $\text{K}^+/\text{cationes}$ se obtuvo la mayor concentración de N (6.11%) en tallos, mientras que la menor (5.18%) fue obtenida con 55/100 $\text{K}^+/\text{cationes}$. Las

were different ($p \leq 0.05$) for the ratio 55/100 $\text{K}^+/\text{cationes}$ (Figure 1), since in this ratio the highest concentration of P (1.25%) was obtained with 40/100 $\text{NO}_3^-/\text{anions}$, and the lowest (0.44% P) was obtained with 80/100 $\text{NO}_3^-/\text{anions}$ (Table 5), as explained in the concentration of P in leaves. N and Mg concentrations were affected ($p \leq 0.05$) by the ratio $\text{NO}_3^-/\text{anions}$, whereas concentrations of N, K, Ca and Mg were different ($p \leq 0.05$) for the $\text{K}^+/\text{cationes}$ ratio (Table 5).

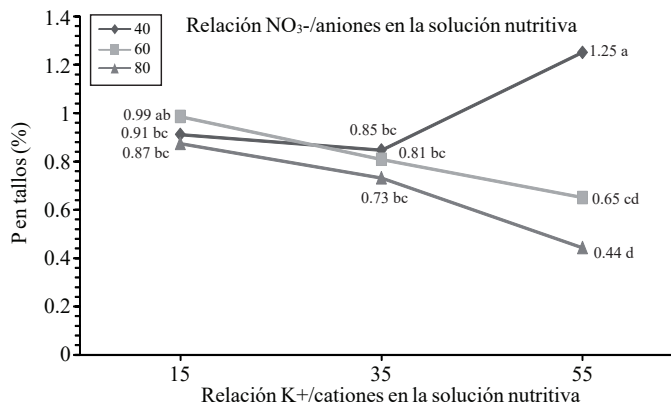


Figura 1. Efecto de la interacción $\text{NO}_3^-/\text{aniones}$ x $\text{K}^+/\text{cationes}$ en la solución nutritiva y la concentración de P en tallos de plantas de pepino cv. Luxell. Puntos con letras diferentes en una columna y en una línea son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Figure 1. Effect of the interaction $\text{NO}_3^-/\text{anion}$ x K^+/cation in nutrient solution and the concentration of P in stems of cucumber plants cv. Luxell. Points with different letters in a column and in a line are statistically different ($p \leq 0.05$).

With the ratio 60/100 $\text{NO}_3^-/\text{anions}$ the highest concentration of N in stems (6.13%) was obtained, while the lowest (4.87%) was obtained with 40/100 $\text{NO}_3^-/\text{anions}$; the highest

concentraciones de K en tallos tuvieron una relación directa con las relaciones K⁺/cationes en la SN, ya que al aumentar estas relaciones aumentaron las concentraciones de K en dicho órgano, mientras que para las concentraciones de Ca y Mg en tallos la relación fue inversa, porque al aumentar la relación K⁺/cationes en la SN las concentraciones de Ca y Mg disminuyeron, por antagonismo del K sobre el Ca y el Mg (Fageria, 2001) y por la menor concentración de Ca y Mg en la SN (Cuadro 1).

concentration of Mg in stems (0.64%) was obtained with 40/100 NO₃⁻/anions and the lowest (0.48% Mg) with 80/100 NO₃⁻/anions. With ratio 15/100 K⁺/cations the highest concentration of N (6.11%) was obtained in stems, while the lowest (5.18%) was obtained with 55/100 K⁺/cations. K concentrations in stems had a direct relationship with the K⁺/cations ratio in SN, since increasing these relationships increased concentrations of K in that organ, whereas the concentrations of Ca and Mg in stems the relationship was

Cuadro 5. Efecto de la relación NO₃⁻/aniones y K⁺/cationes en la solución nutritiva y la concentración de N, P, K, Ca y Mg en tallos de plántulas de pepino, 38 días después de la siembra.

Table 5. Effect of NO₃⁻/anions and K⁺/cation ratio in nutrient solution and the concentration of N, P, K, Ca and Mg in cucumber seedling stems, 38 days after planting.

Factor	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
Relación porcentual de NO ₃ ⁻ /aniones					
40/100	4.87 b	1 a	6.18 a	1.13 a	0.64 a
60/100	6.13 a	0.81 b	6.17 a	1.21 a	0.6 ab
80/100	5.82 a	0.68 c	6.51 a	1.21 a	0.48 b
Relación porcentual de K ⁺ /cationes					
15/100	6.11 a	0.92 a	4.48 c	1.52 a	0.65 a
35/100	5.45 b	0.79 b	6.8 b	1.11 b	0.61 a
55/100	5.18 b	0.78 b	7.57 a	0.82 c	0.42 b
NO ₃ ⁻ /aniones X K ⁺ /cationes	ns	**	ns	ns	ns

Medias con letras iguales en cada columna para cada factor, son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05); ns = no significativo; ** = altamente significativo.

Etapa 2

Análisis nutrimental en hojas

La interacción de los factores fue significativa ($p \leq 0.05$) para las concentraciones de N, P, K y Ca, 78 días después del trasplante (ddt) (Cuadro 6). Las concentraciones de N obtenidas con las tres relaciones NO₃⁻/aniones fueron similares estadísticamente ($p \leq 0.05$) para la relación 15/100 K⁺/cationes, aunque para las relaciones 35 y 55/100 K⁺/cationes hubo diferencias ($p \leq 0.05$). En ambas relaciones K⁺/cationes las mayores concentraciones de N se obtuvieron con 80/100 NO₃⁻/aniones (Cuadro 7), atribuido a que estas relaciones de K aumentaron la absorción de N y su acumulación en las hojas al aumentar la eficiencia en el uso del N (EUN). Este resultado es parecido a lo reportado para gramíneas, donde aumentos del K a un mismo nivel de N incrementó la EUN (IPI, 2014). Las concentraciones de P obtenidas con las tres relaciones NO₃⁻/aniones fueron diferentes ($p \leq 0.05$) para las tres relaciones K⁺/cationes.

inverse, because increasing the ratio K⁺/cations in SN the concentrations of Ca and Mg decreased by antagonism from K on Ca and Mg (Fageria, 2001) and by the lower concentration of Ca and Mg in SN (Table 1).

Stage 2

Nutritional analysis in leaves

The interaction of the factors was significant ($p \leq 0.05$) for concentrations of N, P, K and Ca, 78 days after transplanting (ddt) (Table 6). N concentrations obtained with the three ratios NO₃⁻/anions were similar statistically ($p \leq 0.05$) for ratio 15/100 K⁺/cations, although for ratios 35 and 55/100 K⁺/cations there were differences ($p \leq 0.05$). In both ratios K⁺/cations the highest concentrations of N were obtained with 80/100 NO₃⁻/anions (Table 7), attributed to these K ratios increased N uptake and its accumulation in leaves by increasing the efficiency in the use of N (EUN). This result is similar to that reported for grasses where K increases to the same

Cuadro 6. Efecto de la relación NO₃⁻/aniones y K⁺/cationes en la solución nutritiva y la concentración de N, P, K, Ca y Mg en hojas de plantas de pepino, 78 ddt.

Table 6. Effect of NO₃⁻/anions and K⁺/cation ratio in nutrient solution and concentration of N, P, K, Ca and Mg in cucumber leaves, 78 ddt.

Factor	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
Relación porcentual de NO ₃ ⁻ /aniones					
40/100	3.03 b	0.64 a	3.4 a	1.91 b	0.44 c
60/100	3.21 b	0.58 a	3.22 a	4.12 a	0.85 a
80/100	3.91 a	0.38 b	3.37 a	3.92 a	0.67 b
Relación porcentual de K ⁺ /cationes					
15/100	3.29 a	0.53 a	2.78 b	4.3 a	0.82 a
35/100	3.33 a	0.52 a	2.95 b	3.54 b	0.66 b
55/100	3.45 a	0.59 a	4.3 a	1.82 c	0.46 c
NO ₃ ⁻ /aniones X K ⁺ /cationes	*	**	**	**	ns

Medias con letras iguales en cada columna para cada factor, son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05); ns=no significativo; *= significativo; **= altamente significativo.

Los mayores valores de P (0.89 y 0.87%) fueron obtenidos con las combinaciones 60/100 y 15/100, y 40/100 NO₃⁻/aniones y 55/100 K⁺/cationes y al incrementar a 80/100 NO₃⁻/aniones en ambas relaciones K⁺/cationes los porcentajes de P (0.19 y 0.48%) fueron reducidos significativamente (Cuadro 7), explicable por la menor proporción de P en la relación 80/100 NO₃⁻/aniones (Cuadro 1), porque en el presente estudio los iones en las SN varían en diferentes proporciones, aunque se mantiene constante la concentración por lo que el resultado depende únicamente de la proporción de los componentes de la mezcla (Valdez-Aguilar y Reed, 2010). Por lo tanto, en la relación 80/100 NO₃⁻/aniones hay una menor concentración de P. Las concentraciones de K en hojas, obtenidas con las relaciones NO₃⁻/aniones no fueron diferentes para las relaciones 15 y 35/100 K⁺/cationes; sin embargo, para la relación 55/100 K⁺/cationes hubo diferencias ($p \leq 0.05$) (Cuadro 7).

level of N increased EUN (IPI, 2014). P concentrations obtained with the three ratios NO₃⁻/anions were different ($p \leq 0.05$) for the three ratios K⁺/cations.

The highest values of P (0.89 and 0.87%) were obtained with combinations 60/100 and 15/100, and 40/100 NO₃⁻/anion and 55/100 K⁺/cation and by increasing to 80/100 NO₃⁻/anions in both K⁺/cation ratios the percentages of P (0.19 and 0.48%) were reduced significantly (Table 7), explained by the lower proportion of P in ratio 80/100 NO₃⁻/anions (Table 1), because in this study ions in SN vary in different proportions, although the concentration remains constant so that the result depends only on the ratio of the components of the mixture (Valdez-Aguilar and Reed, 2010). Therefore, in the ratio 80/100 NO₃⁻/anions there is a lower concentration of P. K concentrations in leaves, obtained with ratios

Cuadro 7. Efecto de la interacción NO₃⁻/aniones x K⁺/cationes en la solución nutritiva en la concentración de N, P, K y Ca en hojas de plantas de pepino, 78 ddt.

Table 7. Effect of the interaction NO₃⁻/anion x K⁺/cation in the nutrient solution in concentration of N, P, K and Ca in cucumber leaves, 78 ddt.

Factor NO ₃ ⁻ /aniones x K ⁺ /cationes	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)
40/100 x 15/100	3.9 b	0.6 b	3.12 bcde	2.44 cd
60/100 x 15/100	3.45 ab	0.89 a	3 cde	4.95 ab
80/100 x 15/100	3.58 ab	0.19 d	2.23 e	5.49 a
40/100 x 35/100	2.73 b	0.39 c	2.73 de	1.93 d
60/100 x 35/100	3.32 ab	0.59 b	2.71 de	4.98 ab
80/100 x 35/100	4.13 a	0.58 b	3.6 bcd	3.53 bc
40/100 x 55/100	3.5 ab	0.87 a	4.19 ab	1.35 d
60/100 x 55/100	2.89 b	0.34 cd	3.97 bc	2.42 cd
80/100 x 55/100	4.26 a	0.48 bc	5.12 a	1.56 d

Medias con letras iguales en cada columna y para cada relación K⁺/cationes, son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

La mayor concentración de Ca (5.49%) se obtuvo con la combinación 80/100 $\text{NO}_3^-/\text{aniones}$ y 15/100 $\text{K}^+/\text{cationes}$, mientras que las concentraciones menores (1.35 y 1.56% de Ca) fueron obtenidas con 40/100 y 55/100 y 80/100 $\text{NO}_3^-/\text{aniones}$ y 55/100 $\text{K}^+/\text{cationes}$, respectivamente (Cuadro 7), debido al antagonismo del K con el Ca (Kavvadias *et al.*, 2012). La relación $\text{NO}_3^-/\text{aniones}$ fue diferente ($p \leq 0.05$) para la concentración de Mg en hojas; la mayor concentración de Mg (0.85%) se obtuvo con la relación 60/100 $\text{NO}_3^-/\text{aniones}$ y la menor (0.44%) fue obtenida con 40/100 $\text{NO}_3^-/\text{aniones}$ (Cuadro 6). De igual manera, las concentraciones de Mg también fueron afectadas ($p \leq 0.05$) por la relación $\text{K}^+/\text{cationes}$, donde la mayor concentración de Mg (0.82%) se obtuvo con 15/100 $\text{K}^+/\text{cationes}$ y la menor (0.46% de Mg) fue obtenida con 55/100 $\text{K}^+/\text{cationes}$ (Cuadro 8), debido al antagonismo del K sobre el Mg (Gransee y Führes, 2013) y a la menor concentración de Mg en las SN, ya que una alta proporción de K en la SN implica una concentración menor de Mg.

Rendimiento y sus componentes

La interacción de los factores $\text{NO}_3^-/\text{aniones}$ x $\text{K}^+/\text{cationes}$ en la SN fue significativa ($p \leq 0.01$) para el peso medio de frutos (PMF), mientras que los factores relación $\text{NO}_3^-/\text{aniones}$ y relación $\text{K}^+/\text{cationes}$ lo fueron para frutos por planta (FP) y para rendimiento ($p \leq 0.01$) (Cuadro 8), lo que indica que la interacción N/K no afectó estas dos variables. De acuerdo con esto no hay una base que justifique lo que se hace de manera comercial de utilizar diferentes relaciones N/K durante el ciclo de cultivo del pepino, ya que la respuesta se da como efectos principales y no como interacción entre los factores en estudio.

Conclusiones

El crecimiento de plántulas de pepino y el rendimiento no fueron afectados por la interacción $\text{NO}_3^-/\text{aniones}$ x $\text{K}^+/\text{cationes}$, aunque las concentraciones nutrimentales en hojas y tallos de plántulas y plantas mostraron respuestas diferenciales a las distintas combinaciones $\text{NO}_3^-/\text{aniones}$ x $\text{K}^+/\text{cationes}$. En la producción de pepino, en un sistema hidropónico cerrado y fibra de coco como sustrato, la relación $\text{NO}_3^-/\text{aniones}$ no debe ser mayor de 60/100, mientras que la relación $\text{K}^+/\text{cationes}$ no debe exceder de 35/100; a mayor relación $\text{NO}_3^-/\text{aniones}$ (80/100) y de $\text{K}^+/\text{cationes}$ (55/100) el rendimiento de pepino fue reducido 9.98% y 31.84%, respectivamente debido a alteraciones en las concentraciones de N, P, K, Ca y Mg en las hojas.

$\text{NO}_3^-/\text{anions}$ were not different for ratio 15 and 35/100 $\text{K}^+/\text{cationes}$; however, for the ratio 55/100 $\text{K}^+/\text{cationes}$ there were differences ($p \leq 0.05$) (Table 7).

The highest concentration of Ca (5.49%) was obtained with the combination 80/100 $\text{NO}_3^-/\text{anion}$ 15/100 $\text{K}^+/\text{cationes}$, whereas lower concentrations (1.35 and 1.56% Ca) were obtained with 40/100 and 55/100 and 80/100 $\text{NO}_3^-/\text{anions}$ and 55/100 $\text{K}^+/\text{cationes}$, respectively (Table 7) due to K antagonism with Ca (Kavvadias *et al.*, 2012). $\text{NO}_3^-/\text{anions}$ ratio was different ($p \leq 0.05$) for the concentration of Mg in leaves; the highest concentration of Mg (0.85%) was obtained with the ratio 60/100 $\text{NO}_3^-/\text{anions}$ and the lowest (0.44%) was obtained with 40/100 $\text{NO}_3^-/\text{anions}$ (Table 6). Similarly, concentrations of Mg were also affected ($p \leq 0.05$) by the K^+/cation ratio, where the highest concentration of Mg (0.82%) was obtained with 15/100 $\text{K}^+/\text{cationes}$ and the lowest (0.46% Mg) with 55/100 $\text{K}^+/\text{cationes}$ (Table 8), due to K antagonism on Mg (Gransee and Führes, 2013) and to the lowest concentration of Mg in SN, since a high proportion of K in SN implies a lower concentration of Mg.

Yield and its components

The interaction of $\text{NO}_3^-/\text{anions}$ x $\text{K}^+/\text{cationes}$ factors in SN was significant ($p \leq 0.01$) for average weight of fruits (PMF), while the factors ratio $\text{NO}_3^-/\text{anion}$ and $\text{K}^+/\text{cationes}$ ratios were for fruits per plant (FP) and yield ($p \leq 0.01$) (Table 8), indicating that the interaction N/K did not affect these two variables. Accordingly there is no basis that justify what is done commercially using different ratios N/K during the growing season of cucumber, since the answer is given as main effects and not as interaction between the factors under study.

Conclusions

Growth of cucumber seedlings and yield were not affected by the interaction $\text{NO}_3^-/\text{anion}$ x $\text{K}^+/\text{cationes}$, although the nutrient concentrations in leaves and stems from seedlings and plants showed differential responses to combinations $\text{NO}_3^-/\text{anions}$ x $\text{K}^+/\text{cationes}$. In cucumber production, in a closed hydroponic system and coconut fiber as substrate, the $\text{NO}_3^-/\text{anions}$ ratio should not be greater than 60/100, whereas K^+/cation ratio should not exceed 35/100; at higher ratio $\text{NO}_3^-/\text{anions}$ (80/100) and $\text{K}^+/\text{cationes}$ (55/100)

Agradecimientos

Al Dr. Gustavo A. Baca Castillo, Profesor- Investigador del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, pionero en el uso de las relaciones iónicas en las soluciones nutritivas en hidroponía.

Literatura citada

- Brown, P. H.; Welch, R. M. and Cary, E. E. 1987. Nickel: a micronutrient essential for higher plants. *Plant Physiol.* 85:801-803.
- Fageria, N. K. 2001. Nutrient interactions in crop plants. *J. Plant Nutr.* 24:1269-1290.
- Gransee, A. and Führs, H. 2013. Magnesium mobility in soils as a challenge for soil and plant analysis, magnesium fertilization and root uptake under adverse growth conditions. *Plant Soil.* 368:5-21.
- Hawkesford, M.; Horst, W.; Kichey, T.; Lambers, H.; Schjoerring, J.; Skrumsager, M. I. and White, P. 2012. Functions of macronutrients. *In: Marschener, P. (Ed.). Amsterdam, The Netherlands: Elsevier. Mineral Nutrition of Higher Plants: 135-189.*
- IPI. 2014. Potassium and nitrogen use efficiency. *In: Brar, M. S. and Imas, P. (Comps.). Horgen, Switzerland. 20 p.*
- Johnston, A. E. and Milford, G. F. J. 2009. Nitrogen and potassium interactions in crops. The Potash Development Association. PO Box 697, York, UK. 9 p.
- Kanai, S.; Ohkura, K.; Adu-Gyamfi, J. J.; Mohapatra, P. K.; Nguyen, N. T.; Saneoka, H. and Fujita, K. 2007. Depression of sink activity precedes the inhibition of biomass production in tomato plants subjected to potassium deficiency stress. *J. Exp. Bot.* 58:2917-2928.
- Kavvadias, V.; Paschalidis, C.; Akrivos, G. and Petropoulos, D. 2012. Nitrogen and potassium fertilization responses of potato (*Solanum tuberosum*) cv. Spunta. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 43:176-189.
- Masclaux-Daubresse, C.; Daniel-Vedele, F.; Dechornat, J.; Chardon, F.; Gaufichon, L. and Suzuki, A. 2010. Nitrogen uptake, assimilation and remobilization in plants: challenges for sustainable and productive agriculture. *Ann. Bot.* 105:1141-1157.
- cucumber yield reduced 9.98% and 31.84% respectively due to alterations in the concentrations of N, P, K, Ca and Mg in leaves.

End of the English version



- Motsara, M. R. and Roy, R. N. 2008. Guide to laboratory establishment for plant nutrient analysis. FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin 19. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. 220 p.
- Moreno, P. E. D. C.; Sánchez, D. C. F.; González, M. L.; Pérez, M. C. A. y Magaña, L. N. 2011. Efectos del volumen de sustrato y niveles de N-P-K en el crecimiento de plántulas de pepino. *Terra Latinoam.* 29:57-63.
- Ortiz, C. J.; Sánchez, D. C. F.; Mendoza, C. M. D. C. y Torres, G. A. 2009. Características deseables de plantas crecidas en invernadero e hidroponía en altas densidades de población. *Rev. Fitotec. Mex.* 32:289-294.
- 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. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 16:37-46.
- Preciado, R. P.; Baca, C. G. A.; Tirado, T. J. L.; Kohashi, S. J.; Tijerina, C. L. y Martínez, G. A. 2002. Nitrógeno y potasio en la producción de plántulas de melón. *Terra Latinoam.* 20:267-276.
- Resh, H. M. 1992. Cultivos hidropónicos: nuevas técnicas de producción. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 369 p.
- SIAP. 2014. Cierre de la producción agrícola por estado. www.siap.gob.mx.
- Statistical Analysis System (SAS). 1999. Versión 8. Cary, N. C. USA. 595 p.
- Steiner, A. A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil* 15:134-154.
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. Sixth Int. Congr. on Soilless Culture. ISOSC Proceeding. The Netherlands. 633-649 pp.
- Szczerba, M. W.; Brito, D. T. and Kronzucker, H. J. 2009. K⁺ transport in plants: Physiology and molecular biology. *J. Plant Physiol.* 166:447-466.
- Valdez, A. L. A. and Reed, D. W. 2010. Growth and nutrition of young bean plants under high alkalinity as affected by mixtures of ammonium, potassium, and sodium. *J. Plant Nutr.* 33:1472-1488.
- Zhang, F.; Niu, J.; Zhang, W.; Chen, X.; Li, Ch.; Yuan, L. and Xie, J. 2010. Potassium nutrition of crops under varied regimes of nitrogen supply. *Plant Soil.* 335:21-34.