

SOLUCIONES NUTRITIVAS PARA INDUCIR CAMBIOS DE CONCENTRACIÓN DE N, P, K EN PLANTAS DE MANGO*

NUTRIENT SOLUTIONS TO INDUCE CHANGES IN CONCENTRATION OF N, P, K IN MANGO PLANTS

Anselmo López-Ordaz^{1§}, Gustavo Adolfo Baca-Castillo² y Yolanda Leticia Fernández-Pavía³

¹Botánica. Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco, km 36.5. Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56230. ²Edafología. Colegio de Postgraduados. Tel. 01 595 9520200. Ext. 1188. (bacag@colpos.mx). ³Fruticultura. Colegio de Postgraduados. Tel. 01 595 9520200. Ext. 1111. (mapale1@colpos.mx).

§Autor para correspondencia: anselmomx@yahoo.com y anselmol@colpos.mx.

RESUMEN

Con el objetivo de comparar dos grupos de soluciones nutritivas, se estudiaron mediante las soluciones nutritivas Steiner, o Hoagland-Hewitt los cambios en las concentraciones de N, P y K en plantas de Mango (*Mangifera indica* L.) cv. Haden de 6 meses de edad, inducidos al aplicar mediante un grupo de soluciones Steiner y otro grupo Hoagland-Hewitt niveles bajos (deficiencia), suficientes y altos (toxicidad) de N, P y K. El experimento se realizó en invernadero ubicado en Lomas de San Esteban, Texcoco, México; las plantas fueron adquiridas y estuvieron en un periodo de adaptación del 15 de marzo al 23 de julio y los tratamientos se aplicaron del 24 de julio al 23 de noviembre de 2008. Las plantas fueron cultivadas en un sistema hidropónico por subirrigación, se utilizó como sustrato roca volcánica porosa (tezontle). Se utilizó un diseño factorial completo de tratamientos 3*3*2 con cuatro repeticiones. Con las soluciones del grupo Steiner, independientemente de su nivel de N, P o K en la solución nutritiva, se obtuvieron en las hojas y tallos jóvenes, concentraciones similares de N, P o K, específicamente en los contrastes obtenidos de la interacción compuesta N*P*K. Al contrastar, mediante la antes indicada interacción, el efecto de la solución Hewitt para toxicidad, con la solución Hoagland para deficiencia, hubo diferencia significativa entre las concentraciones de N y P en hojas y tallos jóvenes. Este efecto no se tuvo en la concentración de K en el tallo joven.

ABSTRACT

In order to compare two groups of nutrient solutions, these were studied by the Steiner nutrient solution or Hoagland-Hewitt changes in the concentrations of N, P and K in plants of mango (*Mangifera indica* L.) cv. Haden, of six months, induced by applying at a group of Steiner solutions and another group Hoagland-Hewitt low levels (deficiency), sufficient and high (toxicity) of N, P and K. The experiment was conducted in a greenhouse located in Lomas de San Esteban, Texcoco, Mexico, the plants were purchased and laid in a period of adjustment from March 15th to July 23th and, the treatments were applied from July 24th to November 23th, 2008. The plants were grown in a hydroponic system by sub-irrigation, as substrate, porous volcanic rock (tezontle) was used. We used a full factorial design of treatments 3*3*2 with four replicates. With the solutions of the Steiner group, regardless of their level of N, P or K in the nutrient solution, similar concentrations of N, P or K were obtained in the leaves and young stems, specifically in the interaction contrasts obtained from the N*P*K compound. By contrasting, through the interaction just indicated, the effect of Hewitt solution for toxicity, with the Hoagland solution for deficiency, there was a significant difference between the concentrations of N and P in the leaves and young stems. This effect was not gotten in the K concentration in the young stem.

* Recibido: enero de 2011
Aceptado: septiembre de 2011

Palabras clave: *Mangifera indica* L., potencial osmótico, relaciones iónicas, soluciones nutritivas.

Key words: *Mangifera indica* L., ionic ratios, nutrient solutions, osmotic potential.

INTRODUCCIÓN

El mango (*Mangifera indica* L.) es originario de la región Indo-Birmánica, donde se ha cultivado en la India durante más de 4 000 años. Es una de las frutas tropicales de importancia mundial por su exquisito sabor, aroma y alto valor nutritivo, características que han contribuido para que se incremente su demanda y se amplíen las áreas de cultivo en el mundo. En México, de las áreas tropicales y subtropicales, este frutal constituye un renglón importante en la economía frutícola. Es por ello, que se cultivan 183 892 hectáreas de mango, que representa una producción de 1 509 271 toneladas de fruta (SIAP, 2009).

Los principales productores de este cultivo son los estados de Veracruz, Michoacán, Sinaloa, Nayarit, Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Jalisco, Colima y Campeche; los cuales presentan condiciones favorables para producir fruto de alta calidad de las principales variedades para el mercado de exportación: Haden, Tommy Atkins, Kent e Irwin (SIAP, 2009). Para aumentar la calidad y la producción de este cultivo, es necesario, realizar estudios de investigación que permitan obtener información de los contenidos nutrimentales, con base en la disponibilidad de los nutrimentos que permitan definir la presencia de deficiencias o toxicidades nutrimentales en este cultivo.

Se han realizado estudios para inducir deficiencias o toxicidades nutrimentales, mediante técnicas hidropónicas, en las cuales las soluciones nutritivas difieren en su presión osmótica, así como en las relaciones de aniones, o de cationes de todos los nutrimentos e inclusive se han considerado algunos elementos tóxicos (Smith y Scudder, 1952 y Hewitt, 1969). El empleo de éstas soluciones nutritivas para establecer únicamente la respuesta de la planta a la falta o el exceso de un nutrimento, estaría afectada además de los efectos antes indicados, también por diferencias en la presión osmótica, que provocaría la absorción adicional del fósforo, o absorción limitada de calcio, (Steiner, 1973; 1980).

En este sentido, Bugarín *et al.* (1998) indican que la concentración de calcio en hoja apical de crisantemo disminuye al incrementar la presión osmótica de 0.54 a

INTRODUCTION

The mango (*Mangifera indica* L.) is native to the Indo-Burma region, where it has been cultivated in India for more than 4 000 years. It is a tropical fruit of global importance for its exquisite taste, flavor and high nutritional value, characteristics that have contributed to an increased demand and expanding growing areas around the world. In Mexico, at the tropical and subtropical areas, this fruit is an important item in the economy. Therefore, it's been cultivated 183 892 hectares of mango, which is a production of 1 509 271 tons of fruit (SIAP, 2009).

The main producers of this crop are the States of Veracruz, Michoacán, Sinaloa, Nayarit, Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Jalisco, Colima and Campeche; which present favorable conditions for producing high quality fruit of the main varieties for the export market: Haden, Tommy Atkins, Kent and Irwin (SIAP, 2009). In order to increase the quality and production of this crop, it is necessary to conduct research studies to obtain information on nutrient content, based on the availability of nutrients that would help to define the presence of nutritional deficiencies or toxicities in this crop.

Studies to induce nutrient deficiencies or toxicities have been done, using hydroponic techniques, in which nutrient solutions differing in osmotic pressure, as well as relations of anions, cations or all nutrients, even considering some toxic elements (Smith and Scudder, 1952; Hewitt, 1969). The use of these solutions only to provide the plant's response to the lack or excess of a nutrient would be affected besides the aforementioned effects, also by differences in osmotic pressure, causing additional absorption of phosphorus, or limited absorption of calcium (Steiner, 1973; 1980).

In this sense, Bugarín *et al.* (1998) indicated that, the concentration of calcium in the chrysanthemum's apical leaf decreases when increasing the osmotic pressure from 0.54 to 0.72 atmospheres. Likewise, Flores (1999) found that, the phosphorus concentration in rose's leaves, increased in direct proportion to the level of the osmotic pressure of the nutrient solution, while for calcium, the opposite happened. On the

0.72 atmósferas. Asimismo, Flores (1999), encontró que la concentración de fósforo en hojas de rosa, aumentó en forma directamente proporcional al nivel de la presión osmótica de la solución nutritiva; mientras que para el calcio sucedió lo contrario. Por otra parte, Steiner (1961); Juárez *et al.* (2006) señalan que en la respuesta de las plantas a las soluciones nutritivas, son de mayor importancia las relaciones de nutrimentos específicos, con respecto al total de aniones, o de cationes, expresadas en milimoles de carga por litro, que la concentración absoluta de un solo nutrimento.

Steiner (1984) tomando en cuenta estos aspectos, propuso una metodología para formular soluciones nutritivas verdaderas con igual presión osmótica y pH, independientemente de las modificaciones de interés que afecten a cambios en las relaciones mutuas de aniones, o cationes. Este mismo autor (Steiner, 1984), considera una solución nutritiva verdadera, cuando el producto de las concentraciones de Ca^{2+} por HPO_4^{2-} y de Ca^{2+} por SO_4^{2-} expresadas en milimoles (mmol) es menor de 2.2 y 60 respectivamente. Bayuelo *et al.* (1994), utilizando la solución de Steiner (1984) a 6 y 12 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ de nitrógeno obtuvieron resultados similares en el rendimiento total de frijol.

Las soluciones nutritivas seleccionadas para este estudio son comúnmente empleadas. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue comparar dos grupos de soluciones nutritivas, el primero comprendió a soluciones Hoagland y Arnon (1950) para inducir deficiencias nutrimentales de N, P y K y a soluciones Hewitt (1969) para provocar los correspondientes excesos nutrimentales; el segundo grupo a soluciones Steiner (1984) modificadas para tres niveles nutrimentales: bajo, suficiente y alto, también de N, P y K. Dichos grupos de soluciones se evaluaron mediante las respuestas nutrimentales de plantas de mango en condiciones de hidroponía e invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en condiciones hidroponía e invernadero, ubicado en Lomas de San Esteban, Texcoco, Estado de México. Las plantas fueron adquiridas y estuvieron en un periodo de adaptación del 15 de marzo al 23 de julio y los tratamientos se aplicaron del 24 de julio al 23 de noviembre de 2008.

other hand, Steiner (1961); Juárez *et al.* (2006) indicated that, the response of the plants to nutrient solutions are of utmost importance, the relationships of specific nutrients, with respect to the total anions or cations, expressed in milimoles per liter load, that the absolute concentration of a single nutrient.

Steiner (1984), considering these aspects, proposed a method to formulate true nutrient solutions with equal osmotic pressure and pH, regardless of interest changes that affect changes in the mutual relations of anions or cations. The same author (Steiner, 1984), considered a true nutrient solution when the product of the concentrations of Ca^{2+} by HPO_4^{2-} and Ca^{2+} by SO_4^{2-} expressed in milimoles (mmol) is lower than 2.2 and 60 respectively. Bayuelo *et al.* (1994), using the Steiner solution (1984) at 6 and 12 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ of nitrogen, obtaining similar results in the total yield of bean.

The selected nutrient solutions for this study are commonly employed. Therefore, the objective of this study was to compare two groups of nutrient solutions, the first solution integrated by Hoagland and Arnon (1950) to induce nutrient deficiencies of N, P and K and, Hewitt (1969) solutions to cause the corresponding nutrient excesses; the second group, solutions Steiner (1984) modified for three nutrient levels: low, sufficient and high, of also N, P and K. These groups of solutions were evaluated by nutritional responses of mango plants under hydroponic and greenhouse conditions.

MATERIALS AND METHODS

The experiment was conducted in hydroponic and greenhouse conditions, located in Lomas de San Esteban, Texcoco, Mexico State. The plants were purchased and laid in a period of adjustment from March 15th to July 13th and the treatments were applied from July 24th to November 23th, 2008.

Temperature

The average daily temperature at which these experiment's plants of mango grew and developed ranged from 20.5 to 24.3 °C. In this regard Mata and Mosqueda (1998) mentioned that, the optimum temperatures for growth and development of mango fluctuate between 24 and 27 °C.

Temperatura

La temperatura diaria promedio en la cual crecieron y se desarrollaron las plantas de mango del experimento osciló de 20.5 a 24.3 °C. Al respecto Mata y Mosqueda (1998), mencionan que las temperaturas óptimas para el crecimiento y el desarrollo del mango fluctúan entre los 24 y 27 °C.

Adquisición, adaptación y trasplante de las plantas en el invernadero

Las plantas de mango cv. Haden de 6 meses de edad, fueron adquiridas en un vivero del estado de Morelos, 20 días después de su arribo al invernadero (DDA), a cada una de las plantas se le eliminó el suelo del cepellón y se establecieron en un bancal con sustrato: roca volcánica porosa (tezontle). A partir del día 21 DDA y hasta los 74 DDA, las plantas se regaron con agua de la llave para conseguir su adaptación al invernadero; durante este periodo a 45 DDA, se llevó a cabo el trasplante a las unidades hidropónicas experimentales, las cuales consistieron en recipientes individuales de plástico color negro con capacidad de 20 L.

Las plantas fueron desinfectadas con 2 g de belante por litro de agua, para prevenir enfermedades fúngicas. De 75 a 94 DDA, las plantas de mango se regaron alternadamente con agua de la llave y con 150 mL de la solución de Steiner (1984) preparada con agua destilada. De 95 a 129 DDA, se aplicó diariamente a cada una de las unidades experimentales 14 L de la misma solución nutritiva completa de Steiner (1984). Mediante este proceso se obtuvieron cuatro grupos de plantas con inicio de brotes en diferentes fechas, las cuales constituyeron a su vez las repeticiones del experimento. A partir de 130 DDA, se inició la aplicación de los tratamientos considerados en el trabajo de investigación, cambiándose la solución nutritiva de cada tratamiento cada 15 días, culminando a los 120 días después de haber iniciado los tratamientos (DDIT).

Sistema hidropónico y manejo de soluciones nutritivas

El sistema hidropónico que se utilizó fue por subirrigación (sistema cerrado). Los módulos utilizados consistieron en dos recipientes de plástico con capacidad de 20 L, interconectados en su base por una manguera de 1.25 cm de diámetro. Uno de estos recipientes se llenó con roca volcánica porosa (tezontle) utilizada como sustrato, en el que crecieron y se desarrollaron las plantas, y la solución nutritiva estaba en el otro recipiente. En el tezontle se determinó: la densidad aparente: 0.84 g cm⁻³, la capacidad de campo: 18.68% (agua retenida por el sustrato

Acquisition, adaptation and transplant of the plants in the greenhouse

Mango plants cv Haden of six months, were purchased from a nursery in the State of Morelos, 20 days after their arrival in the greenhouse (DAA), to each of the plants, the soil got removed from the root ball and settled on a bench with substrate: porous volcanic rock (tezontle). From day 21 DAA to 74 DAA, the plants were watered with tap water to ensure their adaptation in the greenhouse; during this period at 45 DAA, the transplant of the experimental hydroponic units were done, consisting of individual containers of black plastic with a capacity of 20 L.

The plants were disinfected with 2 g of belant per liter, in order to prevent fungal diseases. From 75 to 94 DAA, the mango plants were irrigated alternately with tap water and 150 mL of Steiner (1984) solution prepared with distilled water. From 95 to 129 DAA, to each of the experimental units 14 L of the same complete nutrient solution of Steiner (1984) was applied daily. Through this process, four groups of plants with new buds on different dates were obtained, which in turn constituted the replicates of the experiment. From 130 DAA, began the application of the treatments considered in this paper, changing the nutrient solution from each treatment every 15 days, finishing at 120 days after starting the treatment (DDIT).

Hydroponic system and nutrient solutions management

The hydroponic system used was by sub-irrigation (closed system). The modules used consisted of two plastic containers with a capacity of 20 L, interconnected at their base by a hose 1.25 cm in diameter. One of these containers was filled with porous volcanic rock (tezontle) used as substrate, in which the plants grew and developed and, the nutrient solution was in the other container. In the tezontle was determined: bulk density: 0.84 g cm⁻³, field capacity: 18.68% (water retained by the substrate after drainage), the percentage of saturation: 66.48% and particle size, particles larger than 12.7 mm: 0%, 12.7 to 6.35 mm, 44.03%, from 6.35 to 4.75 mm, 17.39%, from 4.75 to 4 mm: 31.97%, from 4 to 3.05 mm: 0.73%, from 3.05 to 2.38 mm: 4.07%; from 2.38 to 0.84 mm, 0.74% and smaller than 0.84 mm: 1.05%, average values of three samples and the percentage refers to the weight.

Two groups of nutrient solutions were used, Steiner, Hoagland or Hewitt (Table 1), prepared with tap water, where all the ions were determined in the water, the very

después de su drenado), el porcentaje de saturación: 66.48% y la granulometría, partículas mayores de 12.7 mm: 0%; de 12.7 a 6.35 mm: 44.03%; de 6.35 a 4.75 mm: 17.39%; de 4.75 a 4 mm: 31.97%; de 4 a 3.05 mm: 0.73%; de 3.05 a 2.38 mm: 4.07%; de 2.38 a 0.84 mm: 0.74% y menores de 0.84 mm: 1.05%; valores promedio de tres muestras y el porcentaje se refiere al peso.

Se utilizaron dos grupos de soluciones nutritivas Steiner y Hoagland o Hewitt (Cuadro 1), preparadas con agua de la llave, donde se determinaron todos los iones contenidos en el agua, mismos que fueron descontados de cada una de las soluciones nutritivas utilizadas en el experimento. Las soluciones del primer grupo (Steiner) fueron modificadas en su concentración del nutrimento en cuestión (N, P o K) de acuerdo con la concentración propuesta para los tratamientos: baja, suficiente y alta. Las soluciones del segundo grupo (Hoagland o Hewitt) corresponden a las recomendaciones específicas de los autores para cada nutrimento (N, P o K); para lograr los niveles de deficiencia, suficiencia o toxicidad del nutrimento; por lo tanto, también los potenciales osmóticos resultantes para cada una de ellas (Cuadro 2).

same ones that were deducted from each of the nutrient solutions used in the experiment. The solutions of the first group (Steiner) were modified in concentration of the nutrient in question (N, P or K) according with the proposed concentration for the treatments: low, sufficient and high. The solutions of the second group (Hoagland and Hewitt) correspond to the specific recommendations of authors for each nutrient (N, P or K) to achieve the levels of deficiency, sufficiency or toxicity of the nutrient, and therefore, also the osmotic potential resulting for each of them (Table 2).

The nutrient solutions groups, types of nutrients and nutrient concentrations in the solutions are presented in Table 1, the chemical composition of nutrient solutions (Table 3). The nutrient solutions' pH of the Steiner group, was adjusted daily with H₂SO₄ or with NaOH to keep it between 5 and 5.5; the solutions of Hoagland (1950) and Hewitt (1969), were adjusted daily with the same reagents in order to get pH 6, according with the recommendation of the authors in this regard. In both cases a portable potentiometer was used.

Cuadro 1. Grupos de soluciones nutritivas, empleadas en el experimento.

Table 1. Groups of nutrient solutions used in the experiment.

Solución	Nitrógeno bajo	Nitrógeno suficiente (mmol _c L ⁻¹)	Nitrógeno alto
Hoagland o Hewitt	0	15	32 [†]
Steiner	6	12	18
Solución	Fósforo bajo	Fósforo suficiente	Fósforo alto
Hoagland o Hewitt	0	1	4
Steiner	0.5	1	2
Solución	Potasio bajo	Potasio suficiente	Potasio alto
Hoagland o Hewitt	0	6	8
Steiner	3.5	7	14

[†]= comprende a nitrógeno (nitrato) en la relación de aniones y a nitrógeno (amonio) en la relación de cationes.

Cuadro 2. Potencial osmótico (MPa) de las soluciones nutritivas empleadas en el experimento.

Table 2. Osmotic potential (MPa) of the nutrient solutions used in the experiment.

Solución	Nitrógeno bajo	Nitrógeno suficiente	Nitrógeno alto
Hoagland o Hewitt	-0.0408	-0.074	-0.1104
Steiner	-0.072	-0.072	-0.072
Solución	Fósforo bajo	Fósforo suficiente	Fósforo alto
Hoagland o Hewitt	-0.0672	-0.074	-0.0792
Steiner	-0.072	-0.072	-0.072
Solución	Potasio bajo	Potasio suficiente	Potasio alto
Hoagland o Hewitt	-0.0492	-0.074	-0.0864
Steiner	-0.072	-0.072	-0.072

Los grupos de soluciones nutritivas, los tipos de nutrientes y las concentraciones de los nutrientes en las soluciones se presentan en el Cuadro 1; la composición química de las soluciones nutritivas (Cuadro 3). El pH del grupo de soluciones nutritivas de Steiner, se ajustó diariamente con H_2SO_4 o con NaOH para mantenerlo entre 5 y 5.5; las soluciones de Hoagland (1950) o Hewitt (1969), se ajustaron diariamente con los mismos reactivos para obtener pH de 6, de acuerdo con la recomendación de los autores al respecto. En ambos casos se empleó un potenciómetro portátil.

Irrigation management and water replacement

Irrigations were given once a day from 8:00 to 9:00 am manually, the method consisted to raise the bucket with the respective nutrient solution at a bucket-height with the substrate, naturally flooded, after this, when lowering the bucket with the solution to a lower height, it got drained and the solution was recovered. The replacement of water absorbed by the plant was made when losing about 5% out of the 14 L contained in each experimental unit.

Cuadro 3. Composición química de las soluciones nutritivas [Steiner, 1984 (S)[†], Hoagland, 1950 (Ho) y Hewitt, 1969 (He)].
Table 3. Chemical composition of the nutrient solutions [Steiner, 1984 (S)[†], Hoagland, 1950 (Ho) and Hewitt, 1969 (He)].

Nutrimento	Concentración	Unidades (mmol _c L ⁻¹)						
		NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺
N	Alta (S)	16.55	0.229	1.609	6.436	8.275	3.678	-
N	Suficiente (S)	12	1	7	7	9	4	-
N	Baja (S)	6.575	1.917	13.424	7.671	9.863	4.383	-
P	Alta (S)	11.299	1.987	6.59	6.957	8.945	3.975	-
P	Suficiente(S)	12	1	7	7	9	4	-
P	Baja(S)	12.353	0.501	7.206	7.021	9.027	4.012	-
K	Alta(S)	10.746	0.895	6.268	12.537	3.719	1.653	-
K	Suficiente(S)	12	1	7	7	9	4	-
K	Baja(S)	12.743	1.061	7.433	3.716	12.13	5.391	-
N	Baja (Ho)	-	1	13	5	5	4	-
N	Suficiente (Ho)	15	1	4	6	10	4	-
N	Alta (He)	16	2	10	4	4	4	16
P	Baja (Ho)	14	-	4	6	8	4	-
P	Suficiente (Ho)	15	1	4	6	10	4	-
P	Alta (He)	8	4	10	6	4	4	8
K	Baja (Ho)	10	1	4	-	11	4	-
K	Suficiente (Ho)	15	1	4	6	10	4	-
K	Alta (He)	8	2	14	8	4	4	8

[†]= valores de concentraciones de las soluciones nutritivas del grupo Steiner, difieren de las concentraciones absolutas propuestas (Cuadro 1), debido que fueron modificadas para igualar sus presiones osmóticas.

Manejo de los riegos y reposición del agua consumida

Los riegos se dieron una vez por día de 8:00 a 9:00 am de manera manual, el método consistió en elevar la cubeta con su respectiva solución nutritiva a una altura superior a la cubeta con el sustrato, por gravedad se inundó el sustrato, posteriormente al bajar la cubeta con la solución a una altura inferior se drenó y se recuperó la solución. La reposición del agua absorbida por la planta, se hizo cada vez que se perdía aproximadamente 5% de los 14 L que contenía cada unidad experimental.

Treatments and experimental design

The Table 3 shows the 18 treatments that were used in this paper, generated from the three studied factors, which are listed in Table 1. The treatments had the structure of the complete factorial experimental design 3*3*2 with four replications. The experimental units were placed inside the greenhouse in correspondence to a completely randomized design.

Tratamientos y diseño experimental

En el Cuadro 3 se presentan los 18 tratamientos que se utilizaron en el presente trabajo de investigación, mismos que se generaron a partir de los tres factores de estudio, los cuales se señalan en el Cuadro 1. Los tratamientos tuvieron la estructura del diseño experimental factorial completo 3*3*2 con cuatro repeticiones. Las unidades experimentales se ubicaron dentro del invernadero en correspondencia al diseño experimental completamente al azar.

Muestreos de hojas y tallos

En el Cuadro 4 se presentan los días después de iniciado los tratamientos, cuando se realizaron los muestreos de hojas y tallos. Se muestrearon hojas adultas en el primer y segundo muestreo; el tercer muestreo se consideró hoja, tallo en edad joven y adulta, que dio un total de seis muestras por tratamiento. Las muestras se lavaron y se secaron en estufa de aire forzado a 70 °C durante 48 h; posteriormente, se molieron en un molino de acero inoxidable y se realizó el análisis químico del tejido vegetal. El N se determinó mediante el método microkjeldahl (Brearen y Mulvaney, 1982). El P y el K mediante digestión húmeda convencional (Alcántar y Sandoval, 1999), se cuantificaron con un espectrofotómetro de inducción con plasma acoplada (ICP-AES), marca Varian.

Sampling of leaves and stems

The Table 4 shows the days after initiating the treatment when the samples of leaves and stems were made. Mature leaves were sampled in the first and second sampling; for the third sampling was considered the leaf, stem young and old, giving a total of six samples per treatment. The samples were washed and dried in a forced-air oven at 70 °C for 48 h; then they got milled in a stainless steel mill and the chemical analysis of plant tissue was performed. The N was determined by the method microkjeldahl (Brear and Mulvaney, 1982). The P and K by conventional wet digestion (Alcantara and Sandoval, 1999), quantified with an induction coupled plasma spectrophotometer (ICP-AES), Varian brand.

Statistical Analysis

The plant chemical analysis data were examined statistically using SAS statistical analysis system (1995) through the analysis of variance for the factorial design used and the means of Tukey test ($p \leq 0.05$). Comparison of means of interactions was performed using the Scheffé test ($p \leq 0.05$), according to the recommendation of Martínez (1996).

Cuadro 4. Días después de iniciados los tratamientos cuando se realizaron los muestreos de hojas y tallos en plantas de mango.
Table 4. Days after the onset of treatments, when the mango's leaves and stem samples were made.

Muestreo	Hoja adulta	Hoja joven	Tallo adulto	Tallo joven
Primero	48	-	-	-
Segundo	67	-	-	-
Tercero	120	120	120	120

Análisis estadístico

Los datos obtenidos del análisis químico vegetal fueron examinados estadísticamente mediante el sistema de análisis estadístico SAS (1995), a través del análisis de varianza correspondiente al diseño factorial utilizado, así como la prueba de medias de Tukey ($p \leq 0.05$). La comparación de medias de las interacciones se realizó mediante la prueba de Scheffé ($p \leq 0.05$), de acuerdo con la recomendación de Martínez (1996).

RESULTS AND DISCUSSION

From the variables considered in this study: concentrations of N, P and K in the following organs of the plant: young and adult leaves, adults and young stems, sampled three times, as indicated in Table 4. The statistical significances are presented in Tables 5, 6 and 7, in the proper order. Taking into account that, the structure of the treatments included the following factors: type of nutrient (N), nutrient

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de las variables consideradas en el estudio: concentraciones de N, P y K en los siguientes órganos de la planta: hojas adultas y jóvenes, tallos adultos y jóvenes, muestreados en tres ocasiones, en la forma indicada en el Cuadro 4. Las significancias estadísticas se presentan en los Cuadros 5, 6 y 7, en el orden correspondiente. Tomando en cuenta que la estructura de los tratamientos comprendió los siguientes factores principales: tipo de nutrimento (N), concentración del nutrimento (C) y tipo de solución nutritiva (S), se obtuvieron además de los efectos principales efectos correspondientes de las interacciones de primero y segundo orden, los resultados se presentan en los Cuadros 5, 6 y 7.

concentración (C) and type of nutrient solution (S), besides this results, effects related on interactions in the first and second order were also obtained, the results are presented in Tables 5, 6 and 7.

The Tables 5 and 6 shows that foliar concentrations of N and P, increased effects were significant for the young leaf of the third sampling (six effects), followed by the young stem (five effects). In both organs, the interaction of second degree or N*C*S compound is found, which in statistical terms, was highly significant. Likewise, this type of interaction allows to comparing the single most important effects (Juárez, 2010) due to two nutrient solutions, which in turn are selected using orthogonal contrasts, from the interaction of the second degree.

Cuadro 5. Significancias estadísticas (probabilidad de F) de la concentración de N en hoja y tallo de plantas de mango cultivadas en hidroponía.

Table 5. Statistical significance (probability of F) the concentration of N in leaf and stem of mango plants grown in hydroponics.

Fuente de variación	¹ Hoja adulta	² Hoja adulta	³ Hoja joven	³ Tallo joven	³ Hoja adulta	³ Tallo adulto
Nutrimento (N)	0.9064	0.3091	0.0001	0.5503	0.0944	0.1354
Concentración (C)	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Solución (S)	0.0004	0.0003	0.0001	0.0001	0.0001	0.0003
N*C	0.005	0.5793	0.0001	0.0001	0.0645	0.0117
N*S	0.4741	0.1247	0.7693	0.5602	0.6631	0.3083
C*S	0.0001	0.0143	0.0001	0.0001	0.3773	0.0001
N*C*S	0.1902	0.1799	0.0004	0.0001	0.0285	0.1038
CV	17.9	18.82	25.09	30.05	26.32	37.48

¹= primer muestreo; ²= segundo muestreo; ³= tercer muestreo; CV= coeficiente de variación.

Cuadro 6. Significancias estadísticas (probabilidad de F) de la concentración de P en hoja y tallo de plantas de mango cultivadas en hidroponía.

Table 6. Statistical significance (probability of F) the concentration of P in leaf and stem of mango plants grown in hydroponics.

Fuente de variación	¹ Hoja adulta	² Hoja adulta	³ Hoja joven	³ Tallo joven	³ Hoja adulta	³ Tallo adulto
Nutrimento (N)	0.2629	0.0275	0.0001	0.0017	0.0021	0.0001
Concentración (C)	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Solución (S)	0.1309	0.7458	0.0271	0.2967	0.0001	0.6837
N*C	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
N*S	0.2485	0.7907	0.0008	0.0001	0.9709	0.8149
C*S	0.0001	0.1219	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
N*C*S	0.0676	0.9573	0.0001	0.0014	0.1114	0.0982
CV	36.16	37.03	29.83	31.6	33.11	27.06

¹= primer muestreo; ²= segundo muestreo; ³= tercer muestreo; CV= coeficiente de variación.

Cuadro 7. Significancias estadísticas (probabilidad de F) de la concentración de K en hoja y tallo de plantas de mango cultivadas en hidroponía.

Table 7. Statistical significance (probability of F) the concentration of K in leaf and stem of mango plants grown in hydroponics.

Fuente de variación	¹ Hoja adulta	² Hoja adulta	³ Hoja joven	³ Tallo joven	³ Hoja adulta	³ Tallo adulto
Nutrimiento (N)	0.0007	0.0349	0.0001	0.0001	0.0405	0.0156
Concentración (C)	0.196	0.515	0.0817	0.0081	0.977	0.0271
Solución (S)	0.0001	0.0001	0.6376	0.0001	0.0347	0.3493
N*C	0.0001	0.1998	0.0012	0.0006	0.0001	0.0001
N*S	0.0001	0.6271	0.0001	0.0001	0.0001	0.0902
C*S	0.0014	0.1663	0.0039	0.0009	0.6166	0.7941
N*C*S	0.3148	0.1013	0.0703	0.0262	0.0047	0.5387
CV	20.73	33.25	30.29	22.35	24.83	28.1

¹= primer muestreo; ²= segundo muestreo; ³= tercer muestreo; CV= coeficiente de variación.

En los Cuadros 5 y 6, se observa que las concentraciones foliares de N y P, se obtuvieron mayor número de efectos significativos para la hoja joven del tercer muestreo (sies efectos), seguido por el correspondiente al tallo joven (cinco efectos). En ambos órganos, se encuentra a la interacción de segundo grado o compuesta N*C*S, la cual en términos estadísticos, resultó altamente significativa. Asimismo, éste tipo de interacción permite comparar los efectos simples más importantes (Juárez, 2010) debido a dos soluciones nutritivas, los cuales a su vez son seleccionados mediante contrastes ortogonales, de la interacción de segundo grado.

A causa de éstos motivos los resultados y la discusión se enfocaron a las concentraciones de N y P en la hoja joven del tercer muestreo, sin descuidar del todo a los resultados similares correspondientes al tallo joven del tercer muestreo. Por otra parte, respecto a las concentraciones de K en el tallo joven del tercer muestreo (Cuadro 7), los resultados son también muy similares a los señalados para las concentraciones de N y P.

Los efectos en la variable concentración de N en la hoja joven del tercer muestreo (CNHJ3), debido a la interacción compuesta de los factores siguientes: 1) concentración del nutrimento en la solución nutritiva, 2) tipo de nutrimento; y 3) grupo de solución nutritiva, cuando el primer factor fue variable, y el segundo y tercero estuvieron fijos, se presentan en el Cuadro 8. Se observa que con el grupo de soluciones Hoagland-Hewitt se obtuvieron valores de CNHJ3 de 0 a 51.85 mg g⁻¹, la diferencia entre ellos fue estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$), y se debió a la concentración baja de N en la solución Hoagland

Because of these reasons, the results and discussion were focused on the concentrations of N and P in the young leaf of the third sample, without neglecting entirely similar results for the young stem of the third sampling. Moreover, regarding the concentrations of K in the young stem of the third sampling (Table 7), the results are also quite similar to those identified for concentrations of N and P.

The variable effects on N concentration in the young leaf of the third sampling (CNHJ3) due to the interaction integrated of the following factors: 1) nutrient concentration in the nutrient solution; 2) type of nutrient; and 3) group of nutrient solution, when the first factor was variable, and the second and third were fixed, are presented in Table 8. It is observed that, the group-Hewitt Hoagland solutions were obtained CNHJ3 values from 0 to 51.85 mg g⁻¹, the difference between them was statistically significant ($p \leq 0.05$), and was due to the low concentration of N in the solution Hoagland and high N concentration in the solution Hewitt respectively. It is inferred that, the first result was due to the absence of N in the nutrient solution that prevented the growth of the vegetative shoot.

In contrast, the high content of N in the Hewitt solution (16 mmol_c L⁻¹ NO₃⁻ and 16 mmol_c L⁻¹ of NH₄⁺), caused the highest CNHJ3 (Table 8). Among the different CNHJ3 caused by the concentration of N in the group Steiner nutrient solution (Table 8), there were no significant differences ($p \leq 0.05$), even the values obtained from CNHJ3 were quite similar, even though variations of N concentration were quite large: 6 575 12 and 16.55 mmol_c of ion L⁻¹ NO₃⁻ (low concentration, sufficient and high, respectively, Table 3).

y la concentración alta de N en la solución Hewitt respectivamente. Se infiere que el primer resultado, se debió que la ausencia de N en la solución nutritiva impidió el crecimiento del brote vegetativo.

The effect was due to two causes, first the group Steiner nutrient solution had the same osmotic potential (Table 2), and therefore the plant uptake of ion NO_3^- was not affected by the phenomenon known as mass flow (Steiner, 1973).

Cuadro 8. Concentración de N (mg g^{-1}) en la hoja joven del tercer muestreo en plantas de mango.

Table 8. Concentration of N (mg g^{-1}) in the mango's young leaf of the third sampling.

Concentración	Hoagland-Hewitt ^{††}			Steiner		
	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
Baja	0 b [†]	23.96 a	32.26 a	15.56 a	20.34 a	28.02 a
Suficiente	29.82 ab	29.92 a	33.89 a	14.57 a	19.62 a	23.68 a
Alta	51.85 a	33.89 a	41.74 a	16.64 a	19.8 a	21.24 a

[†]= medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales; ^{††}= la Solución Hewitt (1969) corresponde a la concentración alta. Valor de Scheffé para esta prueba ($p \leq 0.05$): 43.54.

Por el contrario, el alto contenido de N de la solución Hewitt ($16 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ de NO_3^- y $16 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ de NH_4^+), causó la mayor CNHJ3 (Cuadro 8). Entre las diferentes CNHJ3 causadas por la concentración de N en las soluciones nutritivas del grupo Steiner (Cuadro 8), no se obtuvieron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), incluso los valores obtenidos de CNHJ3 fueron muy similares entre sí, a pesar que las variaciones de concentración de N fueron grandes: 6.575, 12 y 16.55 $\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$ del ión NO_3^- (concentración baja, suficiente y alta, respectivamente, Cuadro 3).

El efecto se debió a dos causas, la primera las soluciones nutritivas del grupo Steiner tuvieron el mismo potencial osmótico (Cuadro 2), y por lo tanto la absorción por la planta del ión NO_3^- no fue afectada por el fenómeno llamado flujo de masa (Steiner, 1973). La segunda causa probable es que las soluciones nutritivas con diferente concentración de N fueron en realidad relaciones de concentración del ión NO_3^- con respecto al total de aniones y no la simple concentración iónica absoluta del ión NO_3^- en la solución nutritiva.

Al respecto Steiner (1966), señaló que en investigaciones para evaluar la respuesta de las plantas a soluciones nutritivas, deben utilizarse relaciones de concentración de iones, además indica que en dicha relación está incluida la concentración iónica absoluta del ión en cuestión. En forma complementaria este efecto (concentración relativa del ión NO_3^- con respecto al total de aniones) de las soluciones nutritivas experimentadas del grupo Steiner en cuestión, tuvieron la misma relación mutua de cationes y la misma relación de concentración entre los aniones H_2PO_4^- y SO_4^{2-} (Cuadro 3). Con respecto a esto Bayuelo *et al.* (1994),

The second likely cause is that, the nutrient solutions with different concentrations of N were actually concentrations relations of ion NO_3^- with respect to the total number of anions and not just the absolute ion concentration of ion NO_3^- in the nutrient solution.

In this regard Steiner (1966) noted that in investigations to evaluate the response of plants to nutrient solutions should be used ion concentration ratios, he also indicates that, in this relationship the absolute ion concentration in question it's already included. Complementary, this effect (relative concentration of ion NO_3^- in respect to the total of anion) of the nutrient solutions experienced in the Steiner group in question had the same relationship to each other and, the same cation concentration ratio between the anions H_2PO_4^- and SO_4^{2-} (Table 3). In this regard Bayuelo *et al.* (1994), using as input the universal Steiner nutrient solution (1984) at 6 and 12 $\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$ NO_3^- , the biomass production obtained were quite similar to each other.

The nutrient solutions used by Bayuelo *et al.* (1994) for the cultivation of beans had the same osmotic potential and the same mutual relation of cations and the concentration ratio between the anions H_2PO_4^- and SO_4^{2-} , therefore, they were quite similar to those found during this study.

The effects of CNHJ3 variable due to the interaction consistent of the following factors: 1) nutrient solution group, 2) type of nutrient, and 3) the nutrient concentration in the nutrient solution, when the first factor was variable and the second and third were fixed (Table 9), there was a significant difference ($p \leq 0.05$) between the high

utilizando como base la solución nutritiva universal de Steiner (1984) a 6 y 12 mmol_c L⁻¹ de NO₃⁻, obtuvieron producciones de biomasa similares entre ellos.

Las soluciones nutritivas usadas por Bayuelo *et al.* (1994) para el cultivo de frijol tuvieron el mismo potencial osmótico y la misma relación mutua de cationes y la relación de concentración entre los aniones H₂PO₄⁻ y SO₄²⁻, por lo tanto, fueron muy similares a las del presente estudio.

Los efectos de la variable CNHJ3 debido a la interacción compuesta de los factores siguientes: 1) grupo de solución nutritiva; 2) tipo de nutrimento; y 3) concentración del nutrimento en la solución nutritiva, cuando el primer factor fue variable y el segundo y tercero estuvieron fijos (Cuadro 9), hubo diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre la concentración alta de N de las soluciones del grupo Steiner y la correspondiente del grupo Hoagland-Hewitt, 16.64 y 51.85 mg g⁻¹; respectivamente, este efecto se debe por la mayor concentración total de N en la solución nutritiva Hewitt: 32 mmol_c L⁻¹, que dicha solución contiene N en forma de N-NO₃⁻: 16 y N-NH₄⁺: 16 mmol_c L⁻¹, mientras que la solución Steiner solamente contiene N-NO₃⁻: 16.55 mmol_c L⁻¹ (Cuadro 3).

concentración de N of the Steiner group's solutions and the corresponding to Hoagland-Hewitt group, 16.64 and 51.85 mg g⁻¹, respectively, this effect is due for the highest total concentration of N in the nutrient solution Hewitt: 32 mmol_c L⁻¹, that the solution contains N in N-NO₃⁻: 16 and N-NH₄⁺: 16 mmol_c L⁻¹, while the solution Steiner contains only N-NO₃⁻: 16.55 mmol_c L⁻¹ (Table 3).

With respect of the concentrations of N in the young stems of the third sampling, we found exactly the same contrasts with statistically significant effects ($p \leq 0.05$) belonging to the double interaction, found for CNHJ3 (Tables 8 and 9), which besides confirming the results found for CNHJ3, we may infer that, the Haden mango plants cv of six months, at 120 days of treatment with the nutrient solutions in question, generated stems and leaves that were equally nourished with N, without observing defined dominance in the absorption and the transport of this nutrient to any of the organs.

The effects on the variable P concentration in the young leaf of the third sampling (CPHJ3) due to the interaction integrated of the following factors: 1) the nutrient

Cuadro 9. Concentración de N (mg g⁻¹) de la hoja joven del tercer muestreo en plantas de mango.

Table 9. Concentration of N (mg g⁻¹) of the mango's young leaf of the third sampling.

Solución	Baja			Suficiente			Alta		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Steiner	15.56 a [†]	20.34 a	28.02 a	14.57 a	19.62 a	23.68 a	16.64 b	19.8 a	21.24 a
Hoagland ^{††}	0 a	23.96 a	32.26 a	29.82 a	29.92 a	33.89 a	51.85 a	33.89 a	41.74 a

[†]= medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales; ^{††}= solución Hewitt (1969), cuando corresponde a la concentración alta. Valor de Scheffé para esta prueba ($p \leq 0.05$): 28.89.

Respecto a las concentraciones de N en los tallos jóvenes del tercer muestreo, se encontraron exactamente los mismos contrastes con efectos estadísticamente significativos ($p \leq 0.05$) pertenecientes a la interacción doble, encontrados para la CNHJ3 (Cuadros 8 y 9), lo cual además de confirmar los resultados encontrados para la CNHJ3, permite inferir que las plantas de mango cv Haden de 6 meses de edad, en 120 días de tratamiento con las soluciones nutritivas en cuestión, emitieron tallos y hojas que resultaron igualmente nutridos con N, sin observarse dominancia definida en la absorción y el transporte de dicho nutrimento a alguno de los órganos.

Los efectos en la variable concentración de P en la hoja joven del tercer muestreo (CPHJ3), debido a la interacción compuesta de los factores siguientes: 1) concentración del

concentration in the nutrient solution; 2) type of nutrient; and 3) type of solution, when the first factor is variable and the second and third are fixed (Table 10). It is observed that, Hoagland solution and the Hewitt solution, with low and high concentrations of P in the nutrient solution, respectively, resulted in the same order, the lowest or highest CPHJ3 (1.12 and 6.33 mg g⁻¹), values statistically different ($p \leq 0.05$) with each other, this result is discussed below.

In contrast with the solutions of the Steiner group, there were no significant differences ($p \leq 0.05$) by the effect of the concentrations of P in the nutrient solution: 1.987, 1 and 0.501 mmol_c L⁻¹ (Table 3), even though the differences among them are relatively large. This effect, as in the case of nitrogen, was due that the concentrations of P in the

nutrimento en la solución nutritiva; 2) tipo de nutrimento; y 3) tipo de solución, cuando el primer factor es variable y el segundo y tercero están fijados (Cuadro 10). Se observa que la solución Hoagland y la solución Hewitt, con las concentraciones baja y alta de P en la solución nutritiva respectivamente, causaron en el mismo orden la más baja o la más alta CPHJ3 (1.12 y 6.33 mg g⁻¹), valores estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$) entre sí, éste resultado se discute adelante.

En cambio con las soluciones del grupo Steiner, no se obtuvieron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) por efecto de las concentraciones de P en la solución nutritiva: 1.987, 1 y 0.501 mmol_c L⁻¹ (Cuadro 3), a pesar que las diferencias entre ellas son relativamente grandes. Dicho efecto, como en el caso del nitrógeno, se debió que dichas concentraciones de P en la solución, fueron en realidad relaciones del ión H₂PO₄⁻ con respecto al total de aniones y no las simples concentraciones iónicas absolutas del nutrimento en cuestión.

La discusión presentada en párrafos anteriores para el caso del N, es aplicable también para el P, en éste caso, a diferencia del N, la absorción de P por la planta, debido a las soluciones nutritivas, también tuvieron el mismo potencial osmótico (Cuadro 2), dicha absorción no fue afectada por efectos de difusión (Steiner, 1973). Por otra parte, cabe enfatizar que como en el caso del N, las soluciones variables en su concentración de P, en realidad fueron variables en su concentración del anión H₂PO₄⁻ con respecto al total de aniones; además, tuvieron la misma relación mutua de cationes y la misma relación de concentración entre los aniones NO₃⁻ y SO₄²⁻ (Cuadro 3).

La diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en CPHJ3, debido al efecto de alta y baja concentración de P en las soluciones nutritivas Hewitt y Hoagland: 6.33 y 1.12 mg g⁻¹ respectivamente (Cuadro 10), se le atribuye tanto al efecto directamente proporcional de la concentración de P en las soluciones 1.987 y 0.501 mmol_c L⁻¹ respectivamente (Cuadro 3), como al pH de dichas soluciones. En el Cuadro 3 se indicó que la solución Hewitt, con alta concentración de P tiene en su composición química 8 mmol_c L⁻¹ de N-NH₄⁺, mientras que la solución Hoagland con baja concentración carece de N-NH₄⁺. El ión NH₄⁺ de la solución Hewitt provocó acidificación fisiológica del pH de la solución nutritiva y se incrementó la concentración de H₂PO₄⁻ con respecto a HPO₄²⁻ (Riley y Barber, 1971; De Rijck y Schrevens, 1998; De Rijck y Schrevens, 1999; Zúñiga-Estrada *et al.*, 2004; Juárez, 2010).

solution were actually ion H₂PO₄⁻'s relationships with respect of the total of anions and not the simple absolute ionic concentrations of the nutrient in question.

The discussion presented above for the case of N, is also applicable for P, in this case, unlike the N, P absorption by the plants due to the nutrient solutions had also the same osmotic potential (Table 2), such absorption was not affected by diffusion effects (Steiner, 1973). Moreover, it's noteworthy that as in the case of N, the variables solutions in concentrations of P, in fact they were variable in the anion H₂PO₄⁻'s concentration with respect to the total of anions; also, they had the same relation to each cation and the same concentration ratio between the anions NO₃⁻ and SO₄²⁻ (Table 3).

The significant difference ($p \leq 0.05$) in CPHJ3, due to the effect of high and low concentration of P in the Hoagland and Hewitt solutions: 6.33 and 1.12 mg g⁻¹ respectively (Table 10), is credited for both, the directly proportional effect of P concentration in the solutions 1987 and 0501 mmol_c L⁻¹ respectively (Table 3), and the pH of these solutions. The Table 3 indicated that, the solution Hewitt, with a high concentration of P has the chemical composition of 8 mmol_c L⁻¹ of N-NH₄⁺, while the Hoagland solution with a low concentration of N-NH₄⁺. The ion NH₄⁺ of the Hewitt solution provoked physiological acidification of pH of the nutrient solution increased the concentration of H₂PO₄⁻ with respect of HPO₄²⁻ (Riley and Barber, 1971; De Rijcke and Schrevens, 1998; De Rijcke and Schrevens, 1999; Zúñiga-Estrada *et al.*, 2004; Juárez, 2010).

The effects on the CPHJ3 variable due to the interaction composed of the following factors: 1) type of solution, 2) type of nutrient, and 3) the nutrient concentration in the nutrient solution, when the first factor is variable and the second and third are fixed (Table 11). It is noted that the only statistically significant difference ($p \leq 0.05$) was found within the comparison of group Hewitt-Hoagland solutions with Steiner's solutions group, when the concentration of N is low; 0 mg g⁻¹ and 5.46 mg g⁻¹ of CPHJ3 were obtained, with the first and second group, respectively.

These results were attributed to the absence of N in Hoagland solution, corresponding to the low concentration of N (Table 3), the plant did not issue the corresponding vegetative shoot and therefore, the value of the CPHJ3 was null, while for the Steiner solution at low concentration of N, it was 6.575 mmol_c L⁻¹ (Table 3), a concentration that was

Cuadro 10. Concentración de P (mg g⁻¹) de la hoja joven del tercer muestreo en plantas de mango.
Table 10. Concentration of P (mg g⁻¹) of the mango's young leaf of the third sampling.

Concentración	Hoagland-Hewitt ††			Steiner		
	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
Baja	0 a †	1.12 b	1.66 a	5.46 a	1.58 a	1.75 a
Suficiente	2.08 a	1.75 ab	1.71 a	2.15 a	2.5 a	1.74 a
Alta	2.77 a	6.33 a	3.39 a	1.45 a	5.21 a	2.58 a

†= medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales; ††= la solución Hewitt (1969) corresponde a la concentración alta. Valor de Scheffé para esta prueba ($p \leq 0.05$): 5.13.

Los efectos en la variable CPHJ3 debido a la interacción compuesta de los factores: 1) tipo de solución, 2) tipo de nutrimento; y 3) concentración del nutrimento en la solución nutritiva, cuando el primer factor es variable y el segundo y tercero están fijos (Cuadro 11). Se tiene que la única diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$) encontrada corresponde a la comparación entre el grupo de soluciones Hoagland-Hewitt con el grupo de soluciones Steiner, cuando la concentración de N es baja; se obtuvieron 0 mg g⁻¹ y 5.46 mg g⁻¹ de CPHJ3 con el primero y segundo grupo, respectivamente.

quite enough for the plant to issue a vegetative shoot, where CPHJ3 was determined, which corresponded to 5.46 mg g⁻¹ (Table 11), a relatively high value, probably because it refers to small leaves, a phenomenon known as dilution effect.

The effects on the concentration of K variable in the young stem of the third sampling (CKTJ3) due to the interaction, consist of the following factors: 1) the nutrient concentration in the nutrient solution; 2) type of nutrient; and 3) group nutrient solution, when the first factor was variable and the

Cuadro 11. Concentración de P (mg g⁻¹) de la hoja joven del tercer muestreo en plantas de mango.
Table 11. Concentration of P (mg g⁻¹) of the mango's young leaf of the third sampling.

Solución	Baja			Suficiente			Alta		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Hoagland ††	0 b †	1.12 a	1.66 a	2.08 a	1.75 a	1.71 a	2.77 a	6.33 a	3.39 a
Steiner	5.46 a	1.58 a	1.75 a	2.15 a	2.5 a	1.74 a	1.45 a	5.21 a	2.58 a

†= medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales; ††= solución Hewitt (1969), cuando corresponde a la concentración alta. Valor de Scheffé para esta prueba ($p \leq 0.05$): 3.4.

Estos resultados se atribuye a la ausencia de N total en la solución Hoagland, correspondiente a la baja concentración de N (Cuadro 3), la planta no emitió el brote vegetativo correspondiente y por lo tanto el valor de la CPHJ3 fue cero, mientras que con la solución Steiner a baja concentración de N, ésta fue 6.575 mmol_c L⁻¹ (Cuadro 3), concentración que fue suficiente para que la planta emitiera un brote vegetativo, en donde se determinó la CPHJ3, la cual correspondió a 5.46 mg g⁻¹ (Cuadro 11), valor relativamente alto, probablemente debido que está referido a hojas pequeñas, fenómeno conocido como efecto de dilución.

Los efectos en la variable concentración de K en el tallo joven del tercer muestreo (CKTJ3), debido a la interacción compuesta de los factores siguientes: 1) concentración del nutrimento en la solución nutritiva, 2) tipo de nutrimento; y

second and third were fixed (Table 12). It is observed that, there were no statistically significant ($p \leq 0.05$) in CKTJ3, the effect of the concentration of N, P and K, none of the two groups of nutrient solutions.

In here, as in the cases of the so-called dilution effect of N and P, located in the Hoagland-Hewitt nutrient solutions group, for concentrations of N (Table 8) and P (Table 10), we would expect the same effect dilution for K, but it did not happened, probably because the concentration of K in the stem of the plant nourished by the high level of K: 8 mmol_c L⁻¹ solution Hewitt, was accompanied by 8 mmol_c L⁻¹ of NH₄⁺ (Table 3), this situation caused that the absorption of ion K⁺ was limited by the absorption of NH₄⁺, and finally it was not possible an excessive absorption of the ion K⁺ and therefore, there was no dilution effect at all.

3) grupo de solución nutritiva, cuando el primer factor fue variable y el segundo y tercero estuvieron fijos (Cuadro 12). Se observa que en ningún caso hubo diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) en la CKTJ3, por efecto de la concentración de N, P o K, en ninguno de los dos grupos de soluciones nutritivas.

Aquí, como en los casos de los denominados efectos de dilución de N y P, ubicados en las soluciones nutritivas del grupo Hoagland-Hewitt, para las concentraciones de N (Cuadro 8) y P (Cuadro 10), era de esperar el mismo efecto de dilución para K, pero no se dio, probablemente porque la concentración de K en el tallo de la planta nutrida con el nivel alto de K: 8 mmol_c L⁻¹ de la solución Hewitt, estuvo acompañado de 8 mmol_c L⁻¹ de NH₄⁺ (Cuadro 3), ésta situación ocasionó que la absorción del ión K⁺ fuese restringida por la absorción de NH₄⁺, y finalmente no se logró una absorción excesiva del ión K⁺ y por tanto, tampoco el efecto de dilución antes indicado.

Cuadro 12. Concentración de K (mg g⁻¹) del tallo joven del tercer muestreo en plantas de mango.

Table 12. Concentration of K (mg g⁻¹) of the mango's young stem of the third sampling.

Concentración	Hoagland-Hewitt ^{††}			Steiner (1984)		
	N	P	K	N	P	K
Baja	0 a [†]	20.31 a	11 a	21.07 a	23.1 a	13.84 a
Suficiente	10.97 a	20.32 a	18.21 a	18.09 a	21.1 a	20.28 a
Alta	8.73 a	22.98 a	20.81 a	16.23 a	14.39 a	22.85 a

[†]= medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales; ^{††}= solución Hewitt (1969), cuando corresponde a la concentración alta. Valor de Scheffé para esta prueba ($p \leq 0.05$): 25.76.

Como no se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre las concentraciones de soluciones nutritivas N, P y K del grupo Steiner (Cuadro 12), anteriormente se discutieron los casos similares del N y P (Cuadros 8 y 10, respectivamente). En la misma forma como ocurrió con el N y el P, entre las CKTJ3 causadas por las diferentes concentraciones de K en las soluciones nutritivas del grupo Steiner, no se obtuvieron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), incluso los valores obtenidos de CKTJ3 fueron muy similares entre sí, a pesar que las variaciones de concentración de K fueron relativamente grandes: 3.716, 7 y 12.537 mmol_c L⁻¹ del ión K⁺ (concentración baja, suficiente y alta, respectivamente, del Cuadro 3).

Por otra parte, se deduce que el abastecimiento adecuado de K en las plantas de mango, parece ser más importante para el tallo joven respecto a la hoja joven, puesto que aparentemente se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) en el tallo joven con respecto a la hoja joven.

As no significant differences ($p \leq 0.05$) were found between the Steiner group's concentrations of nutrient solutions N, P and K (Table 12), previously similar cases were discussed of N and P (Tables 8 and 10, respectively). In the same way as with the N and P, between CKTJ3 caused by different concentrations of K in Steiner group's nutrient solutions, there were no significant differences ($p \leq 0.05$), even CKTJ3 values obtained were quite similar from each other, even though the concentration variations of K were relatively large: 3.716, 7 and 12.537 mmol_c L⁻¹ of ion K⁺ (low concentration, sufficient and high, respectively, from Table 3).

On the other hand, it's concluded that, an adequate supply of K in the plants of mango seems to be more important for the young stem with respect to the young leaf, as it appears that there were statistically significant differences ($p \leq 0.05$) in young stem in respect to the young leaf. The effects on the CKTJ3 variable of the composed interaction were due

to the following factors: 1) nutrient solution group; 2) type of nutrient; and 3) the nutrient concentration in the nutrient solution, when the first factor was variable and the second and third were fixed (Table 13).

There was only one statistically significant difference ($p \leq 0.05$) between CKTJ3 of low concentration of N: 0 mg g⁻¹ for the solution of Hoagland-Hewitt group and 21.07 mg g⁻¹ for the Steiner group, this result is attributed to the total absence of N in Hoagland solution, corresponding to the low concentration of N (Table 3), the plant did not issue the corresponding vegetative shoot and therefore, the value of the CKTJ3 was null, while the Steiner solution at low concentration of N, was 6.575 mmol_c L⁻¹ (Table 3), this concentration was quite enough for the plant to issue a vegetative shoot, CKTJ3 was determined, 21.07 mg g⁻¹ (Table 13), this value is relatively high, probably because it refers to a small stem, a phenomenon known as dilution effect.

Los efectos en la variable CKTJ3 de la interacción compuesta fueron debidos a los factores siguientes: 1) grupo de solución nutritiva; 2) tipo de nutrimento; y 3) concentración del nutrimento en la solución nutritiva, cuando el primer factor fue variable y el segundo y tercero estuvieron fijos (Cuadro 13).

CONCLUSIONS

The levels of concentration low, sufficient and high, of the following ions: NO_3^- , H_2PO_4^- , or K^+ in the Steiner universal nutrient solution, did not cause significant effects

Cuadro 13. Concentración de K (mg g^{-1}) del tallo joven del tercer muestreo en plantas de mango
Table 13. Concentration of K (mg g^{-1}) of the mango's young stem of the third sampling.

Solución	Baja			Media			Alta		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Hoagland ^{††}	0 b [†]	20.31 a	11 a	10.97 a	20.32 a	18.21 a	8.73 a	22.98 a	20.81 a
Steiner	21.07 a	23.1 a	13.84 a	18.09 a	21.1 a	20.28 a	16.23 a	14.39 a	22.85 a

[†]= medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales; ^{††}= solución Hewitt (1969), cuando corresponde a la concentración alta. Valor de Scheffé para esta prueba ($p \leq 0.05$): 17.09.

Solamente hubo una diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) entre las CKTJ3 de las concentraciones baja de N: 0 mg g^{-1} para la solución del grupo Hoagland-Hewitt y 21.07 mg g^{-1} para el grupo Steiner, este resultado se atribuye a la ausencia total de N en la solución Hoagland, correspondiente a la baja concentración de N (Cuadro 3), la planta no emitió el brote vegetativo correspondiente y por lo tanto, el valor de la CKTJ3 fue cero, mientras con la solución Steiner a baja concentración de N, ésta fue 6.575 mmol L^{-1} (Cuadro 3), dicha concentración fue suficiente para que la planta emitiera un brote vegetativo, se determinó la CKTJ3, que fue de 21.07 mg g^{-1} (Cuadro 13), este valor es relativamente alto, probablemente porque está referido a un tallo pequeño, fenómeno conocido como efecto de dilución.

CONCLUSIONES

Los niveles de concentración bajo, suficiente y alto, de los siguientes iones: NO_3^- , H_2PO_4^- , o K^+ , en la solución nutritiva universal de Steiner, no causaron efectos considerables entre sí, en las concentraciones de nitrógeno o fósforo, en las hojas y tallos jóvenes. Lo mismo ocurrió con la concentración de potasio; sin embargo, la ausencia de diferencias entre las concentraciones, solamente tuvo lugar en tallos jóvenes.

to each other in the concentrations of nitrogen or phosphorus in the leaves and young stems. The very same happened with the concentration of potassium; however, no differences between concentrations occurred only in young stems.

There were significant differences between the concentrations of nitrogen and phosphorus in leaves and young stems, the highest differences were achieved with Hewitt's solution and the lowest concentrations were obtained with Hoagland's solution, in order to induce toxicity and deficiency of nitrogen and phosphorus, respectively.

The plants grown with Hoagland's and Hewitt's solution to induce toxicity and deficiency of potassium, respectively, showed no significant differences between the concentrations of potassium in young stems.

Changes in the nutrient concentrations in plants, obtained with Hoagland-Hewitt group's solutions, included external effects to the deficiencies or toxicities of the nutrient in question, such as osmotic pressure and the presence of other nutrients in the nutrient solution.

End of the English version



Se presentaron diferencias significativas entre las concentraciones de nitrógeno y fósforo en hojas y tallos jóvenes, las mayores se lograron con la solución Hewitt y las menores concentraciones, se obtuvieron con la solución Hoagland para inducir toxicidad y deficiencia por nitrógeno y fósforo, respectivamente.

Las plantas crecidas con la solución Hewitt y Hoagland para inducir toxicidad y deficiencia por potasio, respectivamente, no mostraron diferencias significativas entre las concentraciones de potasio en tallos jóvenes.

Los cambios en las concentraciones nutrimentales en las plantas, obtenidas con el grupo de soluciones Hoagland-Hewitt, comprendieron efectos ajenos a las deficiencias o toxicidades del nutrimento en cuestión, tales como la presión osmótica y la presencia de otros nutrimentos en la solución nutritiva.

LITERATURA CITADA

- Alcántar, G. G. y Sandoval, V. M. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. Colegio de Postgraduados. Publicación especial. Núm. 10. 150 p.
- Bayuelo, J. J. S.; Escalante, E. J. A.; Kohashi, S. J. y Baca, C. G. A. 1994. Efecto de la restricción de nitrógeno sobre la biomasa, rendimiento y sus componentes de *Phaseolus vulgaris* L. *Agrociencia*. 5:25-33.
- Brearen, Ly Mulvaney, C. S. 1982. Nitrogen-total. *In*: Page, A. L.; Miller, R. H. y Keeney, D. R. (eds.). *Methods of soil analysis. Part 2 Chemical and microbiological properties*. Agronomy 9, 2nd edition. Am. Soc. Agron. Soil Sci. Soc. Am. Madison, WI, USA. 595-634 pp.
- Bugarín, M. R.; Baca, C. G. A.; Martínez, H. J. y Tirado, T. J. L. 1998. $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ y concentración iónica total de la solución nutritiva en crisantemo. *Terra*. 16:125-134.
- De Rijck, G. and Schrevens, E. 1998. Cation speciation in nutrient solutions as a function of pH. *J. Plant Nutr.* 21:861-870.
- De Rijck, G. and Schrevens, E. 1999. Anions speciation in nutrient solutions as a function of pH. *J. Plant Nutr.* 22:269-279.
- Flores, R. J. S. 1999. Concentración total de sales y de magnesio en el cultivo hidropónico del rosal. Tesis. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 222 p.
- Hewitt, E. J. 1969. Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. Technical communication Núm. 22 (revised 2nd Edition). Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal. 547 p.
- Hoagland, D. R. and Arnon, D. I. 1950. The water-culture method for growing plants without soil. California. Agricultural Experiment Station. Circular 347. 32 p.
- Juárez, H. Ma. J.; Baca, C. G. A.; Aceves, N. L. A.; Sánchez, G. P. Tirado, T. J. L.; Sahagún, C. J. y Colinas, L. M. T. 2006. Propuesta para la formulación de soluciones nutritivas en estudios de nutrición vegetal. *Interciencia*. 31:246-253.
- Juárez, H. Ma. J. 2010. Relaciones de amonio-cationes, de fósforo-aniones y presión osmótica de la solución nutritiva en *Lilium* híbrido asiático. Tesis de doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 218 p.
- Mata, B. I. y Mosqueda, V. R. 1998. La producción del mango en México. Editorial Limusa. Primera reimpression. México. 159 p.
- Martínez, G. A. 1996. Diseños experimentales. Métodos y elementos de teoría. 1^{ra} reimpression. Editorial Trillas. México. 756 p.
- Riley, D. and Barber, S. A. 1971. Effect of ammonium and nitrate fertilization on phosphorus uptake as related to root-induced pH changes at the root-soil interface. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 35:301-306.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquero (SIAP). 2009. Estadísticas Anuales. URL: <http://www.siap.gob.mx/index.php?opcion=com.wrapper&view=wrapper&Internid=351>.
- Smith, P. F. and Scudder, G. K. Jr. 1952. Some studies of mineral deficiency symptoms in mango. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 64:243-248.
- Statistical Analysis System (SAS Institute). 1995. Guide to the Sol query windows: usage and reference. Versión 6/SAS Institute. Cary, NC. 167 p.
- Steiner, A. A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil* XV. 2(15):134-154.
- Steiner, A. A. 1966. The influence of the chemical composition of a nutrient solution on the production of tomato plants. *Plant Soil*. 24:454-466.

- Steiner, A. A. 1973. The selective capacity of tomato plants for ions in a nutrient solution. Proceedings of the 3th International Congress on Soilless Culture. IWOSC. Sassari, Italy. 43-53 pp.
- Steiner, A. A. 1980. The selective capacity of plants for ions and its importance for the composition and treatment of the nutrient solution. ISOSC Proc. 5th Int. Cong. Soilless Culture. Wageningen, The Netherlands. 83-95 pp.
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. Proceedings of the 6th International Congress on Soilless Culture International Soc. For Soilless Culture. ISOSC. Wageningen, The Netherlands. 633-649 pp.
- Zúñiga-Estrada, L.; Martínez-Hernández, J. J.; Baca-Castillo, G. A.; Martínez-Garza, A.; Tirado-Torres, J. L. y Kohashi-Shibata, J. 2004. Producción de chile pimiento en dos sistemas de riego bajo condiciones hidropónicas. *Agrociencia*. 38:207-218.