

## Respuesta agronómica y nutrimental de fresa a soluciones nutritivas con diferente relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ \*

### Agronomic and nutritional strawberry response to nutrient solutions with different ratio $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ in the vegetative stage

Tonatiu Campos-García<sup>1</sup>, Prometeo Sánchez-García<sup>1§</sup>, Gabriel Alcántar-González<sup>1</sup> y Guillermo Calderón-Zavala<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados Campus Montecillo-Edafología. C. P. 56230, Montecillo, Estado de México. (tcampos2@hotmail.com; alcantar@colpos.mx; cazagu@colpos.mx). <sup>§</sup>Autor para correspondencia: promet@colpos.mx.

#### Resumen

El objetivo de la presente investigación fue conocer la relación óptima de  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  en la solución nutritiva que favorece el comportamiento agronómico y nutrimental de fresa cv. Festival en un sistema intensivo de producción durante la etapa vegetativa-floración. Se evaluaron soluciones nutritivas (SN) con diferente relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ : 100/0, 75/25, 50/50, 25/75 y 0/100. A los 108 días después de iniciados los tratamientos (ddit) se evaluaron los siguientes parámetros: área foliar (AF), contenido de materia fresca (MF) y materia seca (MS), acumulación de N- $\text{NH}_4$  y N- $\text{NO}_3$  (AN) en plantas de fresa. En la etapa vegetativa-floración, la SN con una relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  igual a 100/0 incrementó significativamente AF, MF, MS y AN en plantas de fresa cv. Festival, en comparación con los demás tratamientos. Por lo tanto, se sugiere la adición de amonio como única fuente de N para la producción de fresa durante la etapa vegetativa.

**Palabras clave:** *Fragaria x ananassa* Duch., acumulación de N, fibra de coco.

#### Introducción

Durante el proceso de producción intensiva de fresa se pueden distinguir dos etapas fenológicas muy importantes, cuyo manejo nutrimental definen el éxito en rendimiento

#### Abstract

The aim of this research was to determine the optimal ratio of  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  in the nutrient solution that favors the agronomic and nutritional behavior of strawberry cv. festival in an intensive production system during the vegetative-flowering stage. The nutrient solutions (SN) were evaluated with different relationship  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ : 100/0, 75/25, 50/50, 25/75 and 0/100. At 108 days after initiated treatment (ddit) the following parameters were evaluated in strawberry plants leaf area (AF), content of fresh material (MF) and dry matter (DM) accumulation of N- $\text{NH}_4$  and N- $\text{NO}_3$  (AN) in the strawberry plants. In the vegetative-flowering stage, the SN with a  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  ratio equal to 100/0 significantly increased AF, MF, MS and AN in strawberry plants cv. festival, compared with other treatments. Therefore, the addition of ammonium as sole N source for the production of strawberry during the vegetative stage is suggested.

**Keywords:** *Fragaria x ananassa* Duch., accumulation of N, coir.

#### Introduction

During intensive strawberry production there are two very important phenological stages, whose nutritional management define success in performance and fruit quality:

\* Recibido: noviembre de 2015  
Aceptado: febrero de 2016

y calidad del fruto: vegetativa-floración y floración-fructificación. Para la primera etapa es muy importante el manejo del nitrógeno y principalmente, la relación amonio/nitrato (Toktam *et al.*, 2014). El exceso de  $\text{NH}_4^+$  en esta fase conduce a una producción exuberante de hojas y esto a su vez, genera un desbalance interno por la competencia del ion  $\text{NH}_4^+$  con el  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  (Ganmore y Kafkafi, 1984). La aplicación de nitrógeno amoniacal hace más susceptibles a las plantas de fresa a enfermedades y a la invasión de insectos debido a que su savia contiene altos niveles de aminoácidos libres, azúcares y nitrógeno que las vuelven más atractivas para los fitopatógenos (Cisneros y Godfrey, 2001; Ortega-Arenas *et al.*, 2006).

La adición de nitratos en la solución nutritiva puede mitigar el efecto inhibitorio del amonio en el crecimiento de las plantas (Ota y Yamamoto, 1989), por lo que en hidroponía es posible utilizar fuentes nitrogenadas a base de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  (González *et al.*, 2009). La combinación de ambos iones como fuente de nitrógeno mejora el crecimiento vegetativo, en comparación a cuando se usan por separado (Hartman *et al.*, 1986). Investigaciones conducidas por Tabatabaei *et al.* (2006) han demostrado que plantas de fresa 'Camarosa' y 'Selva' en cultivos sin suelo son más susceptibles a la nutrición con amonio. Además, encontraron que la completa exclusión del  $\text{NH}_4^+$  de la SN reduce el crecimiento y que una relación  $25\text{NH}_4^+/75\text{NO}_3^-$  mejora el desarrollo y rendimiento de las plantas de fresa. También, observaron que las plantas desarrolladas con 75% de  $\text{NH}_4^+$  disminuyeron el peso de MF, MS y AF, en contraparte con aquellas que recibieron el 25% de  $\text{NH}_4^+$ . El rendimiento (longitud y peso del fruto) se incrementó en un 38% y 84% en 'Camarosa' y 'Selva', respectivamente, cuando las plantas fueron cultivadas con 25% de  $\text{NH}_4^+$  y 75% de  $\text{NO}_3^-$ , en comparación con aquellas que recibieron mayores niveles de amonio.

Por lo tanto, una combinación de las dos formas de N en una relación apropiada ( $25 \text{NH}_4^+ : 75 \text{NO}_3^-$ ) es benéfico para el crecimiento de plantas, el rendimiento y calidad de las fresas. A su vez, Cárdenas-Navarro *et al.* (2006) encontraron que la formulación de diferentes relaciones  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  en la SN no afectan el crecimiento de la planta madre; sin embargo, el número de frutos se incrementa con el aumento de amonio; por otra parte, el número de plantas hijas no se ve afectado por las diferentes relaciones  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ , pero la MS de estas se redujo cuando la proporción de amonio se adicionó por encima del 50%. También, se observó que la relación carbono/nitrógeno en la corona disminuyó significativamente cuando la proporción de amonio estuvo por encima de 75%, esto sugiere un impacto negativo en la acumulación de carbohidratos y sobre el metabolismo de la planta.

vegetative-flowering and flowering-fruitletting. For the first step is very important management and mainly nitrogen, the ammonium/nitrate ratio (Toktam *et al.*, 2014). Excess  $\text{NH}_4^+$  in this phase leads to exuberant production of sheets and this in turn generates an internal imbalance by competition ion  $\text{NH}_4^+$  with  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  and  $\text{Mg}^{+2}$  (Ganmore and Kafkafi, 1984). The application of ammonium nitrogen makes them more susceptible to the strawberry plants to disease and insect invasion because its sap contains high levels of free amino acids, sugars and nitrogen that make them more attractive to plant pathogens (Cisneros and Godfrey, 2001; Ortega-Arenas *et al.*, 2006).

The addition of nitrate in the nutrient solution can mitigate the inhibitory effect of ammonium in plant growth (Ota and Yamamoto, 1989), so in hydroponics is possible to use nitrogen sources based  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{NH}_4^+$  (Gonzalez *et al.*, 2009). The combination of both ions as nitrogen source improves vegetative growth, compared to when used separately (Hartman *et al.*, 1986). Research conducted by Tabatabaei *et al.* (2006) have shown that strawberry plants 'Camarosa' and 'Selva' in soilless culture are more susceptible to ammonium nutrition. In addition, they found that the complete exclusion of  $\text{NH}_4^+$  of the SN reduces growth and a relationship  $25\text{NH}_4^+/75\text{NO}_3^-$  improves the development and performance of strawberry plants. Also, they noted that plants grown with 75% of  $\text{NH}_4^+$  decreased the weight of MF, MS and AF, in counterpart with those who received 25% of  $\text{NH}_4^+$ . The yield (length and weight of the fruit) increased by 38% and 84% in 'Camarosa' and 'Selva', respectively, when plants were grown with 25%  $\text{NH}_4^+$  and 75% of  $\text{NO}_3^-$ , compared with those who they received higher levels of ammonium.

Therefore, a combination of the two forms of N in an appropriate ratio ( $25 \text{NH}_4^+ : 75 \text{NO}_3^-$ ) is beneficial to plant growth, yield and quality of strawberries. In turn, Cardenas-Navarro *et al.* (2006) found that the formulation of different relationships  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  in the SN not affect the growth of the mother plant; however, the number of fruits is increased with increasing ammonium; Moreover, the number of daughter plants not affected by the different relationships  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ , but the MS of these was reduced when the ratio of ammonium was added over 50%. It was also observed that the carbon/nitrogen ratio in the crown ratio decreased significantly when ammonium was above 75%, suggesting a negative impact on carbohydrate accumulation and metabolism of the plant.

However, Yoon *et al.* (2009) mention that adding N- $\text{NH}_4$  in rates of 20% in the SN, relative to N- $\text{NO}_3$ , vegetative growth and fruit production, compared with the treatments where

Sin embargo, Yoon *et al.* (2009) mencionan que al adicionar N- $\text{NH}_4$  en tasas de 20% en la SN, con relación a N- $\text{NO}_3$ , se incrementa el crecimiento vegetativo y la producción de frutos, en comparación con los tratamientos donde se adicionó únicamente  $\text{NO}_3^-$ , no obstante, un incremento en la proporción de amonio en la SN hasta 30% disminuyó el crecimiento de la planta y el rendimiento, por efecto del pH (3.5). Por lo tanto, el manejo del pH en la SN con diferente relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  es importante para balancear la tasa de absorción de aniones y cationes (Bernardo, 1984). En adición, Toktam *et al.* (2004) estudiaron el efecto del nitrógeno sobre la actividad de la enzima nitrato reductasa (NR) en fresa sometida a diferentes relaciones  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ . De acuerdo con estos autores, las plantas de fresa requieren mayormente de amonio en la etapa vegetativa pero sugieren que el  $\text{NH}_4^+$  no debe exceder 50% del nitrógeno total en la SN.

El presente estudio se estableció con el objeto de conocer la relación óptima de  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  en la solución nutritiva que favorece el comportamiento agronómico y nutrimental de fresa en un sistema intensivo de producción durante la etapa vegetativa-floración.

## Materiales y métodos

La presente investigación se desarrolló en un invernadero ubicado en la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) en Texcoco, Estado de México, ubicado entre los paralelos 19° 24' y 19° 33' de latitud norte y los meridianos 98° 38' y 99° 02' de longitud oeste, a una altitud de 2 240 msnm.

El material vegetal utilizado fueron plántulas de fresa *Fragaria x ananassa* Duch. cv. Festival de la empresa Planamerica®, cuyos viveros se encuentran ubicados en Ciudad Guzmán, Jalisco. Las plantas de fresa se desarrollaron en sacos de cultivo con fibra de coco como sustrato, marca Germinaza®, con 50% de fibra y 50% de polvo de coco. Las características físicas del sustrato fueron las siguientes: índice de grosor 42.5%, densidad aparente 0.075 g cm<sup>-3</sup>, densidad real 1.48 g cm<sup>-3</sup>, capacidad de aireación 52.6%, capacidad de retención de agua 49.5%, espacio poroso total 94.9%, agua fácilmente disponible 17.8%, agua de reserva 5.6%, agua total disponible 23.4% y agua difícilmente disponible 15.5%, pH 5.2, CE= 2.6 dS m<sup>-1</sup> y CIC 42.4 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>. Para eliminar las sales contenidas en la fibra de coco se hicieron 5 lavados con agua de lluvia acidificada (pH 5) hasta alcanzar un potencial osmótico (PO) en el drenaje de -0.0144 MPa.

only  $\text{NO}_3^-$  was added, no increases. However, an increase in the proportion of ammonia in the SN decreased to 30% plant growth and performance, effect of pH (3.5). Therefore, management pH in the SN ratio with different  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  is important to balance the rate of absorption of anions and cations (Bernard, 1984). In addition, Toktam *et al.* (2004) studied the effect of nitrogen on the activity of nitrate reductase enzyme (NR) in different ratios under strawberry  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ . According to these authors, strawberry plants require ammonium mostly in the vegetative stage but suggest that  $\text{NH}_4^+$  must not exceed 50% of the total nitrogen in the SN.

This study was established in order to know the optimal ratio of  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  in the nutrient solution that favors the agronomic and nutritional behavior strawberry in an intensive production system during the vegetative-flowering stage.

## Materials and methods

This research was conducted in a greenhouse located in the Chapingo (UACH) in Texcoco, State of Mexico, located between parallels 19° 24' and 19° 33' north latitude and meridians 98° 38' and 99° 02' west longitude, at an altitude of 2 240 meters.

The plant material used were seedlings strawberry *Fragaria x ananassa* Duch. cv. Festival Planamerica® company, whose nurseries are located in Ciudad Guzman, Jalisco. Strawberry plants were grown in culture bags with coconut fiber as substrate, Germinaza® mark with 50% fiber and 50% coconut powder. The physical characteristics of the substrate were: rate of thickness 42.5%, bulk density 0.075 g cm<sup>-3</sup>, true density 1.48 g cm<sup>-3</sup>, aeration capacity 52.6%, retention capacity water 49.5% pore space total 94.9%, readily available water 17.8%, 5.6% water reserve, the total water available 23.4% and 15.5% water hardly available, pH 5.2, EC= 2.6 dS m<sup>-1</sup> and CIC cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>. To remove the salts contained in coconut fiber were 5 washes with rain water acidified (pH 5) to reach an osmotic potential (OP) in the drainage -0.0144 MPa.

Seedlings were transplanted at a distance of 15 cm between them, within each culture bag, which 6 plants per experimental unit were taken. The SN were applied with different relationship  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  (Table 1) for which the

Las plántulas se trasplantaron a una distancia de 15 cm entre ellas, dentro de cada saco de cultivo, con lo cual se tuvieron 6 plantas por unidad experimental. Se aplicaron SN con diferente relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  (Cuadro 1) para lo cual se utilizó como base la solución universal de Steiner (1984) con un PO igual a -0.036 MPa. El diseño experimental fue en bloques completos al azar con 5 repeticiones por tratamiento. Los riegos se aplicaron con solución nutritiva ( $\text{CE} = 1.0 \text{ dS m}^{-1}$ ), intercalados con agua acidificada ( $\text{pH } 5.5 - 6.5$ , con  $1 \text{ N H}_2\text{SO}_4$ ), acorde con las necesidades de la planta y las condiciones climáticas, evitando, mediante monitoreos diarios, que la CE en el drenaje fuera mayor que la CE de la SN.

universal solution Steiner (1984) with a PO equal to -0.036 MPa was used as a base. The experimental design was a randomized complete block design with 5 replicates per treatment. Irrigation was applied with nutrient solution ( $\text{EC} = 1.0 \text{ dS m}^{-1}$ ), interspersed with acidified water ( $\text{pH } 5.5 - 6.5$  with  $1 \text{ N H}_2\text{SO}_4$ ), according to the needs of the plant and weather conditions, avoiding, through daily monitoring, CE that the drain is higher than CE the SN.

The agronomic and nutritional response strawberry plants to 108 ddit was assessed by evaluating the following parameters: a) AF, with a leaf area integrator LI-3100C

**Cuadro 1. Composición química de los tratamientos con diferente relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ .**  
**Table 1. Chemical composition of treatments with different relationship  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ .**

Tratamientos $\text{NH}_4^+/\% \text{NO}_3^-$ (%)	$\text{NH}_4^+$ ( $\text{me L}^{-1}$ )	$\text{NO}_3^-$ ( $\text{me L}^{-1}$ )	$\text{Ca}^{+2}$ ( $\text{me L}^{-1}$ )	$\text{K}^+$ ( $\text{me L}^{-1}$ )	$\text{Mg}^{+2}$ ( $\text{me L}^{-1}$ )	$\text{SO}_4^{-2}$ ( $\text{me L}^{-1}$ )	$\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ( $\text{me L}^{-1}$ )
100/0	7.7	0	2.3	1.8	1	3.5	0.2
75/25	5.8	2.3	1.8	1.4	0.8	3.2	0.3
50/50	3.9	3	1.8	1.4	0.8	2.1	0.3
25/75	1.9	4.5	1.8	1.4	0.8	0.6	0.3
0/100	0	6	2.3	1.8	1	0.4	0.2

$\text{me L}^{-1}$  = miliequivalentes por litro.

Se evaluó la respuesta agronómica y nutricional de las plantas de fresa a los 108 ddit, mediante la evaluación de los siguientes parámetros: a) AF, con un integrador de área foliar LI-3100C (LI-COR Biosciences, USA); b) contenido de MF y MS en plantas completas, con una balanza analítica (OHAUS, USA); y c) acumulación de N- $\text{NH}_4$  y N- $\text{NO}_3$ , mediante la determinación de la concentración de amonio y nitratos en plantas completas con los métodos de Nessler (Alcantar y Sandoval, 1999) y Cataldo (Cataldo *et al.*, 1975), respectivamente y el contenido de MS.

Para el manejo estadístico de los resultados se realizó un análisis de varianza y una comparación de medias de acuerdo a Tukey a 5% de probabilidad con el programa Statistical Analysis System versión 9.1 (SAS, 2010).

## Resultados y discusión

En la Figura 1 se muestran las diferencias estadísticas significativas por efecto de los tratamientos con diferente relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  de la SN para la variable AF. En esta se observa que a medida que disminuyó la concentración de  $\text{NH}_4^+$  en la SN, en comparación con el aumento en  $\text{NO}_3^-$ , el

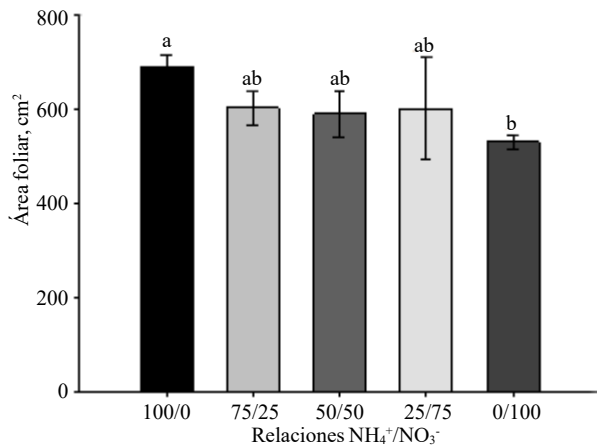
(LI-COR Biosciences, USA); b) content of MF and MS in whole plants, with an analytical balance (OHAUS, USA); c) accumulation of N- $\text{NH}_4$  and N- $\text{NO}_3$ , by determining the concentration of ammonium and nitrates in whole plants with the methods of Nessler (Cataldo *et al.*, 1975; Alcantar and Sandoval, 1999), respectively and MS content.

For statistical results management analysis of variance and comparison of means according to Tukey at 5% probability with the Statistical Analysis System software, version 9.1 (SAS, 2010) it was performed.

## Results and discussion

In Figure 1 show the differences statistically significant effect of treatments with different relationship  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  of the SN for variable AF. This shows that decreased as the concentration of  $\text{NH}_4^+$  in the SN, compared with the increase in  $\text{NO}_3^-$ , the AF strawberry plants was negatively affected. Treatment where only applied  $\text{NH}_4^+$  was increased AF and was significantly different treatment where only  $\text{NO}_3^-$  was added, possibly because the ammonium increased content of free amino acids, sugars (Cisneros and Godfrey, 2001)

AF de las plantas de fresa se vio afectada negativamente. El tratamiento donde solamente se aplicó  $\text{NH}_4^+$  tuvo una mayor AF y fue significativamente diferente al tratamiento donde se adicionó únicamente  $\text{NO}_3^-$ , posiblemente porque el amonio incrementó el contenido de aminoácidos libres, azúcares (Cisneros y Godfrey, 2001) y nitrógeno (Figura 4), lo que se contrapone a lo reportado por Taghavi *et al.* (2004), quienes proponen que el amonio no debe exceder más del 50% del nitrógeno total en la SN.



**Figura 1. Área foliar en plantas de fresa por efecto de tratamientos con diferente relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  en la solución nutritiva a los 108 ddit.** Barras con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey,  $p < 0.05$ ).

**Figure 1. Leaf area in strawberry plants as a result of treatments different relationship  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  in the nutrient solution to 108 ddit.** Bars with the same letter in each column are statistically equal (Tukey,  $p < 0.05$ ).

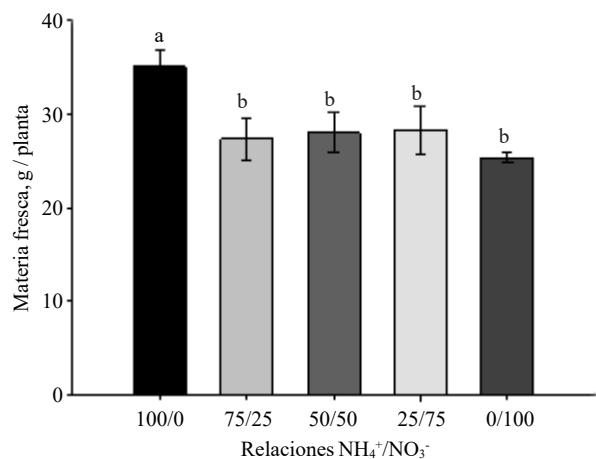
De igual manera, Tabatabaei *et al.* (2006), encontraron que las plantas de fresa cultivadas en solución con 75% de  $\text{NH}_4^+$  disminuyeron su AF, en comparación con aquellas plantas que recibieron 25% de  $\text{NH}_4^+$ . Cabe mencionar que en ambos estudios se evaluaron los tratamientos en todo el ciclo del cultivo y en el presente, solo se consideró la etapa vegetativa-floración. Además, desde el punto de vista agronómico no es conveniente tener plantas con mucha AF en la etapa vegetativa, ya que estas son más susceptibles a fitopatógenos (Cisneros y Godfrey, 2001; Ortega-Arenas *et al.*, 2006) y los primeros frutos pueden presentar albinismo, como respuesta al antagonismo entre el Ca y K con el  $\text{NH}_4^+$  (Ganmore y Kafkafi, 1984).

En las Figuras 2 y 3 se observan las diferencias estadísticas significativas entre tratamientos para la variable MF y MS. El análisis de los resultados mostró que el tratamiento

and nitrogen (Figure 4), which is contrary to what was reported by Taghavi *et al.* (2004), who proposed that the ammonium should not exceed more than 50% of total nitrogen in the SN.

Similarly, Tabatabaei *et al.* (2006), they found that the strawberry plants grown in solution with 75%  $\text{NH}_4^+$  decreased their AF compared to those plants that received 25% of  $\text{NH}_4^+$ . It is noteworthy that in both studies the treatments were evaluated throughout the crop cycle and the present, only the vegetative-flowering stage was considered. Also, from an agricultural point of view it is not suitable to have plants with lots of AF in the vegetative stage, as these are more susceptible to pathogens (Cisneros and Godfrey, 2001; Ortega-Arenas *et al.*, 2006) and the first fruits can albinism present, in response to antagonism between Ca and K with  $\text{NH}_4^+$  (Ganmore and Kafkafi, 1984).

In Figures 2 and 3 statistically significant differences between treatments for MS and MF variable observed. The analysis of the results showed that the treatment was higher 100/0 others for MF and statistically different variable 0/100 treatment for MS. These results differ Tabatabaei *et al.* (2006) who found that plants with 75%  $\text{NH}_4^+$  in SN decreased the content of MF and MS in a complete cycle.



**Figura 2. Materia fresca en plantas de fresa por efecto de tratamientos con diferente relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  en la solución nutritiva a los 108 ddit.** Barras con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey,  $p < 0.05$ ).

**Figure 2. Cool stuff in strawberry plants as a result of treatment with different relationship  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  in the nutrient solution to the 108 ddit.** Bars with the same letter in each column are statistically equal (Tukey,  $p < 0.05$ ).

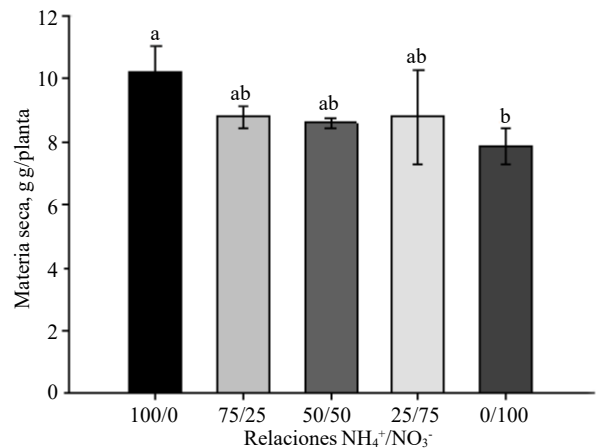


100/0 fue mayor a los demás para la variable MF y diferente estadísticamente al tratamiento 0/100 para MS. Estos resultados difieren con Tabatabaei *et al.* (2006) quienes encontraron que las plantas con 75% de  $\text{NH}_4^+$  en SN disminuyeron el contenido de MF y MS en un ciclo completo.

Cardenas-Navarro *et al.* (2006) encontraron que la MS se redujo cuando la proporción de amonio se adicionó por encima de 50%. Sin embargo, Ganmore y Kafkafi (1985) soportan los resultados encontrados en el presente estudio, quienes demostraron que la planta absorbe preferencialmente al  $\text{NH}_4^+$  durante el periodo de crecimiento vegetativo. La mayor acumulación de MF y MS en el tratamiento 100/0 en la etapa vegetativa, se debió posiblemente a que la absorción de  $\text{NH}_4^+$  por la plantas de fresa tuvo un menor costo energético con relación a los tratamientos con  $\text{NO}_3^-$  (Andrews *et al.*, 2013). El costo energético del proceso de reducción del  $\text{NO}_3^-$  en raíces es mayor que en hojas, ya que los carbohidratos deben ser transportados del floema tan larga sea la planta y luego oxidados para proveer de la energía.

Contrariamente, el exceso de NADPH y ATP producidos en los procesos de la fotosíntesis pueden ser utilizados en la reducción del  $\text{NO}_3^-$  en las hojas, lo que hace que el costo energético sea menor. Hasta un 25% de la energía producida en la fotosíntesis puede ser consumida en la asimilación del  $\text{NO}_3^-$  (Chapin *et al.*, 1987).

En la Figura 4 se observan las diferencias estadísticas entre tratamientos por efecto de la adición de diferentes relaciones amonio/nitrato en la solución nutritiva en plantas de fresa cv. Festival para la variable acumulación de N- $\text{NH}_4^+$  y N- $\text{NO}_3^-$ . Los resultados demuestran la preferencia de las plantas de fresa en la etapa vegetativa-floración por el nitrógeno amoniacal, ya que el tratamiento 100/0 fue estadísticamente mayor al resto de tratamientos para la variable acumulación de nitrógeno inorgánico. Esto coincide con Bernardo *et al.* (1984) quienes encontraron que conforme se incrementó el nivel de  $\text{NH}_4^+$  en la SN, con relación a  $\text{NO}_3^-$ , la extracción de N en plantas de sorgo se potencializó. De acuerdo con Hocking *et al.* (1984) la mayoría del nitrógeno reducido se encuentra en forma de proteínas (75-90%), aminoácidos libres (10-25%),  $\text{NH}_4^+$  (0.4-4%) y otras formas orgánicas. Además, el pH de la SN en el estudio estuvo en un rango entre 5.5 y 6.5 y en este ambiente las plantas absorben preferencialmente al amonio y en un medio alcalino, al nitrato (Tolley y Rapper, 1986).



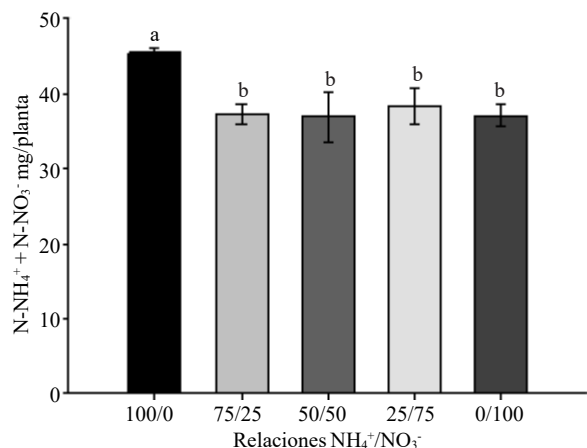
**Figura 3. Materia seca en plantas de fresa por efecto de tratamientos con diferente relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  en la solución nutritiva a los 108 ddit.** Barras con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey,  $p < 0.05$ ).

**Figure 3. Dry matter in strawberry plants as a result of treatment with different relationship  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  in the nutrient solution to the 108 ddit.** Bars with the same letter in each column are statistically equal (Tukey,  $p < 0.05$ ).

Cardenas-Navarro *et al.* (2006) found that the MS is reduced when the ratio of ammonium was added over 50%. However, Ganmore and Kafkafi (1985) support the results found in this study, who showed that the plant absorbs preferentially to  $\text{NH}_4^+$  during the period of vegetative growth. The greatest accumulation of MF and 100/0 in treating MS in the vegetative stage, which was possibly  $\text{NH}_4^+$  absorption by the strawberry plants had lower energy cost relative to treatments with  $\text{NO}_3^-$  (Andrews *et al.*, 2013). The energy cost reduction process  $\text{NO}_3^-$  in roots is higher than in leaves, and that carbohydrates should be transported as long phloem of the plant is then oxidized to provide energy.

Conversely, excess ATP and NADPH produced in photosynthesis processes can be used in the reduction of  $\text{NO}_3^-$  in the leaves, which makes energy cost less. Up to 25% of the energy produced in photosynthesis can be consumed in the assimilation of  $\text{NO}_3^-$  (Chapin *et al.*, 1987).

In Figure 4 statistical differences between treatments effect of addition of different ammonium nitrate in the nutrient ratios in strawberry plants CV observed. Festival for the variable accumulation of N- $\text{NH}_4^+$  and N- $\text{NO}_3^-$ . The results demonstrate the preference of the strawberry plants in bloom



**Figura 4. Acumulación de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en plantas de fresa por efecto de tratamientos con diferente relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  en la solución nutritiva a los 108 ddit.** Barras con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey,  $p < 0.05$ ).

**Figure 4. Accumulation of N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> and N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> in strawberry plants as a result of treatments different relationship  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  in the nutrient solution to 108 ddit.** Bars with the same letter in each column are statistically equal (Tukey,  $p < 0.05$ ).

## Conclusiones

Se concluye que en la etapa vegetativa - floración, la solución nutritiva con una relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  igual a 100/0 favoreció significativamente el área foliar, peso de materia fresca, peso de materia seca y acumulación de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en plantas de fresa cv. Festival.

## Literatura citada

- Alcántar, G. G. y Sandoval, M. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal: guía de muestreo, preparación, análisis e interpretación. Publicación especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México. 156 p.
- Andrews, M.; Raven, J. A. and Lea, P. J. 2013. Do plants need nitrate? The mechanisms by which nitrogen form affects plants. *Ann. Appl. Biol.* 163(2):174-199.
- Bernardo, L. M.; Clark, R. B. and Maranville, J. W. 1984. Nitrate/ammonium ratio effects on nutrient solution pH, dry matter yield, and nitrogen uptake of sorghum. *J. Plant Nut.* 7(10):1389-1400.
- Cárdenas-Navarro, R.; López, P. L.; Lobit, P.; Ruiz, C. R. and Castellanos, M. V. 2006. Effects of nitrogen source on growth and development of strawberry Plants. *J. Plant Nut.* 29(9):1699-1707.

vegetative-ammonia nitrogen by step, since the treatment was statistically greater 100/0 to other treatments for the variable accumulation of inorganic nitrogen. This coincides with Bernardo *et al.* (1984) who found that as the level of  $\text{NH}_4^+$  was increased in the SN, relative to  $\text{NO}_3^-$ , N extraction is potentiated sorghum plants. According to Hocking *et al.* (1984) most reduced nitrogen is in the form of proteins (75-90%), free amino acids (10-25%),  $\text{NH}_4^+$  (0.4-4%) and other organic forms. In addition, the pH of the SN in the study ranged between 5.5 and 6.5 and in this environment the plants absorb preferentially ammonium and alkaline medium, the nitrate (Tolley and Rapper, 1986).

## Conclusions

It is concluded that in the vegetative-flowering stage nutrient solution with a  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  ratio equal to 100/0 significantly favored the leaf area, weight of fresh matter, dry matter and accumulation of N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> and N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> in strawberry plants cv. festival.

*End of the English version*



- Cataldo, D. A.; Haroon, M.; Schrader, L. E. and Youngs, V. L. 1975. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration o salicylic acid. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 6(1):71-80.
- Chapin, F. S.; Bloom A. J.; Field, C. B. and Waring, R. H. 1987. Interaction of environmental factors in controlling plant growth. *BioSci.* 37: 49-57.
- Cisneros, J. J. and Godfrey, L. D. 2001. Midseason pest status of the cotton aphid (homoptera: aphididae) in California cotton: is nitrogen a key factor? *Environ. Entomol.* 30(3):501-510.
- Ganmore, N. R. and Kafkafi, U. 1985. The effect of root temperature and nitrate/ammonium ratio on strawberry plants. II. Nitrogen uptake, mineral ions, and carboxylate concentrations. *Agron. J.* 77(6):835-840.
- González-García, J. L.; Rodríguez-Mendoza, M. N.; Sánchez-García, P. y Gaytán-Acuña, E. A. 2009. Relación amonio: nitrato en la producción de hierbas aromáticas en hidroponía. *Agric. Téc. Méx.* 35(1):5-11.
- Hartman, P. L.; Mills, H. A. and Jones, J. B. 1986. The influence of nitrate: ammonium ratios on growth, fruit development, and element concentration in 'Floradel' tomato plants. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 111:487-490.
- Hocking, J. P.; Steer, B. T. and Pearson, J. C. 1984. Nitrogen nutrition of non-leguminous crops: a review. Part 1. *Field Crop Abstracts.* 37(8):625-636.
- Kafkafi, U. and Ganmore-Neumann, R. 1997. Ammonium in plant tissue: real or artifact? *J. Plant Nut.* 20(1):107-118.

- Ortega-Arenas, L. D.; Villegas, M. A.; Ramírez, R. A. J. and Mendoza, G. E. E. 2013. Abundancia estacional de *Diaphorina citri* (hemiptera: liviidae) en plantaciones de cítricos de Cazonos, Veracruz, México. *Acta Zoológica Mexicana*. 29(2):317-333.
- Ota, K. and Yamamoto, Y. 1989. Promotion of assimilation of ammonium ions by simultaneous application of nitrate and ammonium ions in radish plants. *Plant Cell Physiol*. 30(3):365-371.
- Steiner, A. 1984. The universal nutrient solution. *In*: I. S. O. C. S. proceedings 6<sup>th</sup> international congress on soilless culture. The Netherlands. 633-649 pp.
- Tabatabaei, J. S.; Fatemi, S. L. and Fallahi, E. 2006. Effect of ammonium: nitrate ratio on yield, calcium concentration and photosynthesis rate in strawberry. *J. Plant Nut.* 29(7):1273-1285.
- Toktam, T. and Folta, K.M. 2014. A comparison of wild and cultivated strawberries for nitrogen uptake and reduction. *Hortic. Environ. Biotechnol.* 55(3):196-206.
- Taghavi, S. T.; Babalar, M.; Ebadi, A.; Ebrahimzadeh, H. and Asgari, A. M. 2004. Effects of nitrate to ammonium ratio on yield and nitrogen metabolism of strawberry (*Fragaria x ananassa* cv. Selva). *Int. J. Agric. Biol.* 6(6):994-997.
- Tolley, H. and Rapper, R. 1986. Utilization of ammonium as a nitrogen source. Effects of ambient acidity on growth and nitrogen accumulation by soybean. *Plant Physiol.* 82(1):54-60.
- Yoon, H. S.; Hwang, Y. H.; An, C. G.; Shim, J. S.; Hwang, H. J. and Shin, H. Y. 2009. Effect of NH<sup>4+</sup> to NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ratio on Growth, Yield and Albinism Disorder of Strawberry. *Acta Hort.* 842:987-990.