



Original Article/Artículo Original

$\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ratio in plants of bell pepper with early blunting ($\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ratio in bell pepper)

Relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ en plantas de pimiento morrón con despunte temprano (Relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ en pimiento)

González-Chávez O.¹ , Bugarín-Montoya R.¹ , Alejo-Santiago G.², Juárez-Rosete C. R.²

¹Inter-institutional Master in Protected Agriculture, Universidad Autónoma de Nayarit, Mexico.

²Professor-Researcher, Universidad Autónoma de Nayarit, Mexico.

Cite this paper/Como citar este artículo: González-Chávez O., Bugarín-Montoya R., Alejo-Santiago G., Juárez-Rosete C.R. (2019). Relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ en plantas de pimiento morrón con despunte temprano. *Revista Bio Ciencias* 6, e548. doi: <https://doi.org/10.15741/revbio.06.e548>



ABSTRACT

In the bell pepper (*Capsicum annuum* L.) production systems, the nutrient solution and the conduction system are primordial to the success of the crop. The objective of the present study, was to evaluate the effect of different $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ratios in the nutrient solution on the growth and fruit yield of two bell pepper varieties, Avante y Tribeka, managed with a system of early blunting of the growth apex above the fourth bifurcation. The experiment was developed under greenhouse conditions and in an open circuit hydroponic system, in containers with a volume of 10 L of substrate of red basaltic volcanic stone. The experimental design utilized was the completely randomized, with a 4x2 factorial arrangement with five repetitions. The different $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ proportions supplied in the nutrient solution with the same osmotic potential of -0.037 kPa, promoted a differential response in most of the evaluated variables related to fruit yield and accumulated total dry biomass. The best response in the studied variables was obtained with the addition of 10% of NH_4^+ which is equivalent to 0.75 meq L⁻¹ in the ratio of cations. However, the concentration of ammonium in the nutrient solution had an interactive effect with the pepper varieties Avante and Tribeka in the quantified variables.

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: August 09th 2018.

Accepted/Aceptado: March 27th 2019.

Available on line/Publicado: April 12nd 2019.

*Corresponding Author:

Bugarín Montoya Ruben, Inter-institutional Master in Protected Agriculture, Universidad Autónoma de Nayarit. Ciudad de la Cultura Amado Nervo S/N, Col. Centro, C.P. 63000 Tepic, Nayarit. México. Phone: +52 (311)126 6275 E-mail: drbugarin@hotmail.com.

RESUMEN

En los sistemas de producción de pimiento (*Capsicum annuum* L.), la composición de la solución nutritiva y el sistema de conducción de las plantas, son primordiales para el éxito del cultivo. El objetivo del presente estudio, fue evaluar el efecto de distintas relaciones $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ en la solución nutritiva de Steiner en el crecimiento y rendimiento de fruto de dos variedades de pimiento morrón, Avante y Tribeka, manejadas con un sistema de despunte temprano de los ápices de crecimiento por encima de la cuarta bifurcación del tallo. El experimento fue desarrollado en condiciones de invernadero y en sistema hidropónico de circuito abierto, en contenedores con un volumen de 10 L de sustrato de roca volcánica basáltica roja. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con arreglo factorial 4x2 con cinco repeticiones. Las diferentes proporciones $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ suministradas en la solución nutritiva con un mismo potencial osmótico de - 0.037 kPa, promovieron una respuesta diferencial en la mayoría de las variables evaluadas relacionadas con el rendimiento de fruto y biomasa seca total acumulada. La mejor respuesta en las variables estudiadas se obtuvo con la adición de 10 % de NH_4^+ que equivale a 0.75 meq L⁻¹ en la relación de cationes. De igual manera, la concentración de amonio en la solución nutritiva tuvo un efecto interactivo con las variedades de pimiento Avante y Tribeka en las variables cuantificadas.

KEY WORDS

Bell Pepper, nitrate/ammonium, early blunting.

Introduction

Pepper is one of the main horticultural crops produced worldwide in open field and greenhouse production. Mexico is the main supplier of this product to the markets of the United States and Canada (Díaz *et al.*, 2013). The states with the highest production are Sinaloa, Sonora and Guanajuato, with a contribution of 152.4, 2.1 and 1.6 thousand tons, respectively, and an approximate value of 3,600 million pesos (SIAP, 2016). In Mexico there are different pepper conduction systems. Most of the greenhouses use the Dutch type or pruning in “V”, which consists in guiding the plant to two stems by pruning one of the branches in each bifurcation, during 10 months approximately. The system is delicate in its management and the cost of production per kilogram is high (Sánchez *et al.*, 2017). An alternative system of lower cost is the early pruning, which allows to stop the growth of the plants by eliminating the growth apices, once the first three or four bifurcations have been formed. By means of this procedure, the cultivation cycle is shortened to four or five months after the transplant and results in the establishment of at least two to three cultivation cycles per year. The yield per plant with this system is usually smaller, but it is compensated per surface unit, given that the population density is higher compared to what is used commercially (Ortíz *et al.*, 2009). At experimental level, the pruning above the third and fourth bifurcation has been used in pepper crops, demonstrating that they can potentially achieve an annual productivity equal to or greater than European pruning systems, but with simpler technologies and lower production costs (Cruz *et al.*, 2009). Another important factor in the production of pepper in soilless crop production is the composition and concentration of ions in the nutrient solution. In particular, the nitrogen nutrition and the ionic form of NO_3^- and NH_4^+ in a proper ratio, can increase the growth and yield of crops compared with either of the two forms of nitrogen separately (Sheng-Xiu *et al.*, 2013). The beneficial effect of the proportion $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ varies between species, as well as the degree of development of the crops, environmental conditions, total concentration of nitrogen and total

PALABRAS CLAVE

Pimiento morrón, nitrato/amonio, despunte temprano.

Introducción

El pimiento es uno de los principales cultivos hortícolas producidos en campo abierto e invernadero a nivel mundial. México es el principal proveedor de este producto al mercado de Estados Unidos y Canadá (Díaz *et al.*, 2013). Los estados con mayor producción son Sinaloa, Sonora y Guanajuato, con una aportación de 152.4, 2.1 y 1.6 miles de toneladas respectivamente, y un valor aproximado de 3,600 millones de pesos (SIAP, 2016). En México existen distintos sistemas de conducción en pimiento, la mayoría de los invernaderos utilizan el tipo holandés o poda en “V”, el cual consiste en conducir a la planta a dos tallos mediante la poda de una de las ramas en cada bifurcación, durante 10 meses aproximadamente. El sistema es delicado en su manejo y el costo de producción por kilogramo es elevado (Sánchez *et al.*, 2017). Un sistema alternativo de menor costo, es el despunte temprano, el cual permite detener el crecimiento de las plantas al eliminar los ápices de crecimiento, una vez formada las primeras tres o cuatro bifurcaciones. Mediante este procedimiento se acorta el ciclo de cultivo a cuatro o cinco meses después del trasplante y da lugar a que se pueda establecer al menos dos a tres ciclos de cultivo por año. El rendimiento por planta con este sistema, suele ser menor pero se compensa por unidad de superficie, dado que la densidad de población es mayor comparado con lo que se emplea de manera comercial (Ortíz *et al.*, 2009). A nivel experimental, se ha utilizado en cultivos de pimiento, el despunte arriba de la tercera y cuarta bifurcación, demostrando que potencialmente pueden lograr una productividad anual igual o mayor a los sistemas de poda europeos, pero con tecnologías más sencillas y a menores costos de producción (Cruz *et al.*, 2009). Otro factor importante en la producción de pimiento en cultivo sin suelo, lo constituye la composición y concentración de iones en la solución nutritiva. En particular, la nutrición nitrogenada y la forma iónica de NO_3^- y NH_4^+ en una relación apropiada, puede incrementar el crecimiento y rendimiento de los cultivos comparado con cualquiera de las dos formas de nitrógeno por separado (Sheng-Xiu *et al.*, 2013). El efecto benéfico de la proporción $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ varía entre especies, así como el grado de desarrollo de los cultivos, condiciones ambientales, concentración total de nitrógeno

ionic concentration of the nutrient solution (Chang *et al.*, 2010; Tucuch-Haas *et al.*, 2012; Chen *et al.*, 2015; Liu *et al.*, 2017). An inadequate supply of the $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ratio may be harmful to the crop due to the effects of toxicity and alterations in metabolism that may occur by high concentrations of nitrogen (Sheng-Xiu *et al.*, 2013). The correct ammoniacal nutrition can become an effective tool to improve the nitrogen absorption in plants, starting from the fact that the assimilation of nitrogen by the absorption of the ammoniacal form is faster (Bonete & Martínez, 2009) and with a lower energetic cost for the plants (Degiovanni *et al.*, 2010). In tomato, Dong *et al.* (2004) reported that a 25/75 ratio of NH_4^+ and NO_3^- increased the fresh and dry fruit weight. On their part, Claussen (2002) and Xu *et al.* (2001) reported that in hydroponic greenhouse pepper and tomato crops, maximum growth and yield was obtained when the NH_4^+ concentration did not exceed 30 %. The objective of the present study was to evaluate the effect of different $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ratios in the nutrient solution, in the accumulated total dry biomass and yield of Bell pepper fruit with management of early pruning, in an open-circuit hydroponic system.

Material and Methods

The study was carried out in a modified tunnel-type greenhouse without climatic control and with passive zenith and lateral ventilation, located in the Academic Unit of Agriculture, at 21° 25' North latitude and 104° 53' West longitude in Xalisco, state of Nayarit, during the period from August 2017 to January 2018. Two varieties of blocky bell pepper, Avante and Tribeka with ripe red fruits were used, which have high resistance to the Tobacco mosaic virus and intermediate resistance to the Tomato spotted wilt virus and Pepper sadness. The sowing was carried out in polystyrene trays of 200 cavities, placing one seed per cavity; peat (Sunshine®) fine mixture number 3 was used as substrate. Once the seeds germinated, the irrigations and fertilization were carried out when the first true leaves emerged, applying the universal Steiner solution at 25 %. At 45 days after sowing, when the plants had formed two to three true leaves, the transplant was performed in black polyethylene bags of 10 liters capacity, with red basaltic volcanic rock as a substrate with a particle size of 6 mm to fine. The plantation framework consisted of paired lines with a distance of 1.20 m between corridors, 0.60 m between lines and 0.50 m between plants.

y concentración iónica total de la solución nutritiva (Chang *et al.*, 2010; Tucuch-Haas *et al.*, 2012; Chen *et al.*, 2015; Liu *et al.*, 2017). Un suministro inadecuado de la relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ podría ser perjudicial al cultivo por los efectos de toxicidad y alteraciones en el metabolismo que se pueden presentar por elevadas concentraciones de nitrógeno (Sheng-Xiu *et al.*, 2013). La nutrición amoniacal correcta puede convertirse en una herramienta eficaz para mejorar la absorción de nitrógeno en plantas, partiendo del hecho de que la asimilación de nitrógeno por la absorción de la forma amoniacal es más rápida (Bonete & Martínez, 2009) y con menor costo energético para las plantas (Degiovanni *et al.*, 2010). En tomate, Dong *et al.* (2004) reportaron que una relación 25/75 de NH_4^+ y NO_3^- aumentó el peso fresco y seco de frutos. Por su parte, Claussen (2002) y Xu *et al.* (2001) reportaron que en cultivos hidropónicos de pimiento y tomate en invernadero, se obtuvo el máximo crecimiento y rendimiento cuando la concentración de NH_4^+ no superó a 30%. El objetivo del presente estudio, fue evaluar el efecto de distintas relaciones $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ en la solución nutritiva, en la biomasa seca total acumulada y rendimiento de fruto de pimiento morrón con manejo de despunte temprano, en un sistema hidropónico de circuito abierto.

Material y Métodos

El estudio se realizó en un invernadero tipo túnel modificado sin control climático y con ventilación pasiva cenital y lateral, localizado en la Unidad Académica de Agricultura, a 21° 25' latitud Norte y 104° 53' longitud Oeste en Xalisco, estado de Nayarit, durante el periodo de agosto de 2017 a enero de 2018. Se emplearon dos variedades de pimiento morrón tipo blocky, Avante y Tribeka con frutos de color rojo al madurar, los cuales presentan resistencia alta al virus del mosaico del tabaco y resistencia intermedia al virus del bronceado del tomate y tristeza del pimiento. La siembra se realizó en charolas de poliestireno de 200 cavidades, colocando una semilla por cavidad; como sustrato se utilizó turba vegetal (Sunshine®) mezcla fina número 3. Una vez germinadas las semillas, se efectuaron los riegos y la fertilización al aparecer las primeras hojas verdaderas, aplicando la solución nutritiva universal Steiner al 25 %. A los 45 días después de la siembra, cuando las plantas habían formado de dos a tres hojas verdaderas, se realizó el trasplante en bolsas negras de polietileno de 10 litros de capacidad, con roca volcánica basáltica roja como sustrato con una granulometría de 6 mm a fino. El marco de plantación consistió en líneas pareadas con distanciamientos de 1.20 m entre pasillos, 0.60 m entre líneas y 0.50 m entre plantas.

The chemical composition, pH and electrical conductivity of the irrigation water used in the experiment is detailed in Table 1; it has a sodium adsorption ratio of 0.86, residual sodium carbonate -0.35 and according to the Riverside Standards it is classified as C₁S₁, good quality water. The Steiner's universal nutrient solution (Steiner, 1961) was used modifying the total nitrogen concentration of 12 to 15 meq·L⁻¹ from its original formulation and the total ionic concentration was reduced to an osmotic potential (Ψ_o) of -0.037 ± -0.0025 kPa. The percentage proportions of NO₃⁻/NH₄⁺ used were 100/0, 90/10, 80/20 and 70/30, which corresponds to a NH₄⁺ concentration of 0, 0.75, 1.5 and 2.25 meq L⁻¹ respectively, in the cation ratio. Table 2 shows the chemical composition of anions and cations of the nutrient solutions mentioned.

La composición química, pH y conductividad eléctrica del agua de riego utilizada en el experimento se detalla en el Tabla 1; tiene una Relación de Adsorción de Sodio de 0.86, Carbonato sódico residual -0.35 y de acuerdo a las Normas Riverside se clasifica como C₁S₁, agua de buena calidad. Se utilizó la solución nutritiva universal de Steiner (Steiner, 1961) modificando la concentración de nitrógeno total de 12 a 15 meq·L⁻¹, a partir de su formulación original y se disminuyó la concentración iónica total a un potencial osmótico (Ψ_o) de -0.037 ± -0.0025 kPa. Las proporciones porcentuales de NO₃⁻/NH₄⁺ utilizadas fueron 100/0, 90/10, 80/20 y 70/30, lo cual corresponde a una concentración de NH₄⁺ de 0, 0.75, 1.5 y 2.25 meq L⁻¹ respectivamente, en la relación de cationes. En el Tabla 2 se detalla la composición química de aniones y cationes de dichas soluciones nutritivas.

Table 1.
Chemical composition, pH and electrical conductivity of water used in the experiment for the preparation of nutrient solutions

Tabla 1.
Composición química, pH y conductividad eléctrica del agua utilizada en el experimento para la preparación de las soluciones nutritivas

HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	Na ⁺	C.E. [§]	pH
-----meq.L ⁻¹ -----									dS·m ⁻¹	
0.80	0.41	0	0	0.15	0.73	0.42	0	0.65	0.2	7.1

[§]C.E. Conductividad eléctrica

[§]C.E. Electrical conductivity

Table 2.
Chemical composition of the nutrient solutions used in the experiment

Tabla 2.
Composición química de las soluciones nutritivas utilizadas en el experimento

NO ₃ ⁻ /NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	Ψ _o [§]
(%)	-----meq.L ⁻¹ -----							kPa
1 (100/0)	7.09	0.31	2.18	3.35	3.77	1.58	0.00	-0.0376
2 (90/10)	6.34	0.41	2.84	3.08	3.43	1.43	0.75	-0.0373
3 (80/20)	5.59	0.50	3.50	2.81	3.10	1.28	1.50	-0.0371
4 (70/30)	4.84	0.59	4.15	2.56	2.75	1.13	2.25	-0.0370

[§] Ψ_o: Potencial osmótico expresado en kPa

[§] Ψ_o: Osmotic potential in kPa

For the preparation of the nutrient solutions (Table 2) in the different treatments, the concentrations of anions and cations present in the irrigation water were considered (Table 1). Fertigation grade commercial fertilizers were used as a source of nutrients: calcium nitrate tetrahydrate, potassium nitrate, potassium sulfate heptahydrate, magnesium sulfate, ammonium sulfate and monopotassium phosphate. As a micronutrient source, Ultrasol micromix[®] was used. The adjustment of the pH to 6.0 ± 0.1 of the nutritive solutions was made with sulfuric acid. The management of irrigation with nutrient solution or only acidulated water with a pH of 6.0 was carried out by means of a drip irrigation system, placing two emitters of 2 liters per hour in each container, operated with the use of a digital timer SKU model 458148 of 125 V-60Hz. A percentage of total drainage was maintained from 10 to 15 % in the vegetative stage and 20 % in the flowering-fruiting stage, to achieve a drainage electrical conductivity of 1.0 to 1.3 dS m⁻¹ throughout the crop cycle. Irrigations with nutrient solution were daily at 8:00 a.m. and 1:00 p.m., with a volume that ranged from 250 to 500 ml according to the development of the crop, as well as a daily total of 12 micro irrigations, with acidulated water and a volume of 50 to 100 ml per event with a frequency of one hour.

The factors under study were four NO₃⁻/NH₄⁺ relations and two blocky bell pepper varieties: Avante and Tribeka. In this way, eight treatments were established in a completely randomized experimental design, with a 4x2 factorial arrangement, with five repetitions. The experimental unit consisted of a plant placed in a container of 10 L capacity with a substrate. The different nutrient solutions were supplied from the first day of the transplant. The plants were cultivated with the growth of all their stems until the fourth bifurcation and the three leaves above it, the removal of the growth apices or pruning was done. The tutoring was carried out with raffia cords held on wire fastened in the structure of the greenhouse at a height of 3.2 m. The variables evaluated were Average fruit weight (AFW, g·fruit⁻¹), Number of fruits harvested per plant (NFP, Number of fruits·plant⁻¹), Fruit production per plant (RP, kg·plant⁻¹), Fruit yield per m² (RM2, kg·m⁻²), Number of fruits per m² (NFM²) and Accumulated total dry biomass (TDB, g·plant⁻¹). For the quantification of the total dry biomass, the samples of root, leaf, stem and fruit were dried in an oven with forced air circulation at 70°C until reaching constant weight. For the case of fruit, the dry weight of all the fruits obtained per plant, estimated

Para la preparación de las soluciones nutritivas (Tabla 2) en los diferentes tratamientos, se consideraron las concentraciones de aniones y cationes presentes en el agua de riego (Tabla 1). Como fuente de nutrimentos, se utilizaron fertilizantes comerciales grado fertirriego: nitrato de calcio tetrahidratado, nitrato de potasio, sulfato de potasio heptahidratado, sulfato de magnesio, sulfato de amonio y fosfato monopotásico. Como fuente de micronutrientos, se utilizó Ultrasol micromix[®]. El ajuste del pH a 6.0 ± 0.1 de las soluciones nutritivas se efectuó con ácido sulfúrico. El manejo del riego con solución nutritiva o solo agua acidulada con pH de 6.0 se efectuó mediante un sistema de riego por goteo, colocando dos emisores de 2 litros por hora en cada contenedor, accionado con el uso de un temporizador digital SKU modelo 458148 de 125 V-60Hz. Se mantuvo un porcentaje de drenaje total del 10 al 15 % en la etapa vegetativa y del 20 % en la etapa de floración-fructificación, para lograr una conductividad eléctrica de drenaje de 1.0 a 1.3 dS m⁻¹ a lo largo del ciclo de cultivo. Los riegos con solución nutritiva fueron en forma diaria a las 8:00 am y 13:00 pm, con un volumen que osciló de 250 a 500 ml de acuerdo al desarrollo del cultivo, así como un total diario de 12 micro riegos, con agua acidulada y un volumen de 50 a 100 ml por evento con una frecuencia de una hora.

Los factores en estudio fueron cuatro relaciones NO₃⁻/NH₄⁺ y dos variedades de pimiento morrón tipo blocky: Avante y Tribeka. De esta manera, se establecieron ocho tratamientos en un diseño experimental completamente al azar, con arreglo factorial 4x2, con cinco repeticiones. La unidad experimental consistió de una planta colocada en un contenedor con sustrato de 10 litros de capacidad. Las diferentes soluciones nutritivas se suministraron desde el primer día del trasplante. Las plantas se cultivaron con el crecimiento de todos sus tallos hasta la cuarta bifurcación y a las tres hojas por encima de ésta, se realizó la eliminación de los ápices de crecimiento o despunte. El tutorado se efectuó con cordones de rafia sostenida sobre alambre sujetado en la estructura del propio invernadero a una altura de 3.2 m. Las variables evaluadas fueron Peso medio de fruto (AFW, g·fruto⁻¹), Número de frutos cosechados por planta (NFP, Número de frutos·planta⁻¹), Producción de fruto por planta (RP, kg·planta⁻¹), Rendimiento de fruto por m² (RM², kg·m⁻²), Número de frutos por m² (NFM²) y Biomasa seca total acumulada (TDB, g·planta⁻¹). Para la cuantificación de la biomasa seca total, las muestras de raíz, hoja, tallo y fruto se secaron en una estufa con circulación de aire forzado a 70°C hasta alcanzar peso constante. Para el caso de fruto, se le sumó el peso seco de todos los frutos obtenidos por

from fresh weight, was added. The estimators were obtained by linear regressions between dry weight and fresh fruit weight, with five repetitions. The fresh or dry weight was determined using a digital scale. The data obtained from the response variables considered in the experimental treatments were subjected to an analysis of variance and Tukey's means test ($p \leq 0.05$) with the statistical program SAS®.

Results and Discussion

The analysis of variance showed significant differences for the variety factor in all the variables, except for fruit yield per m² (FYM²). The NO₃⁻/NH₄⁺ ratio factor and variety interaction with the NO₃⁻/NH₄⁺ ratio had significant differences in all the response variables, with the exception of accumulated total dry biomass (Table 3).

planta, estimado a partir del peso fresco. Los estimadores se obtuvieron mediante regresiones lineales entre el peso seco y el peso fresco de fruto, con cinco repeticiones. El peso fresco o seco se determinó mediante una balanza digital. Los datos obtenidos de las variables de respuesta consideradas en los tratamientos experimentales se sometieron a un Análisis de varianza y prueba de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) con el programa estadístico SAS®.

Resultados y Discusión

El análisis de varianza mostró diferencias significativas para el factor variedad en todas las variables, excepto para rendimiento de fruto por m² (FYM²). El factor relación NO₃⁻/NH₄⁺ e interacción variedad con la relación NO₃⁻/NH₄⁺ tuvieron diferencias significativas en todas las variables de respuesta, con excepción de biomasa seca total acumulada (Tabla 3).

Table 3.
Analysis of variance for dry biomass accumulated, fruit yield and its components per plant and area unit, studied in two varieties of bell pepper with different NO₃⁻/NH₄⁺ ratios and early blunting.

Tabla 3.
Análisis de varianza para biomasa seca total acumulada, rendimiento de fruto y sus componentes por planta y unidad de superficie, en dos variedades de pimiento morrón por efecto de relaciones NO₃⁻/NH₄⁺ con despunte temprano.

Variable	C.V. [§]	Variety	Probability > F	
			NO ₃ ⁻ /NH ₄ ⁺ ratio	Variety* NO ₃ ⁻ /NH ₄ ⁺ Ratio
Average fruit weight	12.16	0.0001*	0.0046*	0.0030*
Number of fruits per plant	18.02	0.0001*	0.0001*	0.0022*
Number of fruits per m ²	10.00	0.0001*	0.0004*	0.0304*
Fruit production per plant	16.67	0.0277*	0.0001*	0.0022*
Fruit yield per m ²	8.54	0.0593	0.0071*	0.0358*
Accumulated total dry biomass	8.05	0.029*	0.0001*	0.3759

[§]C.V. Coefficient of variation. * Differences significatives P ≤ 0.05.

[§]C.V. Coeficiente de variación; * Diferencias significativas P ≤ 0.05.

Average fruit weight, number of fruits harvested per plant and number of fruits per m²

The average weight of fruit, number of fruits harvested per plant and per surface area (m²), was significantly affected by the effect of the NO₃⁻/NH₄⁺ ratio

Peso medio de fruto, número de frutos cosechados por planta y número de frutos por m²

El peso medio de fruto, número de frutos cosechados por planta y por superficie (m²), se afectó significativamente por efecto de la relación NO₃⁻/NH₄⁺ en las soluciones

in nutrient solutions (SN). The fruit weight increased up to 17 % with the $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ratios of 80/20 and 70/30 in the Avante variety compared to the SN without NH_4^+ . In the Tribeka variety the fruit weight increased up to 14% with the $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ratio of 90/10, 80/20 and 70/30, also in comparison with the SN without NH_4^+ . Regarding the number of fruits in Avante, a 28 % decrease occurred when using nutrient solutions with $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ratio of 80/20 and 70/30, while in Tribeka the number of fruits decreased when 30 % of NH_4^+ was included, lower proportions of NH_4^+ did not affect the number of fruits in this variety. In the variable number of fruits per m^2 in Avante, the number of fruits was reduced with the use of SN with a $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ratio of 80/20 and in Tribeka the effect of decrease in the number of fruits per m^2 was observed in the SN including 30 % NH_4^+ (Table 4).

In bell pepper, the average weight of fruit is an important characteristic for the market, and was increased with the inclusion of ammonium in the SN in both varieties; however, by supplying ammonium to the SN, the number of fruits per plant and the number of fruits per m^2 decreased significantly. In the case of Avante when the proportion of NH_4^+ reached 20 % in the SN, the number of fruits decreased significantly, while Tribeka showed higher tolerance to the inclusion of NH_4^+ , since the effect of diminishing the number of fruits occurred when the proportion of NH_4^+ was 30 %. The above confirms that reported by other authors regarding the difference between varieties of the same species with respect to the affinity for the absorption of nitrogen in a nitric or ammoniacal form (Chen *et al.*, 2013). In the present study, it was observed that Tribeka is a variety whose inclusion of 10 % of ammonium of the total nitrogen in the SN favors the gain in average fruit weight without affecting the number of fruits it produces.

Fruit production, yield and biomass production

The supply of ammonium in the SN affected the fruit production per plant only in the case of the Tribeka variety, in which there was a reduction of 30 % when the highest proportion of ammonium was included in the SN, which ascended to 30 % of total nitrogen. In the case of Avante, the inclusion of up to 30 % of ammonium did not affect fruit production. Total accumulated dry biomass production was reduced only in the Tribeka variety when SN with 30 % ammonium was used (Table 5).

nutritivas (SN). El peso de fruto se incrementó hasta 17 % con las relaciones $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ de 80/20 y 70/30 en la variedad Avante en comparación con la SN sin NH_4^+ . En la variedad Tribeka el peso de fruto se incrementó hasta 14 % con la relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ de 90/10, 80/20 y 70/30, también en comparación con la SN sin NH_4^+ . En cuanto a número de frutos en Avante, ocurrió una disminución en 28 % cuando se utilizaron soluciones nutritivas con relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ de 80/20 y 70/30, mientras que en Tribeka el número de frutos disminuyó cuando se incluyó 30 % de NH_4^+ , proporciones inferiores de NH_4^+ no afectaron el número de frutos en esta variedad. En la variable número de frutos por m^2 en Avante, se redujo el número de frutos con la utilización de SN con relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ de 80/20 y en Tribeka el efecto de disminución de número de frutos por m^2 se observó en la SN con inclusión de 30 % de NH_4^+ (Tabla 4).

En pimiento morrón, el peso medio de fruto es una característica importante para el mercado, y se incrementó con la inclusión de amonio en la SN en ambas variedades; sin embargo, al suministrar amonio en la SN disminuyó de manera significativa el número de frutos por planta y el número de frutos por m^2 . En el caso de Avante cuando la proporción de NH_4^+ alcanzó 20 % en la SN disminuyó significativamente el número de frutos, mientras que Tribeka mostró mayor tolerancia a la inclusión de NH_4^+ , ya que el efecto de disminución de número de frutos ocurrió cuando la proporción de NH_4^+ fue de 30 %. Lo anterior confirma lo reportado por otros autores, acerca de la diferencia entre variedades de la misma especie con respecto a la afinidad por la absorción de nitrógeno en forma nítrica o amoniaca (Chen *et al.*, 2013). En el presente estudio, se observó que Tribeka es una variedad, cuya inclusión de 10 % de amonio del nitrógeno total en la SN, favorece la ganancia en peso medio de fruto sin afectar el número de frutos que produce.

Producción de fruto, rendimiento y producción de biomasa

El suministro de amonio en la SN afectó la producción de fruto por planta solo en el caso de la variedad Tribeka, en la cual hubo una reducción del 30 % cuando se incluyó la más alta proporción de amonio en la SN, que ascendió a 30 % del nitrógeno total. En el caso de Avante, la inclusión de hasta 30 % de amonio no afectó la producción de fruto. La producción de biomasa seca total acumulada se redujo solo en la variedad Tribeka cuando se utilizó la SN con 30 % de amonio (Tabla 5).

Table 4.
Effect of the $\text{NO}_3^- / \text{NH}_4^+$ ratio on production variables of two varieties of bell pepper with blunt over the fourth bifurcation, in hydroponics and greenhouse.

Tabla 4.
Efecto de la relación $\text{NO}_3^- / \text{NH}_4^+$ en variables de producción de fruto de dos variedades de pimiento morrón manejados con despunte encima de la cuarta bifurcación, en hidroponía e invernadero.

$\text{NO}_3^- / \text{NH}_4^+$ Ratio %	Variety	Average fruit weight (g fruit ⁻¹)	Number of fruits per plant	Number of fruits per m ²
(100/0)	Avante	144.35 b [§]	10.12 a	39.8 ab
(90/10)	Avante	140.31 b	10.75 a	41.8 a
(80/20)	Avante	165.10 a	8.37 b	33.4 b
(70/30)	Avante	158.54 ab	9.18 ab	36.4 ab
(100/0)	Tribeka	170.50 b	8.31 a	33.00 a
(90/10)	Tribeka	195.77 a	7.93 a	31.60 ab
(80/20)	Tribeka	186.57 ab	7.81 a	30.80 ab
(70/30)	Tribeka	182.00 ab	5.81 b	25.00 b
MSD [§]		22.271	1.6786	6.9664

[§]Values with equal letters in each column are not statistically different to variety (Tukey, ≤ 0.05). [§]DMS: minimum significative difference.
[§]Valores con letras iguales en cada columna no son estadísticamente diferentes para una variedad determinada (Tukey, ≤ 0.05). [§]DMS: Diferencia mínima significativa.

Table 5.
Effect of the $\text{NO}_3^- / \text{NH}_4^+$ ratio on yield variables of two varieties of bell pepper with blunting at the fourth bifurcation.

Tabla 5.
Efecto de la relación $\text{NO}_3^- / \text{NH}_4^+$ en variables de rendimiento de dos variedades de pimiento morrón manejados con despunte en la cuarta bifurcación.

$\text{NO}_3^- / \text{NH}_4^+$ Ratio %	Variety	Fruit production per plant (kg plant ⁻¹)	Fruit yield (kg·m ⁻²)	TDB [§] (g·plant ⁻¹)
100/0	Avante	1.43 a [§]	5.75 a	174.714 a
90/10	Avante	1.48 a	5.83 a	175.908 a
80/20	Avante	1.35 a	5.41 ab	161.347 ab
70/30	Avante	1.40 a	5.66 a	153.708 ab
100/0	Tribeka	1.39 a	5.57 a	157.444 ab
90/10	Tribeka	1.48 a	5.92 a	176.292 a
80/20	Tribeka	1.39 a	5.41 ab	156.449 ab
70/30	Tribeka	1.04 b	4.58 b	138.004 b
MSD ^ϕ		0.2501	0.9652	26.684

[§]Values with equal letters in each column are not statistically different to variety (Tukey, ≤ 0.05). ^ϕDMS minimum significative difference.
[§]Valores con letras iguales en cada columna no son estadísticamente diferentes para una variedad determinada (Tukey, ≤ 0.05). [§]TDB Biomasa seca total acumulada. ^ϕDMS Diferencia mínima significativa.

Reséndiz-Melgar *et al.* (2010) reported variations in accumulated dry biomass between 118 and 202 g in pepper plants under an early blunting system; the results of the present study fall within this range. The decrease of production of dry biomass in the case of the Tribeka variety when using the SN with a $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ratio of 70/30, indicated that the NH_4^+ when reaching this percentage begins to cause phytotoxic effects, which could affect the physiological processes responsible for the accumulation of dry matter, as reported by Esteban *et al.* (2016). Tucuch-Haas *et al.* (2012) reported that with a $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ 70/30 ratio, the production per plant in habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) was significantly lower, which coincides with the results of this study for the Tribeka variety. However, the results obtained in the present research, contrast with that reported by Sandoval-Villa *et al.*, (2001), where the concentration of NH_4^+ in the SN did not affect the production of fruits in tomato by providing different $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ratios.

Effect of the $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ratio and varieties

The average weight of fruit increased 10 % with the inclusion of 10 to 30 % of NH_4^+ in the SN of the total nitrogen supplied, in comparison to the supply with only NO_3^- ; however, the addition of NH_4^+ led to a decrease in the number of fruits when 10 % was added in the $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ratio, and the number of fruits was reduced by 16 %. Fruit production per plant also decreased by 18 % when the ammonium proportion was 30 %. The response in the number of fruits per m^2 had a similar tendency to what was obtained in the variable number of fruits per plant, because both variables have high correlation. Regarding varieties, Avante outperformed Tribeka in the number of fruits per plant, number of fruits per m^2 and fruit production per plant, but not in average fruit weight (Table 6).

The use of SN with only NO_3^- as a nitrogen source, affected the average fruit weight and the highest values were obtained with the addition of 20 % NH_4^+ in the SN, but this proportion of NH_4^+ significantly reduces the number of fruits; however, the above can be compensated with the improvement in product quality by having greater weight. These results contrast with that reported by Parra *et al.* (2012) in tomato cultivation cv. IB-9, where the number of fruits per plant was not affected by the different $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ urea ratios and the potassium concentration in the SN. Monge-Pérez *et al.* (2016) and Borošić *et al.* (2012)

Reséndiz-Melgar *et al.* (2010) reportaron variaciones en biomasa seca acumulada entre 118 y 202 g en plantas de pimiento bajo sistema a despunte temprano; los resultados del presente estudio se ubican dentro de este intervalo. La disminución de producción de biomasa seca en el caso de la variedad Tribeka al utilizar la SN con relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ de 70/30, indicó que el NH_4^+ al alcanzar este porcentaje comienza a causar efectos fitotóxicos, los cuales pudieron afectar los procesos fisiológicos responsables de la acumulación de materia seca, como lo reportan Esteban *et al.* (2016). Tucuch-Haas *et al.* (2012) reportaron que con una relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ 70/30, la producción por planta en cultivo de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) fue significativamente menor, lo que coincide con los resultados de este estudio para la variedad Tribeka. Sin embargo, los resultados obtenidos en la presente investigación, contrasta con lo reportado por Sandoval-Villa *et al.*, (2001), donde la concentración de NH_4^+ en la SN no afectó la producción de frutos en tomate al suministrar diferentes relaciones $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$.

Efecto de la relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ y variedades

El peso medio de fruto se incrementó 10 % con la inclusión de 10 a 30 % de NH_4^+ en la SN del nitrógeno total suministrado, en comparación al suministro con solo NO_3^- ; sin embargo, la adición de NH_4^+ propició la disminución del número de frutos cuando se adicionó 10 % en la proporción $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$, y redujo hasta en 16 % el número de frutos. La producción de fruto por planta también disminuyó en 18 % cuando la proporción de amonio fue de 30 %. La respuesta en el número de frutos por m^2 tuvo una tendencia similar a lo que se obtuvo en la variable número de frutos por planta, debido a que ambas variables tienen alta correlación. Con respecto a las variedades, Avante superó a Tribeka en el número de frutos por planta, número de frutos por m^2 y producción de fruto por planta, pero no en peso medio de fruto (Tabla 6).

La utilización de SN con solo NO_3^- como fuente nitrogenada, afectó el peso medio de los frutos y los mayores valores se obtuvieron con la adición de 20 % de NH_4^+ en la SN, pero esta proporción de NH_4^+ reduce significativamente el número de frutos; sin embargo, lo anterior se puede compensar con la mejora en calidad del producto al tener mayor peso. Estos resultados contrastan con lo reportado por Parra *et al.* (2012) en cultivo de tomate cv. IB-9, donde el número de frutos por planta no fue afectado por las distintas relaciones $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$: urea y la concentración de potasio en la SN. Monge-Pérez *et al.* (2016) y Borošić *et al.*

reported that the average weight of pepper fruit varies between 98 and 289 g; the results obtained for this variable are within this range. The effects that the $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ratios caused in the variable number of fruits, differ with that reported by Antúnez-Ocampo *et al.* (2014) in cape gooseberry plants, where different $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ratios did not promote a significant difference in the number of fruits. This is attributed to the ability of each species or variety to tolerate different concentrations of ammonium in the SN.

(2012) reportaron que el peso medio de fruto en pimiento varía entre 98 y 289 g; los resultados que se obtuvieron para esta variable se ubican dentro de este intervalo. Los efectos que las relaciones $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ocasionaron en la variable número de frutos, difieren con lo reportado por Antúnez-Ocampo *et al.* (2014) en plantas de uchuva, donde distintas relaciones $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ no promovieron diferencia significativa en el número de frutos. Esto se atribuye a la capacidad que posee cada especie o variedad para tolerar diferentes concentraciones de amonio en la SN.

Table 6.
Effect of the $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ratio on yield variables for Avante and Tribeka varieties of bell peppers, handled with blunting at the fourth bifurcation.

Tabla 6.
Efecto de la relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ en variables de rendimiento para pimiento variedad Avante y Tribeka, manejados con despunte en la cuarta bifurcación.

$\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ Ratio %	Average fruit weight (g fruit ⁻¹)	Number of fruits per plant	Number of fruits per m ²	Fruit production per plant (kg plant ⁻¹)
100/0	157.43 b [§]	9.21 a	36.40 a	1.41 a
90/10	168.04 ab	9.34 a	36.70 a	1.48 a
80/20	175.84 a	8.09 b	32.10 b	1.37 ab
70/30	170.27 ab	7.50 b	30.70 b	1.22 b
MSD [§]	13.299	1.002	4.120	0.149
Variety				
Avante	152.08 b	9.60 a	37.85 a	1.42 a
Tribeka	183.71 a	7.46 b	30.10 b	1.32 b
MSD [§]	7.146	0.538	2.190	0.080

[§]Values with equal letters in each column are not statistically different to variety (Tukey, ≤ 0.05). [¶]DMS minimum significative difference.

[§]Valores con letras iguales en cada columna indican no diferencias significativas (Tukey, ≤ 0.05). [¶]DMS Diferencia mínima significativa.

The differences obtained between the pepper varieties Avante and Tribeka confirm that the optimum proportion of $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ varies between cultivars of the same species (Chen *et al.*, 2013). Bar-Tal *et al.* (2001a) state that concentrations higher than 1 mmol·L⁻¹ of NH_4^+ in the SN decrease the production of fruit in pepper, as observed in the decrease in Tribeka from the $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ratio of 70/30.

Las diferencias obtenidas entre las variedades de pimiento Avante y Tribeka permite corroborar que la proporción óptima de $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ varía entre cultivares de una misma especie (Chen *et al.*, 2013). Bar-Tal *et al.* (2001a) afirma que concentraciones mayores a 1 mmol·L⁻¹ de NH_4^+ en la SN, disminuye la producción de fruto en pimiento, como se observa en el decremento en Tribeka a partir de la relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ de 70/30.

The different $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ratios also affected fruit production per plant, fruit yield per m² and production of accumulated dry biomass per plant. The highest fruit production per

Las diferentes relaciones $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$, también afectaron la producción de fruto por planta, rendimiento de fruto por m² y producción de biomasa seca acumulada por planta. La mayor

plant was reached in the following $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ratios 100/0, 90/10 and 80/20. With the inclusion of 30 % of NH_4^+ , fruit production, fruit yield per m^2 and production of accumulated total dry biomass were reduced. In the case of varieties, Avante had in general a greater capacity for fruit production and therefore a greater production of accumulated dry biomass (Table 7).

producción de fruto por planta se alcanzó en las siguientes relaciones $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ 100/0, 90/10 y 80/20. Con la inclusión de 30 % de NH_4^+ se redujo la producción de fruto, el rendimiento de fruto por m^2 y producción de biomasa seca total acumulada. Para el caso de variedades, Avante tuvo en general mayor capacidad de producción de fruto y por consiguiente mayor producción de biomasa seca acumulada (Tabla 7).

Table 7.

Effect of the $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ratio on yield variables for bell pepper varieties Avante and Tribeka, managed with blunting at the fourth bifurcation.

Tabla 7.

Efecto de la relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ en variables de rendimiento para pimiento variedad Avante y Tribeka, manejados con despunte en la cuarta bifurcación.

$\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ratio %	Fruit production per plant (kg plant ⁻¹)	Fruit yield (kg·m ⁻²)	Total accumulated dry biomass (g plant ⁻¹)
100/0	1.41 a [§]	5.66 a	166.07 ab
90/10	1.48 a	5.87 a	176.10 a
80/20	1.37 ab	5.40 ab	158.89 bc
70/30	1.22 b	5.11 b	145.85 c
MSD	0.149	0.570	15.782
Variety			
Avante	1.42 a	5.66 a	166.42 a
Tribeka	1.32 b	5.37 a	157.04 b
MSD [§]	0.080	0.303	8.389

[§]Values with equal letters in each column are not statistically different to variety (Tukey, ≤ 0.05). [¶]DMS minimum significative difference.

[§]Valores seguidos con letras iguales en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, ≤ 0.05). [¶]DMS= Diferencia mínima significativa.

It should be noted that the highest yields per m^2 were obtained with the incorporation of 10 % NH_4^+ with 5.87 kg of fruit per m^2 . These yields are greater than that reported by Cruz *et al.* (2009) in a similar crop cycle. This is because the coexistence of NO_3^- and NH_4^+ in the SN favors a greater absorption of N compared to the separate supply of NO_3^- or NH_4^+ (Sheng-Xiu *et al.*, 2013).

Cabe destacar que los mayores rendimientos por m^2 se obtuvieron con la incorporación de 10 % de NH_4^+ con 5.87 kg de fruto por m^2 . Estos rendimientos son mayores a lo reportado por Cruz *et al.* (2009) en un ciclo de cultivo similar. Esto se debe a que la coexistencia de NO_3^- y NH_4^+ en la SN, favorece una mayor absorción de N en comparación con el suministro por separado de NO_3^- o NH_4^+ (Sheng-Xiu *et al.*, 2013).

Similar results were obtained in California Wonder cv. pepper, where increasing the NH_4^+ in the SN decreased the dry weight of the plant and fruit (Marti & Mills, 1991). In contrast, Sandoval-Villa *et al.* (2001) found no significant differences in fresh and dry weight in tomato crops when providing different $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ratios. The presence of both forms of nitrogen in the SN increases the total dry biomass in comparison with those plants treated only

Resultados similares se obtuvieron en pimiento cv. California Wonder, donde al incrementar NH_4^+ en la SN disminuyó el peso seco de la planta y fruto (Marti & Mills, 1991). En contraste, Sandoval-Villa *et al.* (2001) no encontraron diferencias significativas en el peso fresco y seco en cultivo de tomate al suministrar diferentes relaciones $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$. La presencia de ambas formas de nitrógeno en la SN incrementa la biomasa seca total en comparación con

with NO_3^- (González *et al.*, 2009); however, higher or exclusive NH_4^+ supplies may decrease it (Wang *et al.*, 2009), as observed in the decrease with the addition of 30 % NH_4^+ in the SN. The greenhouse technology used in the present study was of low classification according to Mazuela *et al.* (2010) and García *et al.* (2011); however, the potential yield is similar to that obtained in annual cycles with more expensive greenhouses that contain higher technology (Bar-Tal *et al.*, 2001b, Zuñiga-Estrada *et al.*, 2004, Monge-Pérez *et al.*, 2016). Another advantage of this short-cycle production system is that it ensures fruit production, even with plants with a virile disease or present pest (Sánchez *et al.*, 2017). In addition, production cycles can be programmed on dates on which the weather and the market are more favorable and thus increase profitability.

Conclusions

The different $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ proportions supplied in the nutrient solution with the same osmotic potential of -0.037 kPa promoted a differential response in most of the evaluated variables related to fruit yield and total accumulated dry biomass in bell pepper with early blunting at the height of the fourth bifurcation of the stem. The best response in the studied variables was obtained with the addition of 10 % of NH_4^+ that equals 0.75 meq L^{-1} in the ratio of cations. In the same way, the concentration of ammonium in the nutrient solution had an interactive effect with the pepper varieties Avante and Tribeka in the quantified variables.

References

- Antúnez-Ocampo, O. M., Sandoval-Villa, M., y Alcántar-González, G. (2014). Aplicación de amonio y nitrato en plantas de *Physalis peruviana* L. *Agrociencia*, 48(8): 805-817. <http://www.redalyc.org/pdf/302/30232982004.pdf>
- Bar-Tal, A., Aloni, B., Karni, L., and Rosenberg, R. (2001a). Nitrogen nutrition of greenhouse pepper. II. Effects of nitrogen concentration and $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ ratio on growth, transpiration, and nutrient uptake. *HortScience*, 36(7): 1252-1259. <http://hortsci.ashspublications.org/content/36/7/1252.full.pdf>
- Bar-Tal, A., Keinan, M., Aloni, B., Karni, L., Oserovitz, Y., Gantz, S., and Hazan, A. (2001b). Relationships between blossom end rot and water availability and Ca fertilization in bell pepper fruit production. *Acta Horticulturae* 554: 97–103. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2001.554.9>
- Bonete, M. J., y Martínez, E. R. M. (2009). Avances en el metabolismo del nitrógeno: de la genómica y la proteómica a las aplicaciones agronómicas, industriales y medioambientales. Editorial Club Universitario. 105-112 pp. España. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=714585>
- Borošić, J., Benko, B., Fabek, S., Novak, B., Dobričević, N. and Bučan, L. (2012). Agronomic traits of soilless grown bell pepper. *Acta Horticulturae*, 927: 421-428. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.927.52>

aquellas plantas tratadas solo con NO_3^- (González *et al.*, 2009); sin embargo, suministros más altos o exclusivos de NH_4^+ pueden disminuirla (Wang *et al.*, 2009), como se observa en el decremento con la adición de 30 % de NH_4^+ en la SN. La tecnología de invernadero utilizada en el presente estudio fue de clasificación baja de acuerdo a Mazuela *et al.* (2010) y García *et al.* (2011); sin embargo, el rendimiento potencial es similar a los obtenidos en ciclos anuales con invernaderos de mayor tecnología y más costosos (Bar-Tal *et al.*, 2001b; Zuñiga-Estrada *et al.*, 2004; Monge-Pérez *et al.*, 2016). Otra ventaja de este sistema de producción de ciclo corto, es que asegura la producción de frutos, incluso con plantas con alguna enfermedad virosa o plaga presente (Sánchez *et al.*, 2017). Además se pueden programar los ciclos de producción en fechas que el clima y el mercado sea más favorable y así aumentar la rentabilidad.

Conclusiones

Las diferentes proporciones $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ suministradas en la solución nutritiva con un mismo potencial osmótico de -0.037 kPa, promovieron una respuesta diferencial en la mayoría de las variables evaluadas relacionadas con el rendimiento de fruto y biomasa seca total acumulada en pimiento morrón con despunte temprano a la altura de la cuarta bifurcación del tallo. La mejor respuesta en las variables estudiadas se obtuvo con la adición de 10 % de NH_4^+ que equivale a 0.75 meq L^{-1} en la relación de cationes. De igual manera, la concentración de amonio en la solución nutritiva tuvo un efecto interactivo con las variedades de pimiento Avante y Tribeka en las variables cuantificadas.

- Chang, J., Liu, D., Cao, H., Chang, S. X., Wang, X., Huang, C., and Ge, Y. (2010). $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ratios affect the growth and N removal ability of *Acorus calamus* and *Iris pseudacorus* in a hydroponic system. *Aquatic Botany*, 93(4): 216-220. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2010.08.002>
- Chen, B., Liu, D., Han, W., Fan, X., Cao, H., Jiang, Q., Liu, Yu., Chang, J., and Ge, Y. (2015). Nitrogen-removal ability and niche of *Coix lacryma-jobi* and *Reineckia carnea* in response to $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ratio. *Aquatic Botany*, 120, 193-200. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2014.05.016>
- Chen, G., Guo, S., Kronzucker, H. J., and Shi, W. (2013). Nitrogen use efficiency (NUE) in rice links to NH_4^+ toxicity and futile NH_4^+ cycling in roots. *Plant and Soil*, 369(1): 351-363. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1575-y>
- Claussen, W. (2002). Growth, water use efficiency, and proline content of hydroponically grown tomato plants as affected by nitrogen source. *Plant and Soil*, 247(2): 199-209. <https://doi.org/10.1023/A:1021453432329>
- Cruz, H. N., Sánchez, C. F., Ortiz, C. J., y Mendoza, C. M. C. (2009). Altas densidades con despunte temprano en rendimiento y período de cosecha en Chile pimiento. *Agricultura técnica en México*, 35(1): 73-80. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agritm/v35n1/v35n1a7.pdf>
- Degiovanni, B. V., Martínez, R. C. P., y Motta, F. O. (2010). Producción eco-eficiente del arroz en América Latina. Centro Internacional de Agricultura Tropical. (CIAT). Colombia. pp. 488. https://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos/Ciat/2010_Degiovanni-Produccion_eco-eficiente_del_arroz.pdf
- Díaz F. A., Alvarado. C. M., Ortiz C. F., y Grageda. C. O. (2013). Nutrición de la planta y calidad de fruto de pimiento asociado con micorriza arbuscular en invernadero. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 4(2): 315-321. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v4n2/v4n2a11.pdf>
- Dong, C., Shen, Q., and Wang, G. (2004). Tomato growth and organic acid changes in response to partial replacement of NO_3^- -N by NH_4^+ -N. *Pedosphere*, 14(2): 159-164. <https://europepmc.org/abstract/cba/401562>
- Esteban, R., Ariz I., Cruz C., Moran J. F. 2016. Mechanisms of ammonium toxicity and the quest for tolerance, *Plant Science* <http://dx.doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.04.008>
- García, V. N., van der Valk, O. M. C., and Elings, A. (2011). Mexican protected horticulture: Production and market of Mexican protected horticulture described and analysed (No. 1126). Wageningen UR Greenhouse Horticulture/ LEI. <http://edepot.wur.nl/196070>
- González, G. J. L., Rodríguez, M. M. N., Sánchez, G. P., y Gaytán, A. E. A. (2009). Relación amonio/nitrato en la producción de hierbas aromáticas en hidroponía. *Agricultura técnica en México*, 35(1): 5-11. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agritm/v35n1/v35n1a1.pdf>
- Liu, G., Du, Q., and Li, J. (2017). Interactive effects of nitrate-ammonium ratios and temperatures on growth, photosynthesis, and nitrogen metabolism of tomato seedlings. *Scientia Horticulturae*, 214: 41-50. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.09.006>
- Marti, H.R., and Mills, H. A. (1991). Nutrient uptake and yield of sweet pepper as affected by stage of development and N form. *Journal of plant nutrition*, 14(11): 1165-1175. <https://doi.org/10.1080/01904169109364275>
- Mazuela, P., Acuña, L., Álvarez, M., y Fuentes, Á. (2010). Producción y calidad de un tomate cherry en dos tipos de invernadero en cultivo sin suelo. *Idesia (Arica)*, 28(2): 97-100. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292010000200012>
- Monge-Pérez, J. E. (2016). Efecto de la poda y la densidad de siembra sobre el rendimiento y calidad del pimiento cuadrado (*Capsicum annuum* L.) cultivado bajo invernadero en Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 29(2): 125-136. <https://doi.org/10.18845/tm.v29i2.2696>
- Ortiz, C. J., Sánchez del C, F., Mendoza, C. M. y Torres, G. A. (2009). Características deseables de plantas de pepino crecidas en invernadero e hidroponía en altas densidades de población. *Revista fitotecnia mexicana*, 32(4): 289-294. <http://www.redalyc.org/pdf/610/61011789005.pdf>
- Parra, T. S., Mendoza, P. G., y Villarreal R. M. (2012). Relación nitrato/amonio/urea y concentración de potasio en la producción de tomate hidropónico. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(1): 113-124. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v3n1/v3n1a8.pdf>
- Reséndiz-Melgar, R. C., Moreno-Pérez, E. D. C., Castillo, S. D., Rodríguez-Pérez, J. E., y Peña-Lomelí, A. (2010). Variedades de pimiento morrón manejadas con despunte temprano en dos densidades de población. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 16(3): 223-229. http://www.redalyc.org/pdf/609/Resumenes/Resumen_60919865010_1.pdf
- Sánchez, C. F., Moreno, E. C., Reséndiz, M. R. C., Colinas, L. M. T., y Rodríguez, P. J. E. (2017). Producción de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) en ciclos cortos. *Agrociencia*, 51(4): 437-446. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/>

[v51n4/1405-3195-agro-51-04-00437.pdf](#)

- Sandoval-Villa, M., Guertal, E. A., and Wood, C. W. (2001). Greenhouse tomato response to low ammonium-nitrogen concentrations and duration of ammonium-nitrogen supply. *Journal of plant nutrition*, 24(11): 1787-1798. <https://doi.org/10.1081/PLN-100107312>
- Sheng-Xiu, L., Zhao-Hui W., and Stewart, B.A. (2013). Responses of Crop Plants to Ammonium and Nitrate N. Donald L. Sparks. *Advances in Agronomy*. Academic Press. pp 205-397. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-405942-9.00005-0>
- SIAP. (El Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) (2016). Cierre de la Producción Agrícola por Cultivo Modalidad riego + temporal. http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap/icultivo/index.jsp
- Steiner, A. A. (1961). A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and Soil*, 15(2): 134-154. <https://doi.org/10.1007/BF01347224>
- Tucuch-Haas, C. J., Alcántar-González, G. Ordaz-Chaparro, V. M., Santizo-Rincón, J. A. y Larqué-Saavedra, A. (2012). Producción y calidad de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) con diferentes relaciones NH_4^+ / NO_3^- y tamaño de partícula de sustratos. *Terra Latinoamericana*, 30(1): 9-15. <http://www.redalyc.org/pdf/573/57324651002.pdf>
- Wang, J., Zhou, Y., Zhou, C., Shen, Q., and Putheti, R. (2009). Effects of NH_4^+ -N/ NO_3^- -N ratios on growth, nitrate uptake and organic acid levels of spinach (*Spinacia oleracea* L.). *African Journal of Biotechnology*, 8(15): 3597-3602. <https://doi.org/10.4314/ajb.v8i15.61860>
- Xu, G., Wolf, S., and Kafkafi, U. (2002). Ammonium on potassium interaction in sweet pepper. *Journal of plant nutrition*, 25(4): 719-734. <https://doi.org/10.1081/PLN-120002954>
- Zuñiga-Estrada, L., Martínez-Hernández, J. D. J., Baca-Castillo, G. A., Martínez-Garza, Á., Tirado-Torres, J. L., y Kohashi-Shibata, J. (2004). Producción de chile pimiento en dos sistemas de riego bajo condiciones hidropónicas. *Agrociencia*, 38(2): 207-218. <http://www.redalyc.org/pdf/302/30238208.pdf>