



Efecto de la Relación Nitrato: Amonio en *Solanum nigrescens* Mart. & Gal.

Effect of Nitrate: Ammonium Ratio in *Solanum nigrescens* Mart. & Gal.

Ángel Osvaldo Alcántara-Nazario¹, Manuel Sandoval-Villa¹, Gabriel Alcántar-González¹, Antonio García-Esteva¹ y María Guadalupe Peralta-Sánchez¹

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo. 56230 Texcoco, Estado de México, México; (A.O.A.N.), (M.S.V.), (G.A.G), (A.G.E), (M.G.P.S.).

[‡] Autor para correspondencia: msandoval@colpos.mx

RESUMEN

La presente investigación se realizó en un invernadero del Colegio de Posgraduados (CP), Campus Montecillo, ubicado en el municipio de Texcoco, Estado de México, de enero a diciembre de 2022, con el objetivo de investigar la respuesta de la hierbamora (*Solanum nigrescens* Mart. & Gal.) a cuatro niveles de la relación nitrato:amonio (100:0, 75:25, 50:50 y 25:75) respecto a rendimiento de fruto y en variables agronómicas y fisiológicas. El diseño experimental fue completamente al azar, con cuatro tratamientos y nueve repeticiones. Cada unidad experimental consistió de una planta en una maceta de 40 x 40 cm, con 13 L de tezontle como sustrato. La toma de datos de variables morfológicas y fisiológicas se llevó a cabo desde la germinación hasta cosecha. Se realizó una poda de formación a los 50 días después del trasplante. Se analizaron los datos en términos agronómicos, nutricionales y de calidad de frutos. Se evaluó altura, rendimiento, peso fresco y seco de biomasa, sólidos solubles totales, análisis químico de tejido foliar, análisis de iones específicos en extracto celular de hoja y jugo de frutos de hierbamora y concentración de azúcares totales en frutos maduros. Con la relación 75:25 se obtuvieron los mayores valores en biomasa, rendimiento y resultados significativos en la concentración de macronutrientes y micronutrientes en hoja. En azúcares totales en fruto la relación 50:50 obtuvo las mayores concentraciones.



Cita recomendada:

Alcántara-Nazario, A. O., Sandoval-Villa, M., Alcántar-González, G., García-Esteva, A., & Peralta-Sánchez, M. G (2023). Efecto de la Relación Nitrato: Amonio en *Solanum nigrescens* Mart. & Gal. *Terra Latinoamericana*, 41, 1-12. e1786. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1786>

Recibido: 15 de agosto de 2023.

Aceptado: 22 de septiembre de 2023.

Artículo. Volumen 41.

Noviembre de 2023.

Editor de Sección:
Dr. Esteban Sánchez-Chávez

Editor Técnico:
Dra. Elizabeth Hernández Acosta



Copyright: © 2023 by the authors.

Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC ND) License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Palabras clave: extracto celular de hoja, rendimiento, solución nutritiva Steiner.

SUMMARY

The present research was carried out from January to December 2022 in a greenhouse of the Colegio de Posgraduados (CP), Campus Montecillo, located in the municipality of Texcoco, Mexico, with the objective of investigating the response of slender nightshade (*Solanum nigrescens* Mart. & Gal.) to four levels of nitrate:ammonium relationship (100:0, 75:25, 50:50, and 25:75) regarding fruit yield and agronomical and physiological responses. The experimental design was completely randomized, with four treatments and nine replications. Each experimental unit consisted of a plant in a 40 x 40 cm plastic bag, with 13 L of red porous volcano gravel as substrate. Data collection of the morphological and physiological variables were carried out from germination to harvest. Training pruning was performed at 50 days after transplant. Data were analyzed in agronomic, nutritional and fruit quality terms. Biomass height, yield, fresh and dry weight, total soluble solids, chemical analysis of leaf tissue, analysis of specific ions in leaf cell extract and fruit set of nightshade, and total sugar concentration in ripe fruit were evaluated. With 75:25 ratio, the highest values were obtained in biomass, yield and significant results in the concentration of macro and micronutrients in the leaf. In total sugars in fruit, 50:50 ratio obtained the highest concentration.

Index words: leaf cell extract, yield, Steiner nutrient solution.

INTRODUCCIÓN

En México, las Solanáceas son cultivos importantes ya que incluyen al tomate rojo (*Solanum lycopersicon* L.) y al tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.); dos cultivos importantes, el primero para exportación y consumo nacional y el segundo en consumo nacional. Existen otras especies silvestres y semidomesticadas Solanáceas que pudieran incorporarse a la dieta diaria como cultivos fuente de nutrientes esenciales y funcionales, es decir, antioxidantes. En algunas regiones de México se han identificado y colectado este tipo de especies en forma exhaustiva y otras donde se requieren estudios más específicos (Martínez, Vargas, Rodríguez, Chiang y Ocegueda, 2017). En la búsqueda de nuevas alternativas en cultivos para la dieta nutricional es conveniente profundizar en el conocimiento botánico de algunas plantas nativas para cultivarlas y consumirlas.

La hierbamora (*Solanum nigrescens* Mart. & Gal.) es una especie nativa distribuida en América Central y el Caribe, que crece de forma silvestre y tiene una amplia tolerancia a diferentes hábitats (Knapp, Barboza, Bohs y Särkinen, 2019). Los frutos de este tipo de plantas solanáceas son fuente de proteínas, vitaminas y minerales, y pueden formar parte en el consumo alimenticio de las zonas rurales (Rosales-Betancourt, 2011¹). En esta investigación se estudia la planta con el propósito de explorar la posibilidad de convertirla en un cultivo alternativo a las frutillas ya presentes en México como son arándanos, zarzamora, frambuesa y fresa. En caso de que las características de los frutos sean similares a las de las frutillas, está podría convertirse en una fuente de ingresos económicos. Para tal efecto se requiere determinar las mejores condiciones para establecer esta planta silvestre como un cultivo comercial, es decir, en invernaderos u otras estructuras de protección. Esta especie es una posible alternativa dentro del mercado de las frutillas ("berries"), pero aún no se cuenta con información sobre su contenido nutrimental, metabolitos secundarios, requerimientos nutricionales, toxicidad por macro, micro y elementos benéficos, posibles usos del follaje y los frutos y su desarrollo en clima controlado.

Los requerimientos nutrimentales específicos de las plantas silvestres es uno de los primeros conocimientos a generar, uno de los más importantes es el nitrógeno (N); porque es componente de proteínas y compuestos orgánicos, que comúnmente es un factor limitante en el crecimiento y la productividad de cultivos y arves. La deficiencia de este nutriente provoca una disminución en la producción vegetal (Zhang et al., 2020). El N molecular (N_2) es inerte y biológicamente inactivo. La fijación biológica del N_2 es llevada a cabo por microorganismos asociados comúnmente a las raíces de leguminosas. Los microorganismos convierten el N_2 a formas aminadas (NH_2) que la planta hospedera aprovecha asimilándolo a través de la enzima glutamina sintetasa (Rengel, Cakmak y White, 2023). Cuando se utilizan fertilizantes amoniacales y se aplican al suelo, las raíces de las plantas pueden absorber una fracción de este fertilizante en forma amoniacal y otra es transformada a NO_2^- o NO_3^- por medio de bacterias nitrificantes del suelo; el NO_3^- es la forma que normalmente absorben las plantas (Londoño-Pereira y Gómez, 2021). Las plantas toman el N principalmente como iones disueltos de nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+). El NO_3^- es el de mayor absorción por las plantas y más móvil en el suelo, a diferencia del NH_4^+ que es tomado por microorganismos principalmente y es absorbido en menor porcentaje (Rengel et al., 2023). La concentración de N en el tejido vegetal, comúnmente en hojas en forma de NO_3^- varía entre especies, sin embargo, hay numerosos estudios que han demostrado que hay beneficios en las plantas al mezclar NO_3^- y NH_4^+ ya que se obtienen mejores tasas de crecimiento en lechuga (*Lactuca sativa* L.) (Lara-Izaguirre, 2019). Existe un número de especies de plantas que muestra mejores desarrollos cuando se suministra NH_4^+ como única fuente de N. Las plantas cultivadas con NH_4^+ a menudo presentan síntomas de toxicidad por amonio, con crecimiento atrofiado y clorosis (Song, Yang y Jeong, 2022; Roosta y Schjoerring, 2007). En campos agrícolas no hay nutrición exclusiva de amonio, se usan inhibidores de la nitrificación junto con fertilizantes de amonio o fertilizantes orgánicos que hacen que el amonio sea estable y dure varias semanas en suelo (Sanz-Cobena et al., 2017). Los nitratos son la forma predominante de nitrógeno inorgánico en los suelos agrícolas (Lam, Coschigano, Oliveira, Melo y Coruzzi, 1996).

Los nitratos son la forma predominante de nitrógeno inorgánico en los suelos agrícolas (Lam, Coschigano, Oliveira, Melo y Coruzzi, 1996). El nitrato es la principal forma de nitrógeno en los suelos aireados y el amonio es más abundante en suelos ácidos y saturados de agua. En agua el coeficiente de difusión del nitrato y del amonio es similar (1.96×10^{-9}), (Owen y Jones, 2001), pero en suelo el coeficiente de difusión del nitrato es de 10 a 100 veces mayor que el del amonio (Barber, 1984). El nitrato es transportado rápidamente hacia las raíces por flujo de masas y el amonio es absorbido por las partículas del suelo (Giehl y von Wirén, 2014). Los vegetales de hoja, como la lechuga, pack choi (*Brassica rapa* var. *Chinensis*) y kale (*Brassica oleracea*) pueden acumular niveles altos

¹ Rosales-Betancourt, C. E. (2011). *Evaluación de niveles de nitrógeno, fósforo, potasio y cuantificación de la absorción de macronutrientes en cuatro cortes para el cultivo de hierbamora (*Solanum americanum* Mill.) en Tecpán*. Tesis para obtener el grado de Ingeniero Agrónomo Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, Guatemala. Disponible en <http://www.repository.usac.edu.gt/6640/1/RosalesBetancourtCarlosErnesto.pdf>

de nitratos (nitrato $> 700 \text{ mg kg}^{-1}$) durante su cultivo (Bian *et al.*, 2016). Existen estudios que han informado que el consumo diario de vegetales con alta concentración de nitrato puede constituir una amenaza para la salud, causar cáncer gástrico y metahemoglobinemia en bebés y niños (Chan, 2011). Existe una correlación entre el K^+ y el NH_4^+ , niveles altos de K^+ externo brindan protección para las plantas contra la toxicidad del NH_4^+ (Zou, Li, Dong, Kronzucker y Shi, 2012). El objetivo de la presente investigación fue evaluar la respuesta de la hierbamora (*Solanum nigrescens* Mart. & Gal.) a la relación nitrato:amonio respecto a la absorción nutrimental, desarrollo vegetativo y rendimiento de la hierbamora.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó de enero a diciembre de 2022 en Texcoco, México, en el Colegio de Postgraduados, campus Montecillo, en un invernadero con plástico UV-II-720 con transmisión de 80%. Se utilizaron plantas de hierbamora, cuya semilla procede de una colecta del predio "La Siberia" de la Universidad Autónoma Chapingo. El sitio de colecta ($19^{\circ} 28' 18.81'' \text{ N}$ $98^{\circ} 51' 20.49'' \text{ O}$, 2 320 m de altitud) presenta un clima cuya temperatura promedio mínima, media y máxima de 6.8, 15.5 y 24.1 °C respectivamente (SMN, 2010) y precipitación de 650 a 800 mm en verano clima Cwb templado con verano cálido e invierno seco (García, 1990). La hierbamora se caracteriza por tener un fruto azucarado redondo y de color negro cuando madura. De un estudio previo, se determinó que la concentración porcentual de la concentración Steiner (1984) que genera mejores resultados fue la de 75% combinada con poda de formación. Por esa situación se podaron las plantas a los 50 días después del trasplante (ddt). Los tratamientos consistieron de cuatro niveles de la relación nitrato:amonio (25:75, 50:50, 75:25 y 100:0;%).

Las soluciones nutritivas propuestas en los tratamientos no se aplicaron al inicio del experimento en la concentración indicada, porque el desarrollo inicial de estas plantas silvestres es lento al inicio de su crecimiento vegetativo. Aplicarlas tal cual fueron propuestas implica riesgo de salinidad. Por esa razón solo se utilizaron a una cuarta parte desde el trasplante hasta el inicio de ramificación de la planta. En estudios preliminar se detectó que a partir de la ramificación inicia un crecimiento más acelerado respecto a la etapa previa. A partir de esta etapa y durante un mes la solución nutritiva se aplicó a la mitad de la concentración nominal propuesta para asegurar el establecimiento de todas las unidades experimentales. Desde que se inició el alargamiento del tallo principal, 70 días después de trasplante (ddt), se aplicaron las soluciones nominales: 50, 100 y 150 por ciento.

Diseño Experimental y Tratamientos

El diseño experimental fue de bloques completos al azar, con nueve repeticiones por tratamiento. La unidad experimental fue una planta colocada en una bolsa negra de polietileno ($40 \times 40 \text{ cm}$) con el sustrato tezontle, con granulometría de 0.1 a 0.5 cm, densidad aparente promedio de 0.82 g cm^{-3} , sin capacidad de intercambio de cationes y conductividad eléctrica cercana a cero. Se realizaron 6 riegos de 3 min cada evento, empezando el primer riego a las 8 am y el último a las 8 pm, los goteros fueron de 8 L h^{-1} , y conforme se desarrolló la planta se aumentaron los riegos y el tiempo de éstos. El volumen de riego por unidad experimental en plántula, crecimiento vegetativo, floración y fructificación fue de 665, 1330, 1596 y 2394 mL d^{-1} en ese mismo orden.

Variables Evaluadas

Se evaluaron las variables: altura de planta, rendimiento, sólidos solubles totales (grados Brix) en frutos, peso fresco y seco de planta. El análisis químico de tejido vegetal para macronutrientos (P, K, Ca, Mg) y micronutrientos (Fe, Cu, Zn, Mn y B) se realizó en etapa de fructificación se hizo con digestión húmeda de muestras de hoja secadas en estufa a 70°C y molidas. Para el análisis químico en hoja se pesaron 0.5 g de material vegetal, se adicionaron 5 mL de una mezcla de ácido nítrico-perclórico, se dejó pre digerir por 12 h, posteriormente se digestó la muestra en una plancha de arena, en una campana extractora Hamilton®, modelo Safeaire a una temperatura de 190°C hasta que la solución presentó color claro. Una vez que las muestras se digestaron por completo, se añadieron 25 mL de agua desionizada, esta se filtró con papel Whatman número 40 y se procedió a cuantificar los elementos en un equipo de espectrometría de emisión e inducción por plasma marca VARIAN®, modelo ICP-OES 725-ES. También, se determinó nitrógeno total, con el método de Kjeldahl, mediante los procedimientos estándares de laboratorio descritos por Alcántar-González y Sandoval-Villa (1999).

También se evaluó la concentración de NO_3^- , K^+ y Ca^{2+} en extracto celular de hoja y en jugo de fruto; asimismo se cuantificó la conductividad eléctrica y el pH, durante la etapa productiva en frutos. Para medir las concentraciones de los iones se utilizaron ionómetros marca Horiba® específicos para los iones indicados. Para la concentración de NO_3^- , K^+ y Ca^{2+} en fruto, se muestraron frutos a los 210 días después del trasplante. Los frutos, en madurez fisiológica, se maceraron en mortero de porcelana; el jugo que se obtuvo se colocó en los ionómetros específicos, los cuales fueron calibrados conforme a las instrucciones de los ionómetros. El mismo procedimiento se llevó a cabo para pH y CE utilizando los ionómetros marca Horiba®. Para la determinación en hojas, estas se maceraron en un mortero de porcelana, se colectó jugo de las mismas y de este se colocó una gota en los ionómetros, enseguida se tomaron las lecturas, en el respectivo ionómetro.

Análisis Estadístico

Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza y prueba de medias Tukey ($P < 0.05$), usando el programa Sistema de Análisis Estadístico (SAS Institute, 2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables Agronómicas

El ciclo productivo de la hierbamora bajo fertiriego duró 5 meses y llegó a madurez a los 4 meses. La relación nitrato:amonio no afectó la altura de la planta, el rendimiento de frutos tampoco fue afectado por la relación $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ (Cuadro 1). Rivera-Espejel, Sandoval-Villa, Rodríguez-Mendoza, Trejo-López y Gasga-Peña (2014) reportaron mayores rendimientos en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) tratadas con una relación de 9:3 en solución, lo que contrasta con los resultados obtenidos en hierbamora, ya que no responden a la forma de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$.

La concentración de sólidos solubles en fruto (Cuadro 1) no se modificó por la relación nitrato:amonio, esto contrasta con lo obtenido por Rivera-Espejel *et al.* (2014), quienes reportaron efectos significativos (Tukey $P \leq 0.05$) en plantas de tomate, tratadas con una solución donde predominaba el amonio, apoyándose en Siddiqi, Malhotra, Min y Glass, (2002) que señalan que las propiedades organolépticas del fruto mejoran cuando se usa nitrógeno amoniacal.

La relación 75:25 obtuvo el mayor peso fresco (Figura 1), mientras que la relación 50:50 y 100:0 de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ obtuvieron menor peso fresco de la planta. Ferreira, Rodrigues, Aparecido, de Mello y Falleiros (2018) reportaron que cuando el NH_4^+ es igual a 25% en la solución, este resulta en el mayor peso seco de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). En cuanto al peso seco de la planta (Figura 2), se reafirmaron los resultados obtenidos en peso fresco de planta, porque coincidieron los resultados, con la relación 75:25, la que tuvo mayor peso.

Cuadro 1. Efecto de la relación $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ en altura y rendimiento en la hierbamora (*Solanum nigrescens* Mart. & Gal.) y grados brix en fruto, desarrollada en invernadero e hidroponía (Tukey, 0.05).

Table 1. Effect of the $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ ratio on height and yield in nightshade (*Solanum nigrescens* Mart. & Gal.) and brix degrees in fruit, developed in greenhouses and hydroponics (Tukey's, 0.05).

$\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$	Altura	Rendimiento	Sólidos solubles
	cm	g planta^{-1}	°Brix
25:75	101.85 a	31.00 a	11.14 a
50:50	103.14 a	49.28 a	10.95 a
75:25	98.71 a	40.00 a	11.21 a
100:0	100.14 a	35.5 a	1.22 a
CV %	5.46	36.56	3.58
DMSH	8.13	21.07	0.58

Medias con la misma letra por columna son estadísticamente iguales, de acuerdo con la prueba de Tukey ($P < 0.05$). CV = coeficiente de variación, DMSH = diferencia significativa honesta.

Means with the same letter per column are statistically equal, according to Tukey's test ($P < 0.05$). CV = coefficient of variation, DMSH = minimum significantly honest difference.

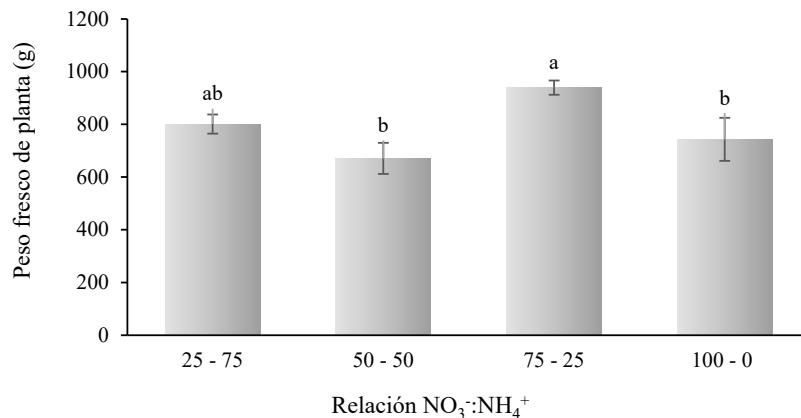


Figura 1. Peso fresco de planta por efecto de la relación $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ en hierbamora (*Solanum nigrescens* Mart. & Gal.) desarrollada en invernadero e hidroponía (135 ddt). Valores con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). Las líneas en el centro de las barras son la desviación estándar.

Figure 1. Plant fresh weight as affected by the $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ ratio in nightshade (*Solanum nigrescens* Mart. & Gal.) developed in a greenhouse and hydroponics (135 dat). Values with the same letter are statistically similar according to Tukey's test ($\alpha = 0.05$). Lines in the center of the bars are the standard deviation.

La relación 75:25 obtuvo el mayor peso fresco de fruto inmaduro en planta (Figura 3), esto está relacionado con el rendimiento, las plantas en las que se obtuvieron mayores rendimientos fueron más precoces en cuanto a maduración del fruto. Por lo tanto, al final del ciclo tenían menos frutos inmaduros, las plantas menos precoces acumularon mayor peso de frutos inmaduros, y la relación 50:50 fue la que tuvo menor peso de fruto inmaduro.

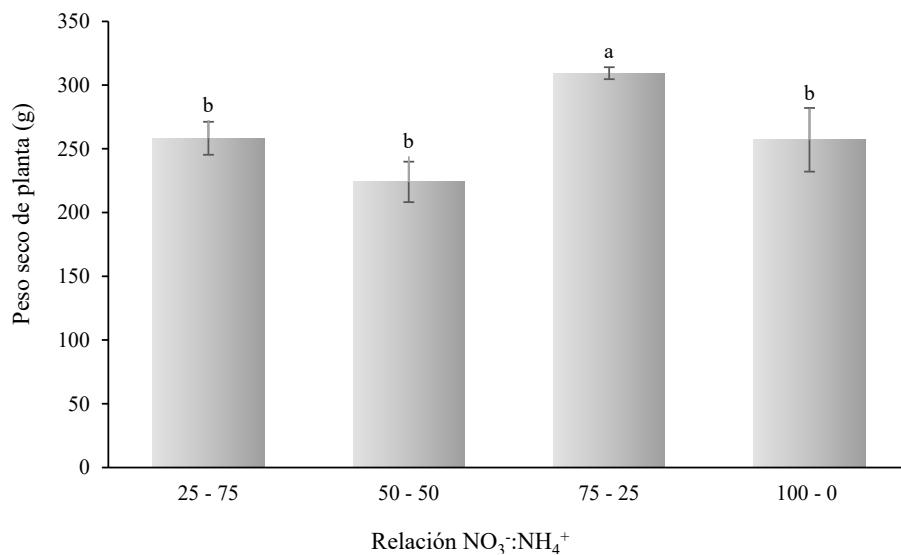


Figura 2. Peso seco de planta por efecto de la relación $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ en hierbamora (*Solanum nigrescens* Mart. & Gal.) desarrollada en invernadero e hidroponía. Valores con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). Las líneas en el centro de las barras son la desviación estándar.

Figure 2. Dry weight of the plant due to the effect of $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ ratio in nightshade (*Solanum nigrescens* Mart. & Gal.) developed in a greenhouse and hydroponics. Values with the same letter are statistically similar according to Tukey's test ($\alpha = 0.05$). Lines in the center of the bars are the standard deviation.

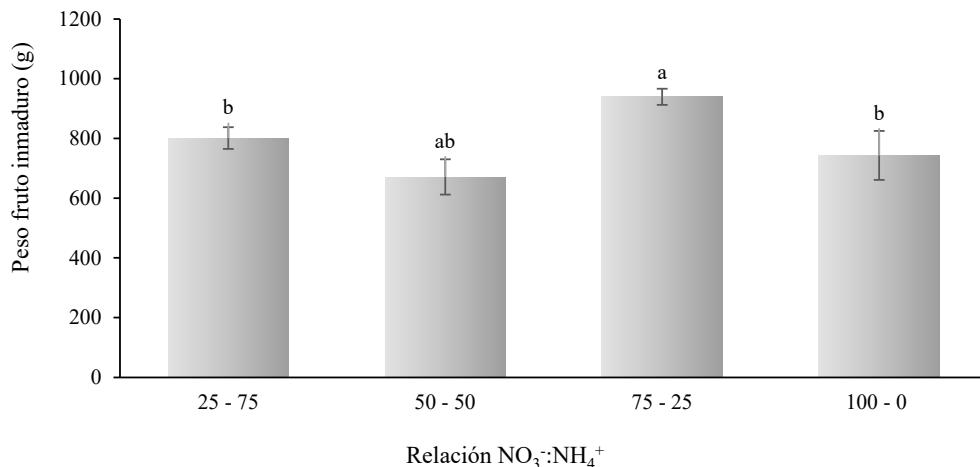


Figura 3. Peso de fruto inmaduro en planta por efecto de la relación NO₃⁻:NH₄⁺ en hierbamora (*Solanum nigrescens* Mart. & Gal.) desarrollada en invernadero e hidroponía. Valores con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). Las líneas en el centro de las barras son la desviación estándar.

Figure 3. Weight of immature fruit on the plant as affected by NO₃⁻:NH₄⁺ ratio in nightshade (*Solanum nigrescens* Mart. & Gal.) grown in greenhouses and hydroponics. Values with the same letter are statistically similar according to Tukey's test ($\alpha = 0.05$). Lines in the center of the bars are the standard deviation.

Concentración de Macronutrientos en Hoja de Hierbamora

El factor nitrato:amonio afectó la concentración de N total en hojas. La menor concentración de N total correspondió a la relación 100:0. La concentración P fue menor en la relación 75:25 y mayor en la 100:0. Discrepa de lo obtenido por Parra-Terraza, Mendoza y Villarreal (2012) donde la relación 85:15 fue donde obtuvo mayores concentraciones de P, las planas suministradas con nitrógeno amoniacoal, tienen altos contenidos de aniones, el P mantiene el equilibrio de aniones y cationes en plantas. La concentración de K⁺ fue mayor en las relaciones 25:75 y 100:0. En Ca²⁺ la mayor concentración correspondió a la relación 75:25. Las concentraciones de Mg disminuyeron conforme incrementó el NH₄⁺, en la relación 25:75 se obtuvo la concentración más alta y la menor concentración en la relación 100:0 (Figura 4). Crisóstomo, Hernández, López, Manjarrez y Pinedo (2014), reportaron que en una relación 0:100 favorece un mayor contenido de Ca y Mg. La disminución de Ca²⁺ y Mg²⁺ dentro de los tejidos en plantas, es resultado de una nutrición excesiva de NH₄⁺, sin embargo, los niveles de K⁺ no disminuyeron con el aumento de NH₄⁺ discrepando con lo reportado por Ariz *et al.* (2011).

Concentración de Micronutrientes en Hoja

La concentración de Fe y B no fue afectada por la relación NO₃⁻:NH₄⁺ (Figura 5). Para Cu la mayor concentración se presentó en la relación 75:25, y la menor en la 50:50. La mayor concentración de Zn ocurrió con 25:75, y la menor en la relación 100:0. La mayor concentración de Mn se obtuvo en la relación 25:75 y la menor concentración con la relación 75:25. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Assimakopoulou *et al.* (2019), en col rizada (*Brassica oleracea* L. var. *Acephala*) las cuales acumularon una mayor concentración de Zn, Mn y Cu, con la aplicación de una solución con 75% de NH₄⁺. Los resultados concuerdan con Crisóstomo *et al.* (2014), quienes reportan que una relación 0:100 favorece una mayor concentración de zinc y manganeso.

Concentración Nutrimental en Extracto Celular de Hoja

La relación NO₃⁻:NH₄⁺ solo afectó la concentración en extracto celular de hoja para NO₃⁻ y Ca²⁺ (Figura 6). La menor concentración de calcio se obtuvo en la relación 100:0 debido a que el Ca²⁺ dentro de los tejidos en plantas, disminuye cuando aumenta la concentración o presencia de NH₄⁺ (Ariz *et al.*, 2011). Parra *et al.* (2012) obtuvo concentraciones de calcio similares a nuestros resultados; concluyen que en general la absorción de calcio es limitada por el amonio. La mayor concentración de NO₃⁻ se obtuvo en la relación 75:25. La proporción óptima depende de la especie, condiciones ambientales, pH del suelo (Borgognone *et al.*, 2013) e intensidad de luz (Tabatabaei, Yusefi y Hajiloo, 2008).

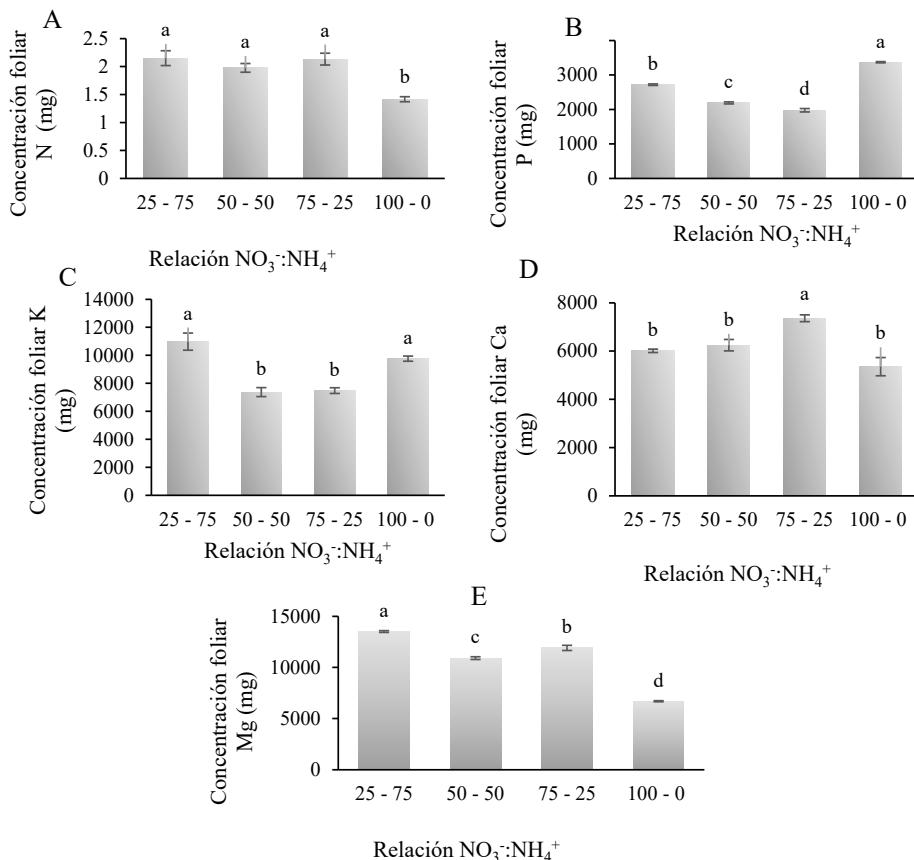


Figura 4. Concentración nutrimental de macronutrientes en hojas de hierbamora (*Solanum nigrescens* Mart. & Gal.) por efecto de la relación $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$. (A) Concentración de N, (B) concentración de P, (C) concentración de K, (D) concentración de Ca, (E) concentración de Mg. Valores con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). Las líneas en el centro de las barras son la desviación estándar.

Figure 4. Nutritional concentration of macronutrients in nightshade leaves (*Solanum nigrescens* Mart. & Gal.) as affected by $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ ratio. (A) N concentration, (B) P concentration, (C) K concentration, (D) Ca concentration, (E) Mg concentration. Values with the same letter are statistically similar according to Tukey's test ($\alpha = 0.05$). Lines in the center of the bars are the standard deviation.

La relación nitrato:amonio no tuvo efecto en la concentración de K^+ , pH y CE en extracto celular en hojas de hierbamora. Las medias de concentración de K^+ para los tratamientos $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ 25:75, 50:50, 75:25 y 100:0 fueron 4300, 3900, 4100 y 4066 mg L^{-1} (DMSH = 670); para el pH fueron 6.8, 6.7, 6.8 y 6.9 (DMSH = 0.22); y para CE fueron 7.10, 6.66, 6.91 y 7.11 dS m^{-1} (DMSH = 0.62).

Concentración Nutrimental en Jugo de Frutos

La concentración de Ca^{2+} fue mayor en las relaciones 25:75 y 50:50 (Figura 7), mientras que la menor concentración de Ca^{2+} se obtuvo en la relación 100:0 debido a que el Ca^{2+} dentro de los tejidos en plantas disminuye cuando hay un aumento de NH_4^+ (Ariz et al., 2011). El NH_4^+ en exceso afecta el Ca^{2+} ; sin embargo, no está clara la proporción de $\text{NH}_4^+:\text{Ca}^{2+}$ que afecta el crecimiento y desarrollo en las plantas (Bonomelli et al., 2021). Las bajas concentraciones de Ca^{2+} cuando hay NH_4^+ presente se deben a la inhibición de la absorción de Ca^{2+} , por la competencia de sitios de unión con otros cationes como el NH_4^+ (Wang, Martins, Sermons y Balint-Kurti, 2020). Las relaciones 25:75 y 100:0 fueron las que tuvieron efecto sobre la concentración de NO_3^- en jugo de fruto de hierbamora (Figura 8). Zhang et al. (2019) señalan que el contenido de nitrato en frutos de pimiento disminuyó conforme aumentó el amonio en la solución nutritiva.

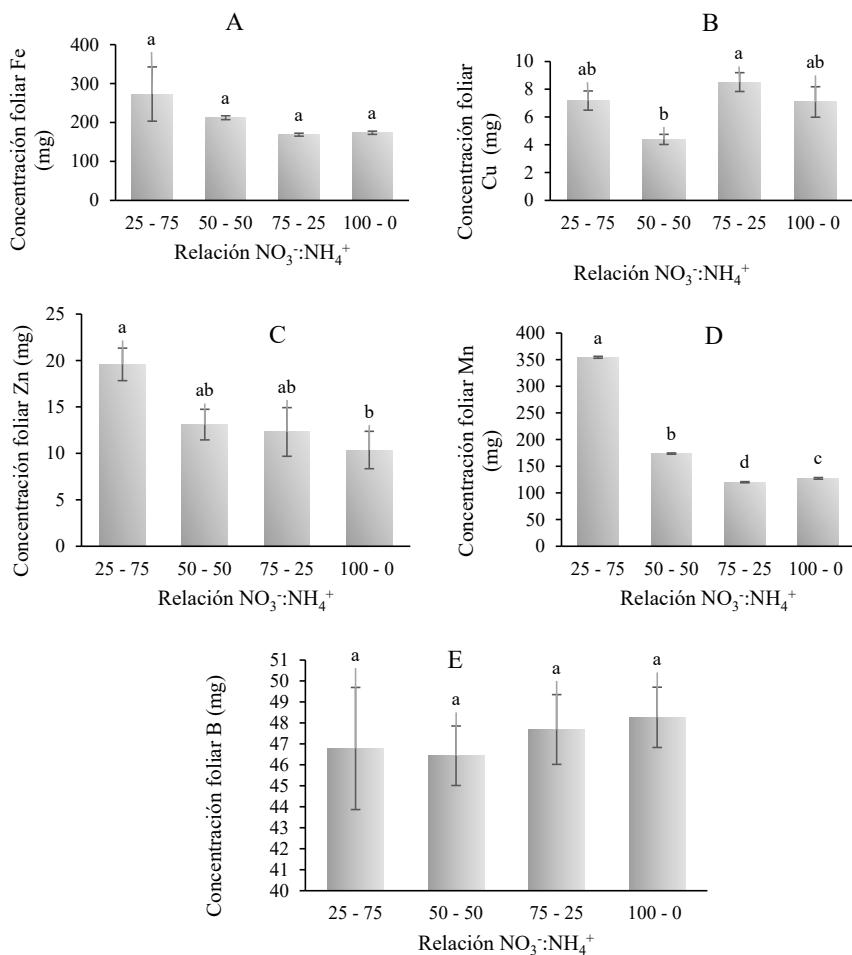


Figura 5. Concentración nutrimental de micronutrientes en hojas de hierbamora (*Solanum nigrescens* Mart. & Gal.) por efecto de la relación $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$. (A) Concentración de Fe, (B) concentración de Cu, (C) concentración de Zn, (D) concentración de Mg, (E) concentración de B. Valores con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). Las líneas en el centro de las barras son la desviación estándar.

Figure 5. Nutritional concentration of micronutrients in nightshade leaves (*Solanum nigrescens* Mart. & Gal.) as affected by the $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ ratio. (A) Fe concentration, (B) Cu concentration, (C) Zn concentration, (D) Mg concentration, (E) B concentration. Values with the same letter are statistically similar according to Tukey's test ($\alpha = 0.05$). Lines in the center of the bars are the standard deviation.

La relación $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ no afectó la concentración de K^+ , el pH ni la CE en el extracto celular en jugo de frutos de hierbamora (*Solanum nigrescens* Mart. & Gal.). Las medias de concentración de K^+ para los tratamientos $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ 25:75, 50:50, 75:25 y 100:0 fueron 4600, 5033, 4566 y 3900 mg L⁻¹ (DMSH = 1387); para el pH fueron 4.2, 4.3, 4.3 y 4.6 (DMSH = 0.92); y para CE fueron 8.03, 8.44, 7.95 y 7.03 dS m⁻¹ (DMSH = 1.43).

La acidez en cítricos se debe a niveles de ácido cítrico y malato (Etienne, Génard, Lobit, Mbégué-A-Mbégué y Bugaud, 2013), la influencia de la fertilización con N impacta en los niveles de ácido cítrico (Jakopic, Veberic, Zupancic y Stampar, 2007). Se debe cuantificar el ácido ascórbico y ácido cítrico y determinar si la concentración de estos; es afectada por la relación $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$. Los ácidos orgánicos se acumulan durante las primeras etapas del desarrollo de la fruta y disminuyen durante la maduración y almacenamiento (Tang, Bie, Wu, Yi y Feng, 2010). Durante el desarrollo de la fruta, los niveles de ácidos orgánicos suelen estar inversamente relacionados con los niveles de azúcar. En la maduración los azúcares se acumulan, principalmente debido a la importación de azúcar o a la degradación del almidón, mientras que los ácidos orgánicos que se acumulan en las frutas jóvenes disminuyen (Batista-Silva *et al.*, 2018).

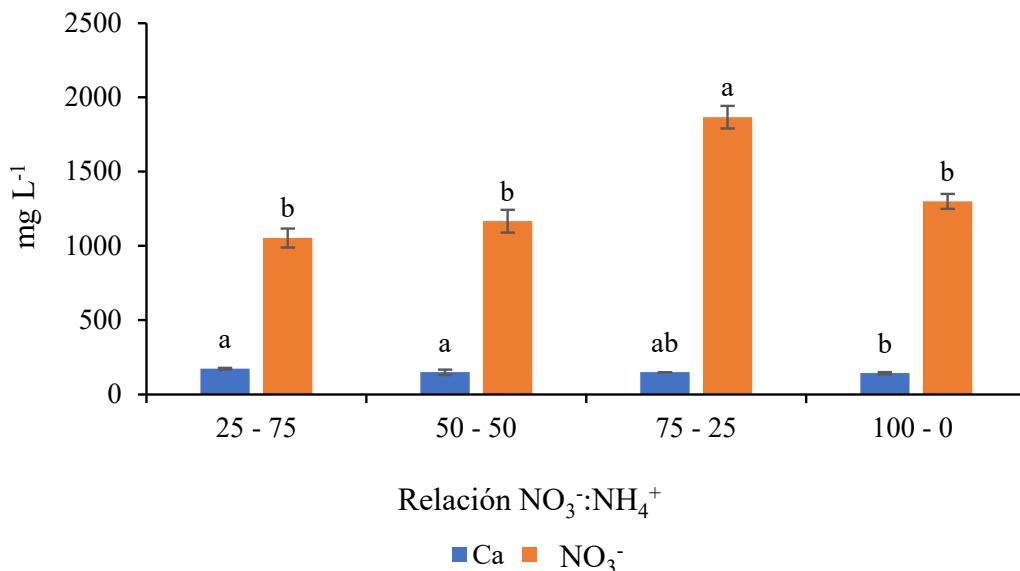


Figura 6. Concentración de iones específicos en el extracto celular en hojas de hierbamora (*Solanum nigrescens* Mart. & Gal.), por efecto de la relación NO₃⁻:NH₄⁺. Valores con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). Las líneas en el centro de las barras son la desviación estándar.

Figure 6. Concentration of specific ions in the cell extract of nightshade leaves (*Solanum nigrescens* Mart. & Gal.), as affected by NO₃⁻:NH₄⁺ ratio. Values with the same letter are statistically similar according to Tukey's test ($\alpha = 0.05$). Lines in the center of the bars are the standard deviation.

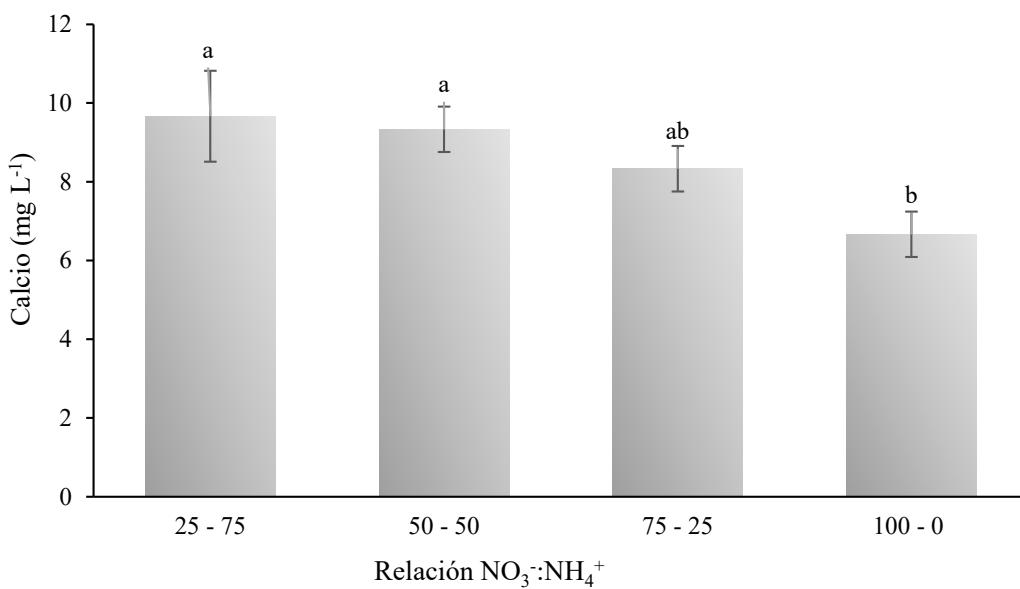


Figura 7. Concentración de calcio en jugo de frutos por efecto de la relación NO₃⁻:NH₄⁺ en hierbamora (*Solanum nigrescens* Mart. & Gal.). Valores con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). Las líneas en el centro de las barras son la desviación estándar.

Figure 7. Calcium concentration in fruit juice as affected by NO₃⁻:NH₄⁺ ratio in nightshade (*Solanum nigrescens* Mart. & Gal.). Values with the same letter are statistically similar according to Tukey's test ($\alpha = 0.05$). Lines in the center of the bars are the standard deviation.

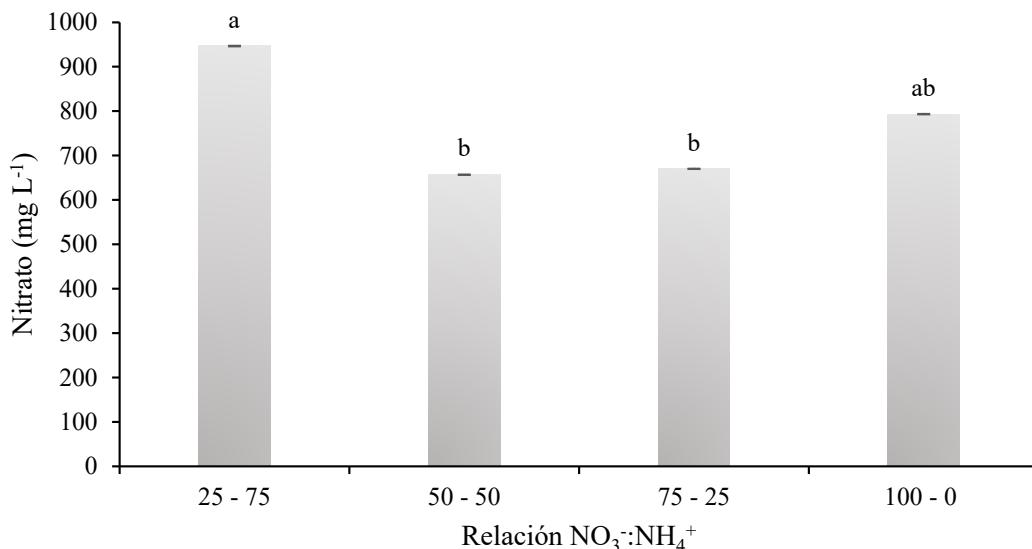


Figura 8. Concentración de NO₃⁻ en frutos por efecto de la relación NO₃⁻:NH₄⁺ en hierbamora (*Solanum nigrescens* Mart. & Gal.). Valores con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). Las líneas en el centro de las barras son la desviación estándar.

Figure 8. Nitrate concentration in fruit as affected by NO₃⁻:NH₄⁺ ratio in nightshade (*Solanum nigrescens* Mart. & Gal.). Values with the same letter are statistically similar according to Tukey's test ($\alpha = 0.05$). Lines in the center of the bars are the standard deviation.

CONCLUSIONES

La presencia de amonio en 25% en la relación nitrato:amonio aumenta la concentración de N, P, Mg, Mn, y Zn. Por otro lado, la presencia de amonio en la solución disminuye la concentración de nitrato y calcio. Respecto al peso fresco y el rendimiento de la hierbamora (*Solanum nigrescens* Mart. & Gal.), este mismo porcentaje de amonio (25%) incrementó estas variables. Sin embargo, la mayor concentración de azúcares totales se alcanzó cuando el amonio en la solución nutritiva fue de 50% (relación nitrato:amonio 50:50). Concentraciones de 50 y 75% de amonio disminuyeron la concentración de Ca y nitrato en extracto celular de pecíolo y en hojas.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los conjuntos de datos utilizados o analizados durante el estudio actual están disponibles del autor correspondiente a solicitud razonable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

FINANCIACIÓN

No aplicable.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: M.S.V., G.A.G. y A.G.E. Metodología: A.O.A.N. y M.G.P.S. Investigación: A.O.A.N. y M.S.V. Recursos: M.S.V. Preparación del borrador original: A.O.A.N., G.A.G. y M.S.V. Escritura: revisión y edición, A.O.A.N., G.A.G. y M.S.V. Supervisión: M.S.V. Administración del proyecto: M.S.V. Adquisición de fondos: M.S.V. Taxonomía: A.G.E.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia, Humanidades y Tecnología (CONAHCYT), al programa de Edafología del Colegio de Postgraduados por las facilidades otorgadas en sus laboratorios e instalaciones para realizar esta investigación.

LITERATURA CITADA

- Alcántar-González, G., & Sandoval-Villa, M. (1999). Manual de análisis químico de tejido vegetal. Chapingo, México: Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. ISBN: 968-6201-48-3
- Ariz, I., Artola, E., Asensio, A. C., Cruchaga, S., Aparicio-Tejo, P. M., & Moran, J. F. (2011). High irradiance increases NH_4^+ tolerance in *Pisum sativum*: Higher carbon and energy availability improve ion balance but not N assimilation. *Journal of Plant Physiology*, 168(10), 1009-1015. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2010.11.022>
- Assimakopoulou, A., Salmas, I., Kounavis, N., Bastas, A. I., Michopoilou, V., & Michail, E. (2019). The impact of ammonium to nitrate ratio on the growth and nutritional status of kale. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47(3), 848-859. <https://doi.org/10.15835/nbha47311466>
- Barber, S. A. (1984) *Soil nutrient bioavailability. A mechanistic approach*. New York, NY, USA: John Wiley and Sons. ISBN: 0471587478
- Batista-Silva, W., Nascimento, V. L., Medeiros, D. B., Nunes-Nesi, A., Ribeiro, D. M., Zsögön, A., & Araújo, W. L. (2018). Modifications in organic acid profiles during fruit development and ripening: correlation or causation?. *Frontiers Plant Science*, 9, 1689. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01689>
- Bian, Z. H., Cheng, R. F., Yang, Q. C., Wang, J., & Lu, C. (2016). Continuous light from red, blue, and green light-emitting diodes reduces nitrate content and enhances phytochemical concentrations and antioxidant capacity in lettuce. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 141(2), 186-195. <https://doi.org/10.21273/JASHS.141.2.186>
- Bonomelli, C., de Freitas, S. T., Aguilera, C., Palma, C., Garay, R., Dides, M., ... & O'Brien, J. A. (2021). Ammonium excess leads to Ca restrictions, morphological changes, and nutritional imbalances in tomato plants, which can be monitored by the N/Ca ratio. *Agronomy*, 11(7), 1437. <https://doi.org/10.3390/agronomy11071437>
- Borgognone, D., Colla, G., Rousphael, Y., Cardarelli, M., Rea, E., & Schwarz, D. (2013). Effect of nitrogen form and nutrient solution pH on growth and mineral composition of self-grafted and grafted tomatoes. *Scientia Horticulturae*, 149, 61-69. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.02.012>
- Chan, T. Y. (2011). Vegetable-borne nitrate and nitrite and the risk of methaemoglobinemia. *Toxicology Letters*, 200(1-2), 107-108. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2010.11.002>
- Crisóstomo-Crisóstomo, M. N., Hernández-Rodríguez, O. A., López-Medina, J., Manjarrez-Domínguez, C., & Pinedo-Alvárez, A. (2014). Relaciones amonio/nitrito en soluciones nutritivas ácidas y alcalinas para arándano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(3), 525-532.
- Etienne, A., Génard, M., Lobit, P., Mbégué-A-Mbégué, D., & Bugaud, C. (2013). What controls fleshy fruit acidity? A review of malate and citrate accumulation in fruit cells. *Journal of Experimental Botany*, 64(6), 1451-1469. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert035>
- Ferreira-Barreto, R., Rodrigues-Cruz, F. J., Aparecido-Gaion, L., de Mello-Prado, R., & Falleiros-Carvalho, R. (2018). Accompanying ions of ammonium sources and nitrate: ammonium ratios in tomato plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 181(3), 382-387. <https://doi.org/10.1002/jpln.201700413>
- García, E. (1990) *Climas, 1: 4000 000. IV.4.10 (A). Atlas Nacional de México Vol. II*. México: UNAM.
- Giehl, R. F., & von Wirén, N. (2014). Root nutrient foraging. *Plant physiology*, 166(2), 509-517. <https://doi.org/10.1104/pp.114.245225>
- Jakopic, J., Veberic, R., Zupancic, K., & Stampar, F. (2007). Influence of nitrogen on the contents of carbohydrates and organic acids in apples (*Malus domestica* Borkh.) cv. 'Golden Delicious'. *European Journal of Horticultural Science*, 72(2), 66-72.
- Jingquan, Y., & Dewe, C. (1988). Effects of different nitrogen forms on tomato grown in carbonized rice hull. *Soilless Culture*, 4(2), 51-61.
- Knapp, S., Barboza, G. E., Bohs, L., & Särkinen, T. (2019). A revision of the morelloid clade of *Solanum* L. (Solanaceae) in North and Central America and the Caribbean. *PhytoKeys*, 123, 1-144. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.123.31738>
- Lam, H. M., Coschigano, K. T., Oliveira, I. C., Melo-Oliveira, R., & Coruzzi, G. M. (1996). The molecular-genetics of nitrogen assimilation into amino acids in higher plants. *Annual Review of Plant Biology*, 47(1), 569-593. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.47.1.1569>
- Lara-Izaguirre, A. Y., Rojas-Velázquez, A. N., Romero-Méndez, M. J., Ramírez-Tobías, H. M., Cruz-Crespo, E., Alcalá-Jáuregui, J. A., & Loredo-Ostí, C. (2019). Crecimiento y acumulación de NO_3^- en lechuga hidropónica con relaciones nitrato/amonio en dos estaciones de cultivo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42(1), 21-29.
- Londoño-Pereira, M., & Gómez-Ramírez, B. (2021). Nitratos y nitritos, la doble cara de la moneda. *Revista de Nutrición Clínica y Metabolismo*, 4(1), 110-119. <https://doi.org/10.35454/rncm.v4n1.202>
- Martínez, M., Vargas-Ponce, O., Rodríguez, A., Chiang, F., & Ocegueda, S. (2017). Solanaceae family in Mexico. *Botanical Sciences*, 95(1), 131-145. <https://doi.org/10.17129/botsci.658>
- Owen, A. G., & Jones, D. L. (2001). Competition for amino acids between wheat roots and rhizosphere microorganisms and the role of amino acids in plant N acquisition. *Soil biology and biochemistry*, 33(4-5), 651-657.
- Parra-Terraza, S., Mendoza-Palomares, G., & Villarreal-Romero, 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.
- Rengel, Z., Cakmak, I., & White, P. (2023). *Marschner's Mineral Nutrition of Plants*. Cambridge, MA, USA: Academic Press. eBook ISBN: 9780323853521
- Rivera-Espejel, E. A., Sandoval-Villa, M., Rodríguez-Mendoza, M. D. L. N., Trejo-López, C., & Gasga-Peña, R. (2014). Fertilización de tomate con nitrato y amonio en raíces separadas en hidroponía. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 20(1), 57-70. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2012.12.069>

- Roosta, H. R., & Schjoerring, J. K. (2007). Effects of ammonium toxicity on nitrogen metabolism and elemental profile of cucumber plants. *Journal of Plant Nutrition*, 30(11), 1933-1951. <https://doi.org/10.1080/01904160701629211>
- Sanz-Cobena, A., Lassaletta, L., Aguilera, E., Del Prado, A., Garnier, J., Billen, G., ... & Smith, P. (2017). Strategies for greenhouse gas emissions mitigation in Mediterranean agriculture: A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 238, 5-24. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.09.038>
- SAS Institute (2013). *Statistical Analysis System SAS/STAT User's Guide. version 9.4*. Cary, NC, USA: SAS Institute Inc.
- SMN (Servicio Meteorológico Nacional). (2010). Normales Climatológicas del Estado de México, Estación Chapingo. Consultado el 13 de febrero, 2023, desde https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Normales_Climatologicas/Normales8110/mex/nor8110_15021.TXT
- Siddiqi, M. Y., Malhotra, B., Min, X., & Glass, A. D. (2002). Effects of ammonium and inorganic carbon enrichment on growth and yield of a hydroponic tomato crop. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 165(2), 191-197.
- Song, J., Yang, J., & Jeong, B. R. (2022). Root GS and NADH-GDH play important roles in enhancing the ammonium tolerance in three bedding plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(3), 1061.
- Steiner, A. A. (1984). The Universal Nutrient Solution. In *6th International Symposium on Growing media, Soilless Cultivation* (pp. 633-649). Wageningen, The Netherlands: Secretariat of ISOSC. ISBN: 9789070976040
- Tabatabaei, S., Yusefi, M., & Hajiloo, J. (2008). Effects of shading and NO_3^- : NH_4^+ ratio on the yield, quality and N metabolism in strawberry. *Scientia Horticulturae*, 116(3), 264-272.
- Tang, M., Bie, Z. L., Wu, M. Z., Yi, H. P., & Feng, J. X. (2010). Changes in organic acids and acid metabolism enzymes in melon fruit during development. *Scientia Horticulturae*, 123(3), 360-365.
- Wang, Y., Martins, L. B., Sermons, S., & Balint-Kurti, P. (2020). Genetic and physiological characterization of a calcium deficiency phenotype in maize. *G3: Genes, Genomes, Genetics*, 10(6), 1963-1970. <https://doi.org/10.1534/g3.120.401069>
- Zhang, J., Lv, J., Dawuda, M. M., Xie, J., Yu, J., Li, J., ... & Gan, Y. (2019). Appropriate ammonium-nitrate ratio improves nutrient accumulation and fruit quality in pepper (*Capsicum annuum* L.). *Agronomy*, 9(11), 1-21. <https://doi.org/10.3390/agronomy9110683>
- Zhang, J., Xie, J., Gan, Y., Coulter, J. A., Dawuda, M. M., Yu, J., ... & Calderón-Urrea, A. (2020). Corrigendum to: Promoting pepper (*Capsicum annuum*) photosynthesis via chloroplast ultrastructure and enzyme activities by optimising the ammonium to nitrate ratio. *Functional Plant Biology*, 47(5), 473-473.
- Zou, N., Li, B., Dong, G., Kronzucker, H. J., & Shi, W. (2012). Ammonium-induced loss of root gravitropism is related to auxin distribution and TRH1 function, and is uncoupled from the inhibition of root elongation in *Arabidopsis*. *Journal of Experimental Botany*, 63(10), 3777-3788.