



Efectos nutricionales del estrés salino en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum L.*) micorrizadas

Nutritional effects of salt stress on mycorrhized tomato (*Solanum lycopersicum L.*) plants

✉ Laura R. Medina García*, ✉ Yakelin Rodríguez Yon, ✉ Nicolás Medina Basso

Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), carretera San José-Tapaste, km 3½, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32700, Gaveta Postal 1.

RESUMEN: La salinidad de los suelos es uno de los problemas agrícolas más extendidos, inhibiendo el crecimiento de las plantas y su productividad. Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) se consideran una alternativa eficaz para la mejora biológica del estrés por salinidad, siendo el objetivo del presente trabajo determinar el efecto de la inoculación con diferentes cepas de HMA sobre el estado nutricional de plantas de tomate en condiciones de estrés salino. En el experimento se utilizaron plantas de tomate (*Solanum lycopersicum L.*) de la variedad Vyta, estudiándose el efecto de la inoculación de diferentes cepas de HMA y tres niveles diferentes de salinidad sobre el estado nutricional de las plantas. Se observó que las plantas inoculadas con las cepas de HMA tuvieron un mejor estado nutricional, tanto en condiciones normales como sometidas a estrés salino, siendo notable la disminución de los contenidos de sodio en las plantas colonizadas por dichas cepas bajo condiciones de estrés por salinidad.

Palabras clave: salinidad, Micorrasas arbusculares, nutrición.

ABSTRACT: Soil salinity is one of the most widespread agricultural problems, inhibiting plant growth and productivity. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) are considered an effective alternative for the biological improvement of salinity stress, the objective of this work being to determine the effect of inoculation with different strains of AMF on the nutritional status of tomato plants under salt stress conditions. In the experiment tomato plants (*Solanum lycopersicum L.*) of the Vyta variety were used, studying the effect of the inoculation of different strains of AMF and three different levels of salinity on the nutritional status of the plants. It was observed that the plants inoculated with the AMF strains had a better nutritional status, both under normal conditions and under salinity stress, with a notable decrease in sodium content in plants colonized by said strains under salinity stress conditions.

Key words: salinity, arbuscular mycorrhizae, nutrition.

INTRODUCCIÓN

En la naturaleza las plantas se encuentran expuestas a numerosas condiciones de estrés que retardan su desarrollo y disminuyen sus rendimientos. Uno de los problemas agrícolas más extendidos es la acumulación de sales en la superficie del suelo (1). En general, la salinidad inhibe el crecimiento de las plantas y su productividad, induciendo desequilibrios en las relaciones osmóticas entre el suelo y las plantas y en el metabolismo de estas (2).

Existe un grupo de factores que aumentan la tolerancia de las plantas a la salinidad, como el ajuste osmótico, la síntesis de solutos orgánicos, la exclusión de iones a nivel radicular, la retención de iones en las vacuolas de las raíces y la eliminación del exceso de sales directamente a través de glándulas o estructuras especializadas (3). La incorporación o aplicación de estos puede facilitar a las plantas una mejor resistencia al estrés salino y pueden ayudar a mejorar la productividad de cultivos bajo estas condiciones.

*Autor para correspondencia. laura@inca.edu.cu

Recibido: 29/05/2023

Aceptado: 30/01/2025

Conflictos de intereses: Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución de autores: **Conceptualización-** Laura R. Medina, Yakelin Rodríguez Yon, Nicolás Medina Basso. **Methodología-** Laura R. Medina. **Supervisión-** Laura R. Medina, Nicolás Medina Basso. **Escritura del borrador inicial-** Laura R. Medina, Yakelin Rodríguez Yon, Nicolás Medina Basso. **Escritura final y edición-** Laura R. Medina, Nicolás Medina Basso. **Curación de datos-** Laura R. Medina, Yakelin Rodríguez Yon, Nicolás Medina Basso.

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



La tolerancia al estrés en las plantas es un fenómeno complejo que involucra numerosos cambios a nivel bioquímico y fisiológico; sin embargo, los mecanismos detrás de la tolerancia al estrés parecen estar afectados por la colonización de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) (4).

Los HMA se consideran una alternativa eficaz para la mejora biológica del estrés por salinidad. Estos despliegan una serie de mecanismos bioquímicos y fisiológicos que actúan de manera concertada para proporcionar una mayor tolerancia a la salinidad a las plantas. Algunos de estos mecanismos incluyen una mejor absorción de nutrientes y mantenimiento de la homeostasis iónica, eficiencia superior en el uso del agua y osmoprotección, eficiencia fotosintética mejorada, preservación de la ultraestructura celular y refuerzo del metabolismo antioxidante (5).

Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue determinar la efectividad de la inoculación con diferentes cepas de HMA sobre el estado nutricional de plantas de tomate en condiciones de estrés salino.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en las áreas experimentales del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas durante los meses de febrero y marzo en condiciones de cultivo semiprotegido. Se utilizaron plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) de la variedad Vyta. Las semillas utilizadas fueron esterilizadas con una solución de hipoclorito de sodio al 10 % durante 10 minutos (6). Las plantas se sembraron en macetas plásticas de 5 L de capacidad, a razón de 5 semillas por plantas y, posteriormente, se realizó un raleo dejando dos plantas por recipiente. Las plantas de tomate crecieron bajo condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa, así como de fotoperíodo natural. Se utilizó como sustrato suelo Ferralítico Rojo lixiviado, según la Nueva Versión de Clasificación de los Suelos de Cuba (7).

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño completamente aleatorizado con arreglo bifactorial (3x3), donde los factores estudiados fueron las cepas de HMA y los niveles de salinidad. El experimento contó con nueve tratamientos, de diez réplicas cada uno.

En uno de los tratamientos del factor cepa se empleó un inóculo certificado a base de *Glomus cubense* (INCAM - 4) proveniente del cepario del Laboratorio de Micorrizas del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA, San José de las Lajas, Mayabeque). En otro de los tratamientos de este mismo factor se empleó un conglomerado de 28 especies de HMA, obtenido al reproducir las especies encontradas en un suelo afectado por altos contenidos de sales de la zona Las Caobas en la provincia Holguín. Ambos inóculos de HMA poseían un título promedio de 50 esporas-g⁻¹ de suelo fresco y fueron certificados en el Laboratorio de Micorrizas del INCA. La inoculación se realizó a razón de 5 g por planta (aproximadamente 250 esporas por recipiente). Para el tratamiento testigo se mantuvo solo la composición de cepas residentes que existían en el sustrato de origen.

En ninguno de los tratamientos se esterilizó el suelo, a fin de mantener presentes las características de la microbiota asociada al cultivo.

Los tratamientos salinos fueron impuestos a partir de diferentes concentraciones de NaCl en el agua del riego: 50 y 100 mM. Las soluciones fueron preparadas con sal común comercial con un 99,97 % de NaCl y 0,03 % de yodato de potasio. Los tratamientos comenzaron a partir de los 15 días después de la emergencia de las plantas, durante 45 días, y para ello se realizó el riego con las diferentes soluciones una vez por semana hasta que las macetas llegaron a su máximo nivel de retención de humedad.

Determinaciones realizadas

Las evaluaciones se realizaron a los 60 días después de la emergencia de las plantas. En hojas, tallos y raíces se determinaron los porcentajes de N, P, K y Na, en todos los casos por digestión húmeda (H₂SO₄ + Se), evaluando el N por el método de Nessler, el P por formación de azul de molibdeno, el K por fotometría de llama y el Na por extracción de cationes cambiables con acetato de amonio (8).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

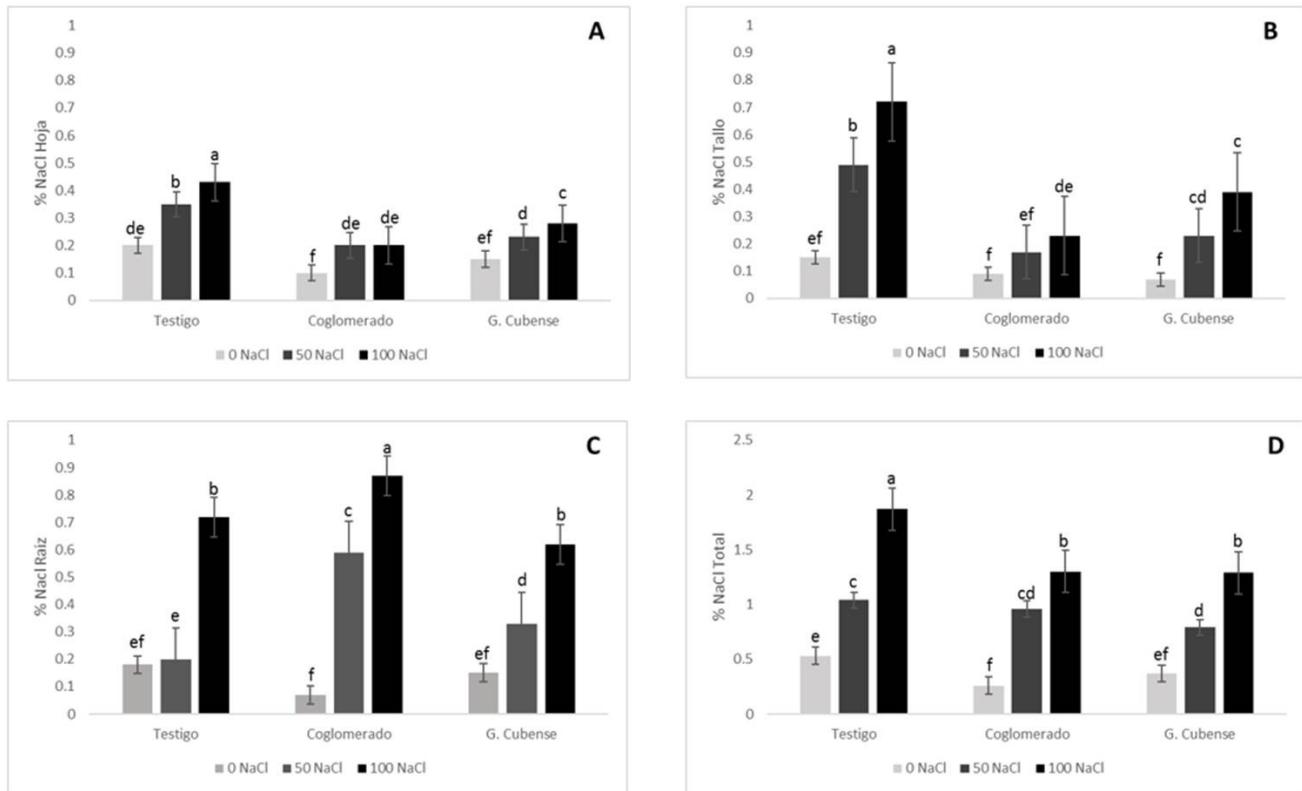
Sodio

En la Figura 1 se muestran los contenidos de Na, por órganos y total, en plantas de tomate sometidas a estrés salino. Resultan notables los reducidos valores que exhiben las hojas, tallos y el total de las plantas inoculadas con el conglomerado de cepas y con *Glomus cubense*, en comparación con el testigo no inoculado.

Sin embargo, se puede observar que en las raíces no ocurre el mismo efecto, siendo significativos los incrementos del contenido de Na en el sistema radical de las plantas inoculadas con el conglomerado, a concentraciones de NaCl de 100 mM, en relación al resto de los tratamientos. De igual forma, para concentraciones de 50 mM de NaCl, tanto las plantas inoculadas con el conglomerado como con la cepa *Glomus cubense* mostraron mayores contenidos de Na que los tratamientos salinizados y no en la variante sin inocular (testigo).

Existen evidencias de que, aparentemente, elementos tóxicos para las plantas a grandes concentraciones (Na, Cd, Pb, Ni, Ba, As) son secuestrados en gránulos de polifosfato en el interior de las hifas de los HMA, no siendo transferidos a otros órganos de la planta (9, 10), y a esto podrían deberse las altas concentraciones de Na que se encontraron en las raíces colonizadas.

En base a lo anterior, pudiera plantearse un posible mecanismo para explicar el papel de los HMA en la disminución del estrés salino en las plantas, a partir de la disminución de la absorción del Na y su translocación a los tejidos de la planta, por acumulación del elemento en las hifas. Como se puede observar en la Figura 1 las plantas micorrizadas presentan menos Na en sus órganos aéreos que las no micorrizadas.



Barras con letras comunes no difieren entre sí según Duncan_{0.05}. Las barras de error representan el error típico de la media por tratamiento

Figura 1. Efecto de la micorrización en el contenido de Na en hojas (A), tallos (B), raíces (C) y total (D) de plantas de tomate sometidas a estrés salino

Nitrógeno

En la Figura 2 se presentan los contenidos de nitrógeno, por órganos y total, en las plantas de tomate bajo diferentes niveles de salinidad y se puede observar una notable y significativa disminución de los contenidos de nitrógeno en todos los órganos, excepto la raíz de las plantas, tanto micorrizadas como no, al aumentar las concentraciones de sales. Este efecto resulta de interés, dado que puede apreciarse también que los contenidos del nutriente fueron significativamente superiores en los tratamientos micorrizados, indicativo de una mayor absorción del elemento, sobre todo en la variante inoculada con el conglomerado de cepas.

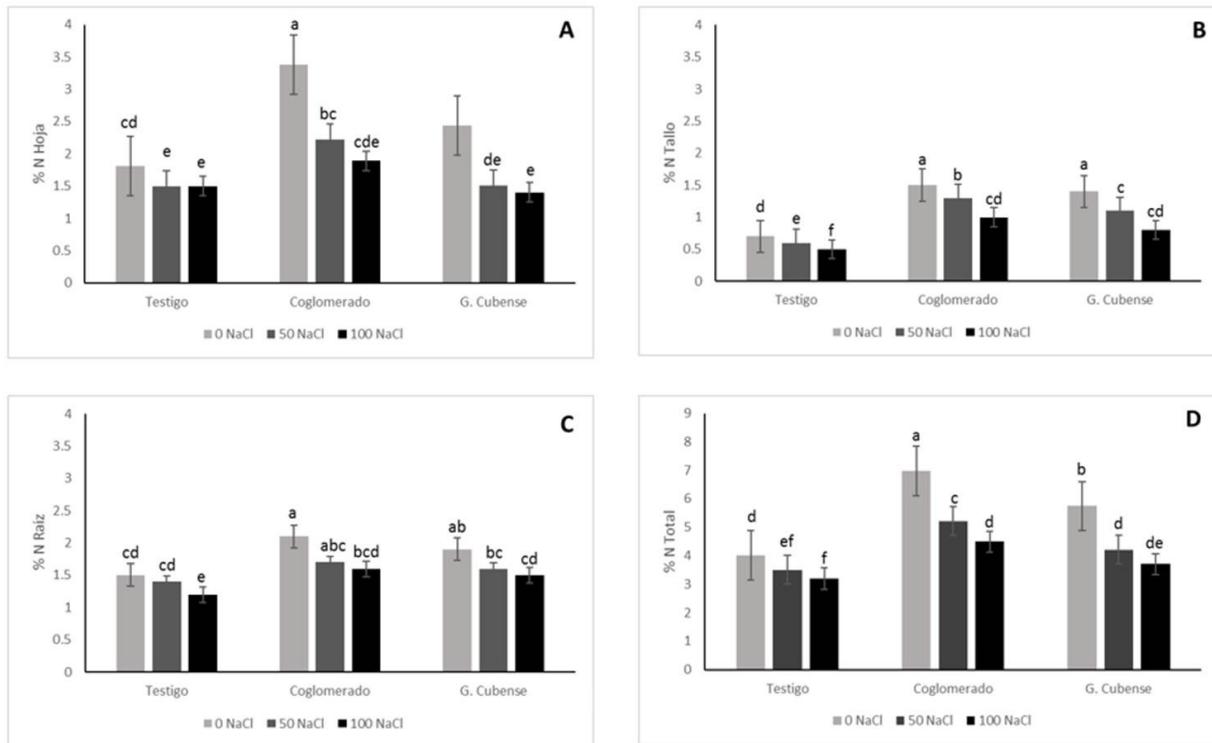
En el caso de la adquisición de N también se ha reportado un incremento de este elemento en plantas micorrizadas, aunque en valores más discretos que en el caso de otros nutrientes. En un experimento en *Chrysanthemum morifolium* (Ramat.) en condiciones de salinidad moderada, la concentración de N en la raíz fue más alta en las plantas micorrizadas que en las no micorrizadas, siendo la mejora de la absorción de N por la raíz el principal mecanismo subyacente en el aumento de la tolerancia a la sal (11). Se ha determinado que este mecanismo puede ayudar a reducir los efectos tóxicos de los iones Na⁺, regulando su absorción y ayudando indirectamente a mantener el contenido de clorofila de la planta (12).

Fósforo

Los contenidos de este nutriente en las plantas sometidas a estrés salino tuvieron un comportamiento similar al descrito anteriormente para el nitrógeno. En la Figura 3 se presentan los valores de los contenidos del elemento, por órganos y total, en plantas de tomate inoculadas y no, a diferentes niveles de salinización.

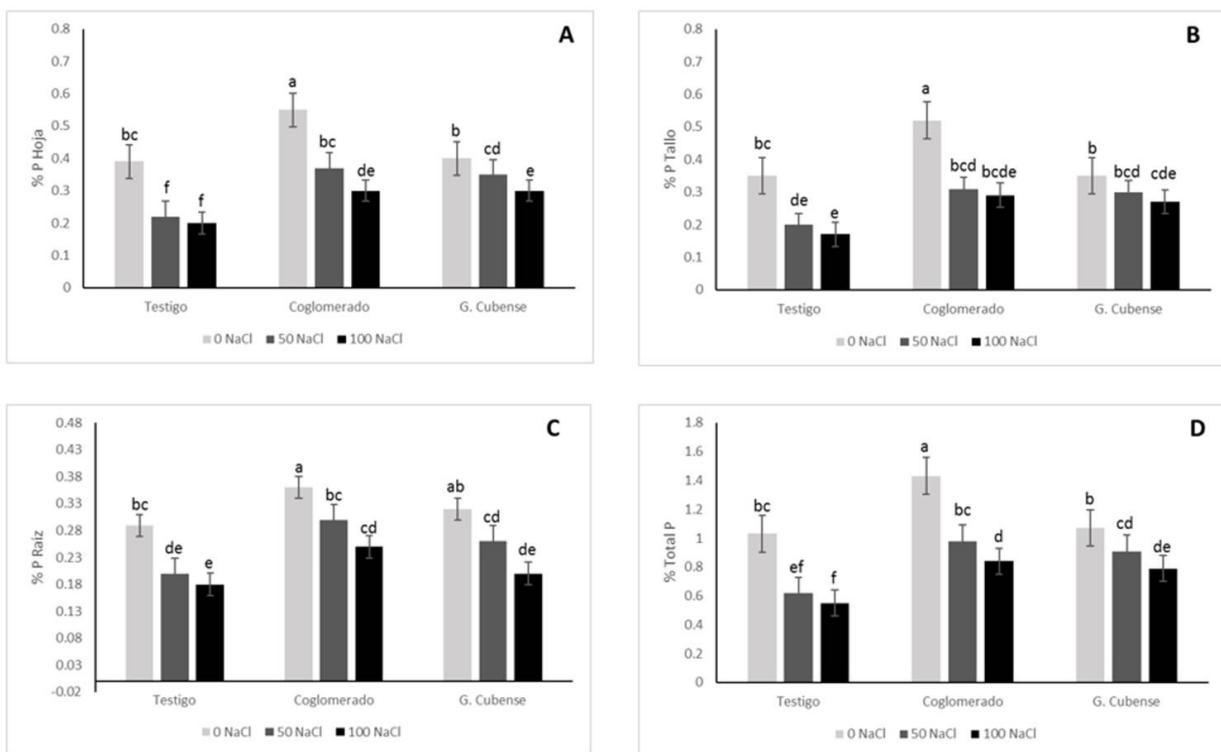
Así, aunque los contenidos de fósforo en las hojas, tallo, raíces y total de las plantas inoculadas con el conglomerado fueron significativamente mayores, al aplicarse los tratamientos con NaCl, los contenidos del elemento disminuyeron de forma similar, tanto en las plantas inoculadas con el conglomerado como en las inoculadas con *G. cubense* y las no inoculadas.

El incremento de la absorción de P por las plantas micorrizadas es una realidad que se encuentra ampliamente documentada. Determinadas modificaciones en la rizosfera pueden aumentar la transferencia de P a las raíces de las plantas y la eficiencia con que los cultivos utilizan este elemento (13). Romero-Munar y col (14) encontraron resultados que indican que la simbiosis AM podría ser una buena herramienta para mejorar los rasgos fisiológicos y la producción de biomasa al aumentar la toma de P en condiciones de estrés por salinidad durante las primeras etapas de desarrollo de las plantas. Los efectos tóxicos específicos del sodio se han asociado con la acumulación de altas concentraciones de NaCl en las hojas,



Barras con letras comunes no difieren entre sí según Duncan 0.05. Las barras de error representan el error típico de la media por tratamiento

Figura 2. Efecto de la micorrización en el contenido de N en hojas (A), tallos (B), raíces (C) y total (D) de plantas de tomate sometidas a estrés salino



Barras con letras comunes no difieren entre sí según Duncan 0.05. Las barras de error representan el error típico de la media por tratamiento

Figura 3. Efecto de la micorrización en el contenido de P en hojas (A), tallos (B), raíces (C) y total (D) de plantas de tomate sometidas a estrés salino

Plaut y Grieve encontraron que el incremento del P trae como resultado una disminución del Na, lo que puede estar indirectamente relacionado con la toma del Ca y el Mg (15).

Otros autores sugieren que los HMA inducen el aumento de los niveles de fósforo en plantas bajo estrés salino y reducen los efectos negativos del Na, manteniendo la integridad de la membrana vacuolar, lo que impide que estos iones puedan intervenir en las rutas metabólicas y facilita la compartimentación en el interior de las vacuolas y la admisión selectiva de iones (16).

Por otra parte, es conocido que la salinidad del suelo reduce significativamente la absorción de nutrientes minerales, especialmente fósforo, ya que los iones fosfato se precipitan con los cationes presentes en suelos salinos, tornándose no disponibles para las plantas (17). Por lo tanto, la mejora en la nutrición fosfórica que se observa en las plantas micorrizadas, tanto por el conglomerado como por la cepa *G. cubense*, es beneficiosa para el crecimiento de la planta y puede ayudar a mitigar el estrés salino, al superar la capacidad de retención del fósforo en el suelo.

Potasio

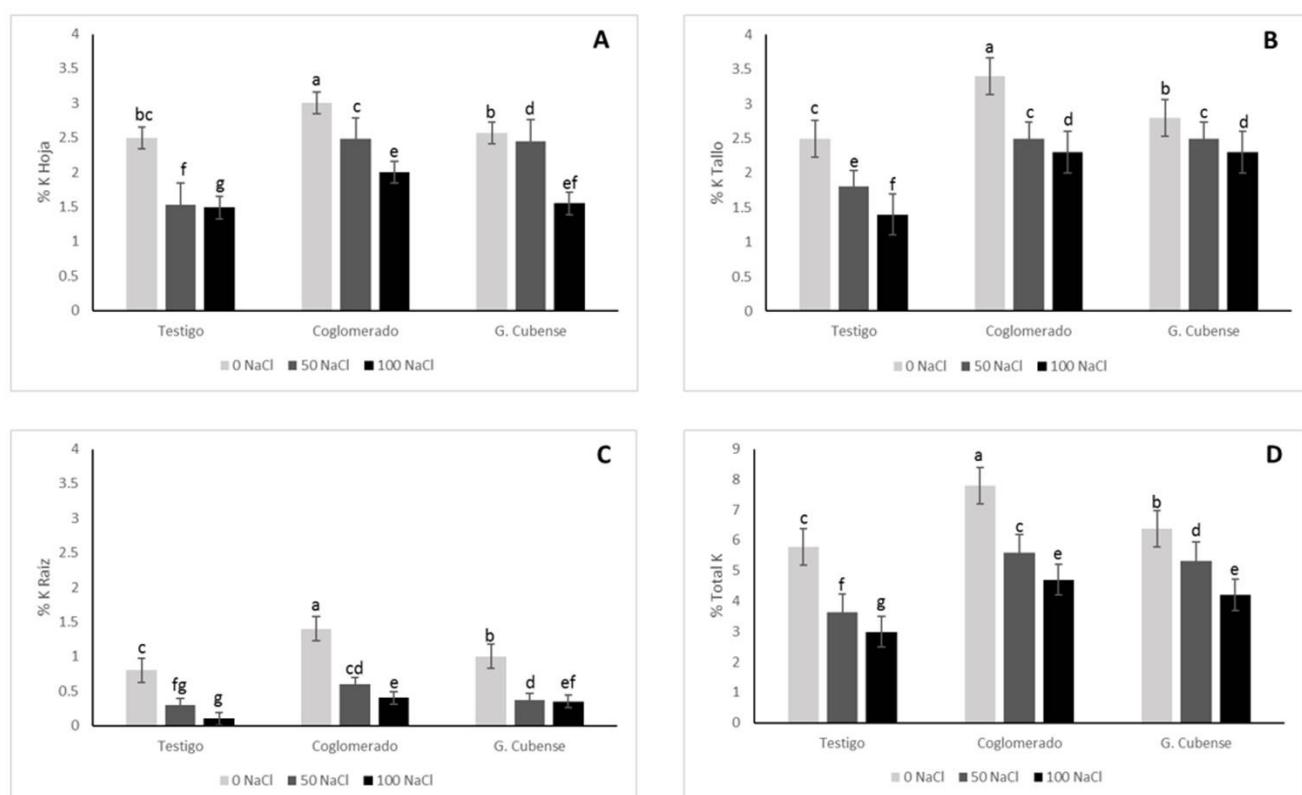
Como se observa en la Figura 4, el comportamiento del contenido de potasio en las plantas ante las diferentes variantes evaluadas, también fue semejante al ya analizado para N y P, de forma que la inoculación con el conglomerado

de cepas permitió obtener valores del nutriente superiores en todos los órganos, así como para el conjunto de la planta. Asimismo, los contenidos de K disminuyeron en todas las variantes de inoculación con el aumento del nivel de salinización.

Cuando el agua en el suelo es limitada, bajo condiciones de salinidad, las plantas sufren una pérdida de turgencia y comienzan a marchitarse, síntomas típicos de deficiencia de K (18). Como soluto en las vacuolas, el K juega un importante rol en el control de las relaciones hídricas ayudando a mantener alto el nivel de agua en los tejidos, incluso bajo condiciones osmóticas desiguales. Así, la mayor acumulación de K en los tejidos de las plantas micorrizadas puede constituir una importante contribución hacia el mantenimiento del potencial osmótico de las células y los tejidos de las plantas sometidas a estrés salino (19).

En las plantas micorrizadas, la absorción efectiva de K ayuda a reducir las fugas de iones, la compartimentación de iones tóxicos en vacuolas y la captación selectiva de iones, reduciendo en consecuencia los efectos adversos de la salinidad (5).

El mejor estado nutricional observado en las plantas micorrizadas puede estar relacionado con numerosos factores sobre los cuales influyen los HMA y que contribuyen al mantenimiento de la homeostasis, a proteger la integridad de la membrana celular y a la mejora en la adquisición del agua y nutrientes bajo condiciones de estrés (20).



Barras con letras comunes no difieren entre sí según Duncan 0.05. Las barras de error representan el error típico de la media por tratamiento

Figura 4. Efecto de la micorrización en el contenido de K en hojas (A), tallos (B), raíces (C) y total (D) de plantas de tomate sometidas a estrés salino

CONCLUSIONES

Se puede concluir, después de lo anteriormente observado, que la reducción en la entrada a la planta de Na, unida al incremento en la absorción de N, P y K observados en las plantas micorrizadas, sobre todo en aquellas inoculadas con cepas adaptadas a ambientes con alto contenido de sales, puede ser un importante mecanismo de alivio para plantas que crecen en suelos salinos.

Las plantas inoculadas con las cepas provenientes del conglomerado tuvieron un mejor estado nutricional, tanto en condiciones normales como sometidas a estrés salino, siendo notable la disminución de los contenidos de sodio en las plantas colonizadas por dichas cepas bajo condiciones de estrés por salinidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Wani SH, Kumar V, Khare T, Guddimalli R, MP, Solymosi K, et al. Engineering salinity tolerance in plants: progress and prospects. *Planta*. 2020;251(76):2-29. doi [10.1007/s00425-020-03366-6](https://doi.org/10.1007/s00425-020-03366-6).
- Hernández JA. Salinity Tolerance in Plants: Trends and Perspectives. *Int J Mol Sci*. 2019;20(10):2400-8. doi [10.3390/ijms20102408](https://doi.org/10.3390/ijms20102408).
- Liang W, Ma X, Wan P, Liu L. Plant salt-tolerance mechanism: A review. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 2018;495(1):1-6. doi [10.1016/j.bbrc.2017.11.043](https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2017.11.043).
- Borde M, Dudhane M, Kulkarni M. Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) in Salinity Tolerance and Growth Response in Plants Under Salt Stress Conditions. In: Varma A, Prasad R, Tuteja N, editors. *Mycorrhiza - Eco-Physiology, Secondary Metabolites, Nanomaterials*. Cham: Springer International Publishing; 2017. p. 71-86.
- Evelin H, Devi TS, Gupta S, Kapoor R. Mitigation of Salinity Stress in Plants by Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis: Current Understanding and New Challenges. *Frontiers in Plant Science*. 2019;10. doi [10.3389/fpls.2019.00470](https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00470).
- Davino S, Caruso AG, Bertacca S, Barone S, Panno S. Tomato Brown Rugose Fruit Virus: Seed Transmission Rate and Efficacy of Different Seed Disinfection Treatments. *Plants*. 2020;9(11):1615. doi [10.3390/plants9111615](https://doi.org/10.3390/plants9111615).
- Hernández A, Pérez J, Bosch D, Castro N. Clasificación de los Suelos de Cuba 2015. Mayabeque, Cuba: Ediciones INCA; 2015. 91 p. Disponible en: <http://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones>
- Panque V. Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos. La Habana: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas.; 2002. Disponible en: <http://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones>
- Yao Q, Yang R, Long L, Zhu H. Phosphate application enhances the resistance of arbuscular mycorrhizae in clover plants to cadmium via polyphosphate accumulation in fungal hyphae. *Environmental and Experimental Botany*. 2013. doi [10.1016/j.envexpbot.2013.11.007](https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.11.007).
- Abdelhameed RE, Metwally RA. Alleviation of cadmium stress by arbuscular mycorrhizal symbiosis. *International Journal of Phytoremediation*. 2019;21(7):663-71. doi [10.1080/15226514.2018.1556584](https://doi.org/10.1080/15226514.2018.1556584).
- Wang Y, Wang M, Li Y, Wu A, Huang J. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and nitrogen uptake of Chrysanthemum morifolium under salt stress. *PLoS ONE*. 2018;13(4):1-14. doi [10.1371/journal.pone.0196408](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196408).
- Chandrasekaran M, Boughattas S, Hu S, Oh S-H, Sa T. A meta-analysis of arbuscular mycorrhizal effects on plants grown under salt stress. *Mycorrhiza*. 2014;24(8):611-25. doi [10.1007/s00572-014-0582-7](https://doi.org/10.1007/s00572-014-0582-7).
- Plassard C, Becquer A, Garcia K. Phosphorus Transport in Mycorrhiza: How Far Are We? *Trends Plant Sci*. 2019;24(9):794-801. doi [10.1016/j.tplants.2019.06.004](https://doi.org/10.1016/j.tplants.2019.06.004).
- Romero-Munar A, Baraza E, Gulías J, Cabot C. Arbuscular Mycorrhizal Fungi Confer Salt Tolerance in Giant Reed (*Arundo donax* L.) Plants Grown Under Low Phosphorus by Reducing Leaf Na⁺ Concentration and Improving Phosphorus Use Efficiency. *Frontiers in Plant Science*. 2019;10. doi [10.3389/fpls.2019.00843](https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00843).
- Plaut Z, Grieve CM, Maas EV. Salinity effects on CO₂ assimilation and diffusive conductance of cowpea leaves. *Physiologia Plantarum*. 1990;79(1):31-8. doi [10.1111/j.1399-3054.1990.tb05862.x](https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1990.tb05862.x).
- Iqbal S, Hussain S, Qayyam MA, Ashraf M. The response of maize physiology under salinity stress and its coping strategies. *Plant Stress Physiology*. 2020:1-25. doi [10.5772/intechopen.88761](https://doi.org/10.5772/intechopen.88761).
- Nawaz F, Shehzad MA, Majeed S, Ahmad KS, Aqib M, Usmani MM, et al. Role of mineral nutrition in improving drought and salinity tolerance in field crops. In: Hasanuzzaman M, editor. *Agronomic Crops*. 3. Singapore: Springer; 2020. p. 129-47. doi [10.1007/978-981-15-0025-1_8](https://doi.org/10.1007/978-981-15-0025-1_8).
- Ahanger MA, Tomar NS, Tittal M, Argal S, Agarwal R. Plant growth under water/salt stress: ROS production; antioxidants and significance of added potassium under such conditions. *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 2017;23(4):731-44. doi [10.1007/s12298-017-0462-7](https://doi.org/10.1007/s12298-017-0462-7).
- Hassan MU, Aamer M, Chattha MU, Ullah MA, Sulaman S, Nawaz M, et al. The role of potassium in plants under drought stress: Mini review. *Journal of Basic and Applied Sciences*. 2017;13:268-71. doi [10.6000/1927-5129.2017.13.44](https://doi.org/10.6000/1927-5129.2017.13.44).
- Dastgoeer K, Zahan M, Tahjib-Ul-Arif M, Akter M, Okazaki S. Plant Salinity Tolerance Conferred by Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Associated Mechanisms: A Meta-Analysis. *Front Plant Sci*. 2020;11:588550. doi [10.3389/fpls.2020.588550](https://doi.org/10.3389/fpls.2020.588550).