



## EFFECTOS DE LA INOCULACIÓN MICORRÍZICA ARBUSCULAR EN EL CRECIMIENTO DE PLANTAS DE GARBANZO (*CICER ARIETINUM* L.) BAJO ESTRÉS POR NaCl

Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation on the growth of chickpea (*Cicer arietinum* L.) plants under NaCl stress

Yanitza Meriño Hernández<sup>1\*</sup>, Yakelín Rodríguez Yon<sup>2</sup>, José Miguel Dell Amico Rodríguez<sup>3</sup>,  
Yenisei Hernández Baranda<sup>4</sup>, Tony Boicet Fabre<sup>5</sup>, Pedro Rodríguez Hernández<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Fisiología y Bioquímica Vegetal, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), carretera a Tapaste km 3½, San José de Las Lajas, Mayabeque, CP 32 700. E-mail: [yani@inca.edu.cu](mailto:yani@inca.edu.cu)

<sup>2</sup>Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). Mayabeque, Cuba. E-mail: [yakelinry@gmail.com](mailto:yakelinry@gmail.com)

<sup>3</sup>Departamento de Fisiología y Bioquímica Vegetal. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). Mayabeque, Cuba. E-mail: [amico@inca.edu.cu](mailto:amico@inca.edu.cu)

<sup>4</sup>Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, México, CP 97 203. E-mail: [yeniseihernandezbaranda@gmail.com](mailto:yeniseihernandezbaranda@gmail.com)

<sup>5</sup>Departamento de Agronomía. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Granma. Carretera Bayamo Manzanillo km 17½, Bayamo, Granma, Cuba, CP 85100. E-mail: [tboicetf@udg.co.cu](mailto:tboicetf@udg.co.cu)

<sup>6</sup>Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Obonuco. Kilómetro 5, Vía Pasto-Obonuco, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. E-mail: [prodriguez@agrosavia.co](mailto:prodriguez@agrosavia.co)

**RESUMEN:** La salinidad es uno de los factores abióticos que afecta negativamente la productividad de los cultivos en todo el mundo. Un incremento del estrés salino limita el crecimiento y los procesos fisiológicos del cultivo del garbanzo (*Cicer arietinum* L.), el cual ha demostrado ser sensible a este tipo de condiciones. Este estudio se desarrolló con el objetivo de evaluar el efecto de la inoculación micorrízica sobre algunos indicadores fisiológicos y de crecimiento del garbanzo cultivar 'Nacional-29' en condiciones de salinidad por NaCl. Para ello, se realizaron experimentos en un suelo Fluvisol, en un ambiente controlado, bajo un diseño completamente aleatorizado con arreglo bifactorial. Se evaluaron 12 tratamientos, los factores consistieron en cuatro niveles de NaCl (0, 25, 50 y 75 mM) y dos cepas de hongos micorrízicos arbusculares (HMA)(INCAM 11 de *Rhizophagus irregularis* e INCAM 4 de *Glomus cubense*). Los indicadores de crecimiento variaron de manera significativa ( $P < 0,05$ ) con las diferentes cepas y concentraciones salinas, reflejándose principalmente en la biomasa total, el contenido de clorofila, la relación área foliar, la colonización micorrízica, la intensidad y el número de esporas de HMA en el suelo. Las plantas inoculadas con INCAM 11 y con un nivel salino inferior a 50 mM mostraron valores superiores en la mayoría de los indicadores evaluados. Esta cepa fue la más efectiva en el crecimiento y desarrollo del garbanzo ante las condiciones de estudio.

**Palabras claves:** colonización, desarrollo, fisiología, salinidad.

\* Correspondencia a: [yani@inca.edu.cu](mailto:yani@inca.edu.cu)

Recibido: 30/08/2024

Aceptado: 11/10/2024

**Conflicto de intereses:** Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

**Contribución de autores:** Yanitza Meriño Hernández: **Conceptualización. Investigación. Metodología. Curación de datos. Escritura-revisión.** Yakelín Rodríguez Yon: **Conceptualización. Curación de datos. Metodología.** José Miguel Dell Amico Rodríguez: **Metodología. Supervisión.** Tony Boicet Fabre: **Metodología. Supervisión.** Pedro Rodríguez Hernández: **Curación de datos. Metodología. Administración de proyectos. Recursos.**



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/>



**ABSTRACT:** Salinity is one of the abiotic factors that negatively affect crop productivity around the world. An increase in saline stress limits the growth and physiological processes of the chickpea crop (*Cicer arietinum* L.), which has been shown to be sensitive to this type of conditions. This study was developed with the objective of evaluating the effect of mycorrhizal inoculation on some physiological and growth indicators of the chickpea cultivar 'Nacional-29' under NaCl salinity conditions. For this, experiments were carried out in a Fluvisol soil, in controlled conditions, under a completely randomized design with a bifactorial arrangement. Twelve treatments were evaluated, the factors consisted of four levels of NaCl (0, 25, 50 and 75 mM) and two strains of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) (INCAM 11 from *Rhizophagus irregularis* and INCAM 4 from *Glomus cubense*). The growth indicators varied significantly ( $P < 0.05$ ) with the different strains and saline concentrations, mainly reflected in total biomass, chlorophyll content, leaf area ratio, mycorrhizal colonization, intensity and number of AMF spores in the soil. Plants inoculated with INCAM 11 and with a salt level lower than 50 mM showed higher values in most of the evaluated indicators. This strain was the most effective in the growth and development of chickpea under the study conditions.

**Key words:** colonization, development, physiology, salinity.

## INTRODUCCIÓN

La salinidad es uno de los problemas ambientales más significativos que limita el crecimiento y la productividad de los cultivos, siendo los climas áridos y semiáridos los más afectados (Acosta-Motos *et al.*, 2015; Hossain, 2019). El efecto perjudicial de este estrés en la producción agrícola está dado en lo fundamental por la afectación severa de la homeostasis celular y la toxicidad iónica (Nutan *et al.*, 2017).

Se ha demostrado que la salinidad afecta negativamente numerosos cultivos de interés económico, como es el caso del garbanzo (*Cicer arietinum* L.), que constituye la segunda legumbre más importante a nivel mundial después del frijol (*Phaseolus* spp), con el 16,8 % del volumen total de los granos producidos (FAOSTAT, 2022). Su cultivo en el mundo ocupa un área por encima de 15,04 millones de hectáreas, con una producción de 15,87 millones de toneladas y una productividad media de 1 058 kg.ha<sup>-1</sup> (FAO, 2023).

Se destaca por ser una especie de interés para el consumo humano y animal (Apáez-Barrios *et al.*, 2020), con un contenido proteico de alrededor del 20 %, elevada cantidad de carbohidratos (40 %), de alta digestibilidad, es rico en ácidos grasos insaturados y posee pocos elementos antinutritivos (León de la Rocha *et al.*, 2019).

Sin embargo, el garbanzo es muy sensible a la salinidad, la que afecta negativamente su germinación, el crecimiento vegetativo y principalmente los procesos reproductivos (Kotula *et al.*, 2019; Pushpavalli *et al.*, 2020), todo lo cual conduce a una reducción considerable del rendimiento del cultivo.

La asociación de las plantas con microorganismos beneficiosos del suelo como los hongos micorrízicos arbusculares (HMA), constituye una alternativa para mitigar los efectos adversos de la salinidad y lograr menor afectación en la productividad de los cultivos bajo estas condiciones (Rivero *et al.*, 2018).

De esta manera, la producción de inoculantes a partir de HMA tiene un gran potencial para su utilización en la agricultura sostenible, contribuyendo a minimizar los efectos de la sal en el crecimiento y desarrollo vegetal (Begum *et al.*, 2019; Chandrasekaran *et al.*, 2019) e incrementar la productividad de los cultivos y la calidad de los alimentos (Espinosa *et al.*, 2019; Benami *et al.*, 2020; Massa *et al.*, 2020).

Teniendo en cuenta lo expuesto, se desarrolló una investigación con el objetivo de evaluar el efecto de la salinidad sobre indicadores fisiológicos y de crecimiento del cultivo del garbanzo, cultivar 'Nacional-29', en simbiosis con hongos micorrízicos arbusculares.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Condiciones Generales

La investigación se realizó en el cuarto de crecimiento del departamento de Fisiología Vegetal y Bioquímica perteneciente al Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), con una temperatura de 26/18 °C (día/noche) y un fotoperíodo de 12 horas luz y 12 horas de oscuridad, en el período comprendido de marzo a abril de 2018.

El cultivo utilizado fue el garbanzo (*Cicer arietinum* L.), cv. 'Nacional-29', que se nombrará de forma abreviada como 'N-29' y se caracteriza por presentar un porte acamado,

hojas imparipinnadas, con 35 días a la floración y los días a la cosecha oscilan entre 115 y 130 (Shagarodsky *et al.*, 2021).

Las semillas se trataron previamente con Hipoclorito de sodio al 1 % durante diez minutos y luego se lavaron cinco veces con agua destilada estéril. Seguidamente, se pusieron a pregerminar en placas Petri a temperatura ambiente durante cuatro días, hasta la emisión de la radícula y la plúmula. La siembra de las semillas pregerminadas se realizó en recipientes plásticos de 700 g de capacidad que contenían suelo Fluvisol agrogénico eútrico medianamente profundo, medianamente humificado (Hernández *et al.*, 2015) y materia orgánica de origen animal (estiércol vacuno) a razón de 2:1 (v:v).

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño completamente aleatorizado con arreglo bifactorial (4x3). Los factores estudiados fueron los niveles de salinidad (Factor I): 25, 50 y 75 mM de NaCl y un control. El otro lo constituyeron las cepas de HMA (Factor II): control (sin NaCl), INCAM 4 de *Glomus cubense* (Rodríguez *et al.*, 2011) e INCAM 11 de *Rhizophagus irregularis* (Sieverding *et al.*, 2014). Se emplearon 12 tratamientos descritos en la Tabla 1, donde cada uno tuvo un total de 40 plantas, a razón de una planta por maceta. El título del inóculo de HMA fue de 45 esporas/g y se colocaron 2 g por nicho a la hora del trasplante.

**Tabla 1.** Tratamientos establecidos en el experimento, con plantas de garbanzo inoculadas con dos cepas de HMA y expuestas a tres concentraciones de NaCl

Tratamientos	Combinaciones de NaCl con HMA
1	Control (Sin NaCl y sin HMA)
2	25 mM NaCl Sin HMA
3	50 mM NaCl Sin HMA
4	75 mM NaCl Sin HMA
5	0 mM NaCl + <i>Glomus cubense</i>
6	25 mM NaCl + <i>Glomus cubense</i>
7	50 mM NaCl + <i>Glomus cubense</i>
8	75 mM NaCl + <i>Glomus cubense</i>
9	0 mM NaCl + <i>Rhizophagus irregularis</i>
10	25mM NaCl + <i>Rhizophagus irregularis</i>
11	50 mM NaCl + <i>Rhizophagus irregularis</i>
12	75 mM NaCl + <i>Rhizophagus irregularis</i>

La salinidad fue inducida dos veces por semana, a partir de los 15 días de la siembra de la semilla pregerminada. Para ello, se añadió 50 ml de solución salina a las plantas sembradas

según los tratamientos que contenían sal y para los controles se aplicó la misma cantidad de agua y frecuencia. Se evaluaron 6 plantas por cada tratamiento para un total de 72 plantas.

### Variables evaluadas

Se estudiaron diferentes variables relacionadas con el crecimiento: estimación del contenido de clorofilas para lo que se empleó un medidor portátil SPAD, expresado en unidades SPAD (Soil Plant Analysis Development), la biomasa total (g) y se calculó la relación área foliar y el área foliar específica de acuerdo con Beadle (1993).

La relación de área foliar (RAF), que refleja el tamaño de la superficie fotosintética con relación a la masa respiratoria, se calculó mediante la expresión:  $RAF = RPF \times AFE$ ; en la que la relación de peso foliar (RPF), expresa la fracción de la biomasa total invertida en las hojas y el área foliar específica (AFE) es la relación entre el área y el peso foliar, los cuales se calculan mediante las siguientes expresiones:  $RPF = [(MF2-MF1) / (M2 - M1)] [(ln M2/M1) / (ln MF2/MF1)]$  y  $AFE = [(SF2-SF1) / (MF2-MF1)] [(ln MF2/MF1) / (ln SF2/SF1)]$ , donde MF1 y MF2 son los pesos secos foliares al inicio y al final del período considerado y SF<sub>2</sub> y SF<sub>1</sub> la superficie total foliar inicial y final, respectivamente.

Además, se determinaron variables micorrízicas como la colonización de la raíz, intensidad (Trouvelot *et al.*, 1986) y número de esporas de HMA en el suelo (Herrera-Peraza *et al.*, 2004).

### Procedimiento estadístico

Se comprobó la normalidad y homogeneidad de las varianzas, según las pruebas de Kolmogorov-Smirnov, Cochran, Hartley y Bartlett. Posteriormente, se realizó un Análisis Factorial para determinar la interacción entre los factores (4x3), en caso de encontrar interacción se analizaron las mismas mediante la Prueba de Comparación de Rangos Múltiples de Duncan, referido por Cochran y Cox (1990) con  $p \leq 0,05\%$ , utilizando el programa estadístico IBM.SPSS.Statistics versión 22. Para la elaboración de los gráficos se utilizó el paquete estadístico SigmaPlot versión 11.0.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

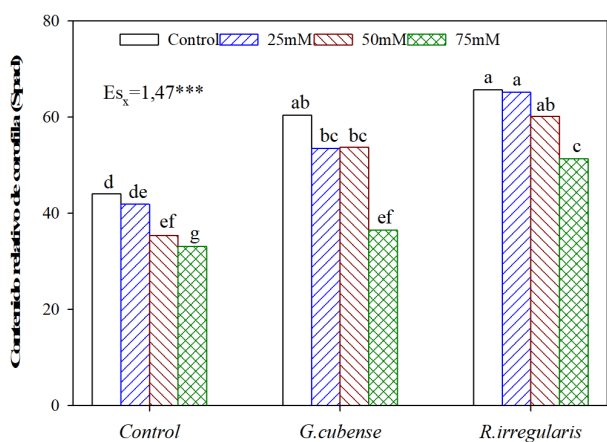
El análisis factorial arrojó que, en la mayoría de las variables de crecimiento y desarrollo evaluadas se encontró interacción entre los factores estudiados, lo que demuestra la eficiencia

de los HMA para mitigar el efecto negativo provocado por la salinidad en el cultivo del garbanzo.

### Variables de crecimiento y desarrollo

La salinidad inhibe severamente el crecimiento y desarrollo de las plantas. El efecto de la inoculación de los HMA en el contenido relativo de clorofila en el cultivo del garbanzo bajo el efecto de estrés salino se muestra en la [Figura 1](#).

El contenido relativo de clorofila, disminuyó significativamente con el incremento de la salinidad. Las plantas de los tratamientos controles y las crecidas con 25 mM de NaCl mostraron valores similares para cada condición de inoculación. También, de manera distintiva, las plantas inoculadas con *G. cubense* manifestaron valores estadísticamente superiores a los controles, pero inferiores a las inoculadas con *R. irregularis*. A 75 mM de NaCl se observó un decremento de esta variable, con valores superiores en el tratamiento con *R. irregularis*.



**Figura 1.** Contenido relativo de clorofila en hojas de plantas de garbanzo expuestas a diferentes concentraciones de NaCl e inoculadas con dos cepas de HMA (*G. cubense* y *R. irregularis*). Medias con letras iguales no difieren significativamente entre sí según la prueba de Rangos Múltiples de Duncan ( $p \leq 0, 05$ ),  $n=10$

Los resultados mostraron que la inoculación con *R. irregularis* aumentó el contenido de clorofila de las hojas cuando se compara con las plantas inoculadas con *G. cubense* y los controles. Sin embargo, en las hojas de las plantas sin micorrizar es más marcado el efecto, ya que se redujo significativamente el contenido clorofílico ( $P \leq 0.05$ ) al aumentar la concentración de NaCl.

[Parvin et al. \(2020\)](#) informaron un incremento del contenido de clorofilas en plantas de arroz (*O. sativa*) inoculadas con tres cepas de HMA, así como un decremento significativo de esta variable a medida que aumentaban las concentraciones salinas.

Esta disminución en la concentración de clorofila en plantas controles respecto a las micorrizadas puede estar relacionada con la senescencia observada en las hojas debido al estrés por NaCl, lo que ha sido relacionado con la acumulación de iones tóxicos ( $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$ ) o el agotamiento del  $\text{K}^+$  y el  $\text{Ca}^{2+}$  ([Evelin et al., 2019](#)). En el garbanzo también se ha observado esta respuesta con diferentes niveles de salinidad ([Navid, 2015](#); [Garg y Bharti, 2018](#)).

Se analizó además la efectividad de la inoculación micorrízica sobre algunos indicadores de crecimiento de la planta (la relación área foliar, área foliar específica y la biomasa total) expuestas a diferentes concentraciones salinas ([Tabla 2](#)).

Estos resultados arrojaron que el cultivo del garbanzo cuando se inocula con *R. irregularis* y *G. cubense*, logra mayores valores de superficie foliar que las plantas no inoculadas. Por otra parte, las plantas estresadas y micorrizadas con *G. cubense*, alcanzaron menor tamaño de la superficie foliar, con respecto, a los tratamientos estresados e inoculados con *R. irregularis*; sin embargo, sus valores fueron superiores a los tratamientos que no recibieron inoculación.

Las plantas crecidas a una concentración salina de 50 mM de NaCl e inoculadas con *R. irregularis*, mostraron resultados similares a los tratamientos control y a los no salinos micorrizados. Los valores más bajos de la relación área foliar se encontraron en las plantas no inoculadas en todas las concentraciones salinas impuestas, excepto aquellas plantas en tratamiento control. Las plantas estresadas sin inoculación, mostraron mayor número de hojas secas, amarillas y necróticas, trayendo consigo menor número de hojas totales, disminución en la actividad fotosintética y por ende menos superficie foliar.

En cuanto al área foliar específica no se apreció ningún efecto beneficioso por la micorrización ante las condiciones salinas impuestas, pues en este indicador no se muestran diferencias entre los tratamientos salinos y no salinos, inoculados y no inoculados.

**Tabla 2.** Relación área foliar, área foliar específica y biomasa total del cultivo del garbanzo inoculado con hongos micorrízicos arbusculares en condiciones salinas

Tratamientos	Relación Área Foliar (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	Área Foliar Específica (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	Biomasa Total (g)
Control	0,1515 bc	0,561 a	1,0033 bc
25 mM Sin HMA	0,1328 d	0,550 a	0,9217 cde
50 mM Sin HMA	0,1333 d	0,563 a	0,8133 fg
75 mM Sin HMA	0,1428 cd	0,538 a	0,6500 i
0 mM <i>G. cubense</i>	0,1637 a	0,558 a	0,9767 cd
25 mM <i>G. cubense</i>	0,1433 cd	0,574 a	0,8983 def
50 mM <i>G. cubense</i>	0,1437 cd	0,568 a	0,8550 ef
75 mM <i>G. cubense</i>	0,1380 d	0,571 a	0,6883 hi
0 mM <i>R. irregularis</i>	0,1698 a	0,574 a	1,1033 a
25 mM <i>R. irregularis</i>	0,1597 ab	0,562 a	1,0667 ab
50 mM <i>R. irregularis</i>	0,1697 a	0,570 a	0,9783 cd
75 mM <i>R. irregularis</i>	0,1433 cd	0,538 a	0,7567 gh
Ex <sub>s</sub>	0,002***	0,004 <sup>ns</sup>	0,018***

Medias con letras iguales no difieren según la prueba de comparación múltiple de Duncan ( $P \leq 0,05$ )  $n=10$

Una reducción del AFE se atribuye a una alteración en la estructura de la hoja, o bien al incremento en la concentración de nutrimentos o carbohidratos no estructurales en la misma (Newton, 1991); tal reducción, es el resultado de una incapacidad de la planta, para asignar estos compuestos en crecimiento estructural (Baxter *et al.*, 1994).

Se describe la biomasa total que resume el comportamiento de esta variable en los órganos de la planta. Los resultados confirman lo planteado anteriormente: 1) una disminución de esta variable tanto en las plantas controles como en las inoculadas con ambas cepas de HMA, de acuerdo al aumento de la concentración salina a partir de los 50 mM de NaCl; 2) el mejor comportamiento de los tratamientos con *R. irregularis* con valores significativamente mayores que los del tratamiento control sin sal; 3) la notable reducción de biomasa en los tratamientos a 75 mM de NaCl. Además, no se observaron diferencias significativas entre las plantas controles y las inoculadas con la cepa INCAM 4 (*G. cubense*) a las diferentes concentraciones de sal en estudio.

En las plantas de garbanzo crecidas en diferentes concentraciones salinas, similares a este estudio, se encontró que la biomasa de los órganos fue significativamente menor en las plantas estresadas sin inoculación con respecto a las plantas estresadas e inoculadas. Por su parte, Navid (2015) informó que la salinidad disminuyó significativamente la producción de biomasa en hojas y raíces de plantas de garbanzo,

tanto en genotipos susceptibles como tolerantes, sin embargo, este efecto pudo revertirse con la inoculación micorrízica, siendo superior este resultado en las plantas estresadas inoculadas.

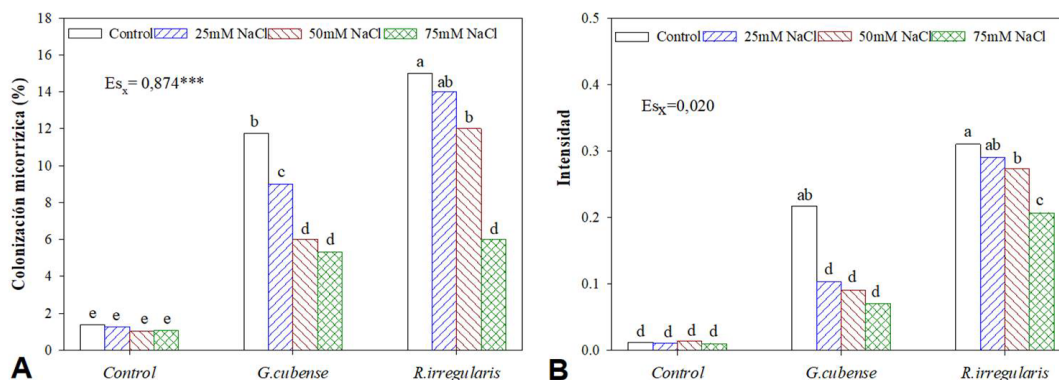
En estudios realizados por Bharti y Garg, (2019) encontraron que con el incremento de las concentraciones de NaCl, se afectó significativamente la producción de biomasa de las plantas de garbanzo, siendo el tratamiento inoculado el que presentó mayores valores en esta variable. Otros trabajos han informado que la exposición del garbanzo a altas concentraciones de salinidad produce severas afectaciones sobre la biomasa de la planta (Sweetman *et al.*, 2020).

Los resultados de este trabajo, se corresponden con los obtenidos por Acosta-Motos, *et al.* (2017), estos autores informaron que una alta concentración salina en las plantas reduce los valores de la tasa de asimilación neta y la relación área foliar, indicando afectaciones sobre la actividad fotosintética, la expansión foliar y los factores de crecimiento.

En la Figura 2, se observa el comportamiento de la colonización micorrízica y la intensidad en raíces de garbanzo sometido a diferentes concentraciones de NaCl hasta los 35 días de germinadas las semillas.

Tanto los valores de la colonización como los de intensidad micorrízica, fueron superiores en las plantas inoculadas con *R. irregularis* con respecto a las inoculadas con *G. cubense* (Figura 2), lo que sugiere la efectividad de inoculación de esta primera cepa para las condiciones de estudio.





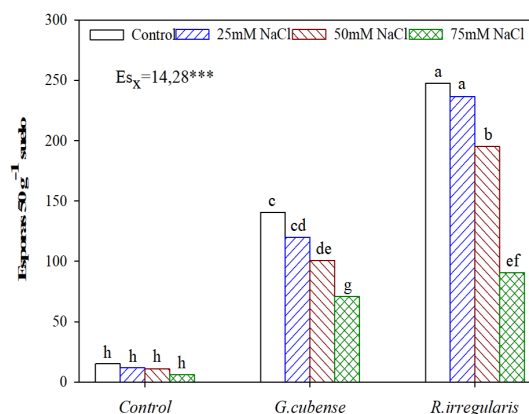
**Figura 2.** Colonización micorrizica de la raíz (A) e intensidad (B) en raíces de plantas de garbanzo crecidas en diferentes concentraciones de NaCl inoculadas con dos cepas de HMA, a los 35 días de sembradas. Medias con letras iguales no difieren significativamente entre sí según la prueba de Rangos Múltiples de Duncan ( $p \leq 0, 05$ ),  $n=3$

A 50 mM de NaCl se observó una disminución de estas variables en las plantas inoculadas con *R. irregularis* (Figura 2A y B), mientras que las plantas inoculadas con *G. cubense*, mostraron valores inferiores respecto a *R. irregularis*, acentuándose esa reducción al incrementarse la concentración de NaCl. No obstante, a concentraciones de 75 mM de NaCl el comportamiento fue distinto, pues la colonización micorrizica disminuyó en los tratamientos con ambas cepas sin diferencias significativas entre ellas (Figura 2A). En el caso de los controles sin inocular, los HMA residentes colonizaron por igual las raíces del garbanzo independientemente del estrés salino aplicado, aunque con valores inferiores al resto de los tratamientos (Figura 2A y B).

Estos resultados son coherentes con otras investigaciones en las que se encontró que el aumento de la concentración de sal en el suelo disminuye gradualmente la colonización micorrizica en la interacción *Trigonella foenum-graecum* - *Rhizophagus intraradices* (Evelin et al., 2013). Así mismo, Hashem et al. (2019) encontraron, además, que a 100 mM de NaCl, se inhibió la colonización micorrizica en plantas de soja.

Son numerosos los trabajos que demuestran incrementos superiores en la colonización de la raíz, así como en el crecimiento y la productividad de los cultivos, por la inoculación de la cepa INCAM 11 de *R. irregularis* en suelos con pH superiores a 7 (Simó et al., 2019; Simó et al., 2020; Rivera et al., 2020a; Rivera et al., 2020b; Rivera et al., 2023).

En la Figura 3 se muestra el número de esporas de HMA existente en el suelo donde crecieron las plantas de garbanzo. Se apreció correspondencia



**Figura 3.** Número de esporas en suelo donde crecieron las plantas de garbanzo con diferentes concentraciones de NaCl e inoculadas con dos cepas de HMA. Medias con letras iguales no difieren significativamente entre sí según la prueba de Rangos Múltiples de Duncan ( $p \leq 0, 05$ ),  $n=3$

entre estos resultados y el de las dos variables fúngicas antes descritas (Figura 2), lo cual confirma la efectividad positiva de la inoculación de *R. irregularis* en relación con *G. cubense*, resaltando su comportamiento a 50 mM de NaCl.

Se afectó negativamente el número de esporas de las cepas inoculadas al incrementarse la concentración de sal en el suelo. A 75 mM de NaCl no se observó diferencias entre los tratamientos inoculados. Cabe destacar que también se detectaron esporas residentes en el suelo no inoculado, lo cual puede estar relacionado con el comportamiento que se ha venido observando en las plantas sin inoculación.

Estudios realizados por Hashem et al. (2015) en *Panicum turgidum* Forsk demostraron que el número de esporas encontradas en el suelo disminuyó significativamente por la salinidad, en concordancia con los resultados obtenidos en este trabajo.

En el presente estudio la mayor colonización micorrízica de las plantas inoculadas con *R. irregularis* pudiera deberse a un mayor secuestro de Na<sup>+</sup> en las vacuolas y la retención en el micelio externo, lo que pudiera relacionarse con la efectividad que muestra este hongo en la protección de las plantas de garbanzo ante la toxicidad por Na<sup>+</sup>, lo que se evidencia en los resultados de las variables evaluadas.

Esta respuesta también pudiera estar dada por la adaptación de esta cepa a las condiciones del estudio, resaltando la fertilidad del suelo y su pH, que son factores estrechamente relacionados con el funcionamiento de los HMA, en particular con su establecimiento y eficiencia simbiótica (Rivera *et al.*, 2020a; Rivera *et al.*, 2020b). Los resultados encontrados en la interacción de las plantas de garbanzo cv. 'N-29' con las cepas de HMA evaluadas, evidencian que la concentración de NaCl de 25 mM no representó un estrés significativo y que 75 mM resultó un estrés severo para el sistema utilizado.

### CONCLUSIONES

- La inoculación micorrízica en el cultivo del garbanzo (*Cicer arietinum* L.) cv. N-29 en condiciones de salinidad mejora el crecimiento de las plantas, esto se manifiesta a través de un alto contenido clorofílico de las hojas, en la relación área foliar y en la producción de biomasa.
- La inoculación con la cepa INCAM 11 de *Rhizophagus irregularis* en el cultivo del garbanzo manifestó mejor respuesta que la cepa INCAM 4 de *Glomus cubense*, en condiciones de salinidad, mostrando su mayor efectividad a concentraciones de 50 mM de NaCl.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta-Motos, J.R.; Díaz-Vivancos, P.; Álvarez, S.; Fernández-García, N.; Sánchez-Blanco, M.J. y Hernández, J.A. (2015). Physiological and biochemical mechanisms of the ornamental *Eugenia myrtifolia* L. plants for coping with NaCl stress and recovery. *Plant* 2015, 242, 829–846. <http://dx.doi.org/10.1007/s00425-0152315-3>
- Acosta-Motos, J.R.; Ortuño, M.F.; Bernal-Vicente, A.; Diaz-Vivancos, P.; Sanchez-Blanco, M.J.; Hernandez, J.A. *Plant Responses to Salt Stress: Adaptive Mechanisms*. *Agronomy* 2017, 7, 18. <https://doi.org/10.3390/agronomy7010018>
- Apáez-Barrios, M.; Escalante, M.; Apáez, J. y Álvarez, J. (2020). Producción, crecimiento calidad nutrimental del garbanzo en función del nitrógeno y fósforo. *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas*, 11(6): 1273-1284. <http://dx.doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2226>.
- Baxter, R.; Ashenden, T.W.; Sparks, T.H. y Farrar, J.F. (1994). Effects of elevated carbon dioxide on three montane grass species. I. Growth and dry matter partitioning. *Journal Experimental Botanic* (45):305-315. <https://doi.org/10.1093/jxb/45.9.1267>
- Beadle, C. (1993). Growth analysis. In: Hall, D.O.; Scurlock, J.M.O.; Bolharnordenkampfh, R.; Leegood, R.C. y Long, S.P. (Eds.), *Photosynthesis and Production in Changing Environment. A Field and Laboratory Manual*, Chapman and Hall, London: 36-46. Disponible en: <http://www.springer.com/gp/book/97804124290>.
- Begum, N.; Qin, C.; Ahanger, M.A.; Raza, S.; Khan, M.I.; Ashraf, M.; Ahmed, N. y Zhang, L. (2019). Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: Implications in abiotic stress tolerance. *Front. Plant Sci.* 10:1068. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01068>
- Benami, M.; Isack, Y.; Grotsky, D.; Levy, D. y Kofman, Y. (2020). The economic potential of arbuscular mycorrhizal fungi in agriculture. In: Nevalainen H, editor. *Grand Challenges in Fungal Biotechnology. Grand Challenges in Biology and Biotechnology*. Springer, Cham; [https://doi.org/10.1007/978-3-030-29541-7\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-29541-7_9).
- Bharti, A. y Garg, N. (2019). SA and AM symbiosis modulate antioxidant defense mechanisms and asada pathway in chickpea genotypes under salt stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 178, 66–78. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.04.025>.
- Chandrasekaran, M.; Chanratana, M.; Kim, K.; Seshadri, S. y Sa, T. (2019). Impact of arbuscular mycorrhizal fungi on photosynthesis, water status, and gas exchange of plants under salt stress a meta-analysis. *Front. Plant Sci.* 10, 457. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00457>.
- Cochran, W. y Cox, G. (1990). *Diseños experimentales*. México Editorial Trellas.132,135



- Espinosa, A.; Rivera, R.; Ruiz, L.; Espinosa, E. y Lago, Y. (2019). Manejo de precedentes inoculados con HMA para micorrizar eficientemente el boniato (*Ipomoea batatas* L.) en sucesión. *Cultivos Tropicales*.40 (2) e03. ISSN impreso: 0258-5936. ISSN digital: 1819-4087
- Evelin, H.; Devi, T.S.; Gupta, S. y Kapoor, R. (2019). Mitigation of salinity stress in plants by arbuscular mycorrhizal symbiosis: Current Understanding and New Challenges. *Front. Plant Sci.* 10:470. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00470>.
- Evelin, H.; Giri, B.; Kapoor, R. (2013). Ultrastructural evidence for AMF mediated salt stress mitigation in *Trigonella foenum-graecum*. *Mycorrhiza* 23, 71–86. <https://doi.org/10.1007/s00572-012-0449-8>.
- FAO (2023). Cultivos y productos de ganadería. Oficinas de estudios y políticas agrarias. Ministerio de la agricultura. Disponible en: <http://fao.org/faostat/es>.
- FAOSTAT (2022). Legumbres: situación mundial y nacional. Oficinas de estudios y políticas agrarias. Ministerio de la agricultura. Disponible en: <http://faostat.fao.org/site>.
- Garg, N. y Bharti, A. (2018). Salicylic acid improves arbuscular mycorrhizal symbiosis, and chickpea growth and yield by modulating carbohydrate metabolism under salt stress. *Mycorrhiza* 28, 727–746. <https://doi.org/10.1007/s00572-018-0856-6>
- Hashem, A.; Abd\_Allah, E.F.; Alqarawi, A.A.; Aldubise, A. y Egamberdieva, D. (2015). Arbuscular mycorrhizal fungi enhances salinity tolerance of *Panicum turgidum* Forssk by altering photosynthetic and antioxidant pathways. *J. Plant Interact.* 10, 230–242. <https://doi.org/10.1080/17429145.2015.1052025>
- Hashem, A.; Abd\_Allah, E.F.; Alqarawi, A.A.; Wirth, S. y Egamberdieva, D. (2019). Comparing symbiotic performance and physiological responses of two soybean cultivars to arbuscular mycorrhizal fungi under salt stress. *Saudi J. Biol. Sci.* 26, 38–48. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.11.015>
- Hernández, J. A., Bosh, I. D., Pérez, J. J. M., Castro, S. N., (2015). Clasificación de los suelos de Cuba. Ediciones INCA, Cuba. ISBN: 978-959-7023-77-7
- Herrera-Peraza, R. A.; Furrázola, E.; Ferrer, R. L.; Valle, R. F. y Arias, Y. T. (2004). Functional strategies of root hairs and arbuscular mycorrhizae in an evergreen tropical forest, Sierra del Rosario, Cuba. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 35, 12.
- Hossain, S. (2019). Present scenario of global salt affected soils, its management and importance of salinity research. *International Research Journal of Biological Sciences* 1 (1): 1-3. ISSN: 2663-5968, e ISSN: 2663-5976
- Kotula, L.; Clode. P. L.; De La Cruz J. J. y Colmer, T. D. (2019). Salinity tolerance in chickpea is associated with the ability to 'exclude' Na from leaf mesophyll cells. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 70, No. 18 pp. 4991–5002. <https://doi.org/10.1093/jxb/erz241>
- León de la Rocha, J.F.; Sariol, D.M. y Juárez, J.A. (2019). Efecto de la fertilización nitrogenada y fechas de siembra en el cultivo de garbanzo (*Cicer arietinum* L.) en Tehuacán, Puebla, México. *Revista Científico Educativa de la provincia Granma, ROCA*, 15 (3). ISSN: 2074-0735
- Massa, N.; Cesaro, P.; Todeschini, V.; Capraro, J.; Scarafoni, A. y Cantamessa, S. (2020). Selected autochthonous rhizobia, applied in combination with AM fungi, improve seed quality of common bean cultivated in reduced fertilization condition. *Applied Soil Ecology*.148. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103507>.
- Navid B., (2015). Agronomic effectiveness of mycorrhizal *Cicer arietinum* L. plants on mechanism of proline in imparting protection, against NaCl stress. *Adv. Environ. Biol.*, 9(3), 286-298. ISSN-1995-0756
- Newton, P.C.D. (1991). Direct effects of increasing carbon dioxide on pasture plants and communities. *N.Z. J Agricultural Research*: (34):124. <https://doi.org/10.1080/0028823.1991.10417789>
- Nutan, K. K.; Kushwaha, H. R.; Singla-Pareek, S. L. y Pareek, A. (2017). Transcription dynamics of Saltol QTL localized genes encoding transcription factors reveals their differential regulation in contrasting genotypes of rice. *Functional & Integrative Genomics*, 17, 69–83.
- Parvin, S.; Van- Geel, M.; Yeasmin, T.; Verbruggen E. y Honnay. O. (2020). Effects of single and multiple species inocula of arbuscular mycorrhizal fungi on the salinity tolerance

- of a Bangladeshi rice (*Oryza sativa* L.) cultivar. *Mycorrhiza* (2020) 30:431–444. <https://doi.org/10.1007/s00572-020-00957-9>
- Pushpavalli, R.; Berger, J.D.; Turner, N.C.; Siddique, K.H.M.; Colmer, T.D. y Vadez, V. (2020). Cross-tolerance for drought, heat and salinity stresses in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *J Agro Crop Sci.* 00:1–15. <https://doi.org/10.1111/jac.12393>
- Rivera E.; González C.; Ruiz M.; Martín A.; Cabrera R.; (2023). Capítulo 4 Strategic Combination of Mycorrhizal Inoculants, Fertilizers and Green Manures Improve Crop Productivity. Review of Cuban Research. En: *New Research on Mycorrhizal Fungus*, NOVA Science Publisher. 208 p. <https://doi.org/10.52305/GLXN2905>
- Rivera, R.; Fernández, F.; Ruíz, L.; González, P.J.; Rodríguez, Y.; Pérez, E., *et al.* (2020a). Manejo, integración y beneficios del biofertilizante micorrízico EcoMic® en la producción agrícola. 1st ed. Mayabeque, Cuba: Ediciones INCA. 151 p. ISBN 978-959-7258-05-06.
- Rivera, R.; Martín, G.M.; Simó, J.E.; Pentón, G.; García-Rubido, M.; Ramírez, J., *et al.* (2020b). Benefits of joint management of green manure and mycorrhizal inoculants in crop production. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23(3), Article 97. <https://doi.org/10.56369/tsaes.2882>
- Rivero, J.; Alvarez, D.; Flors, V.; Azcon-Aguilar, C. y Pozo, M. J. (2018). Root metabolic plasticity underlies functional diversity in mycorrhiza-enhanced stress tolerance in tomato. *New Phytologist*. 220: 1322–1336. <https://doi.org/10.1111/nph.15295>
- Rodríguez, Y.; Dalpé, Y.; Séguin, S.; Fernández, K.; Fernández, F. y Rivera, R. A. (2011). *Glomus cubense* sp. nov., an arbuscular mycorrhizal fungus from Cuba. *Mycotaxon*, 118, 337-347. <https://doi.org/10.5248/118.337>
- Shagarodsky, T.; Veitia, M. y Cabrera, M. (2021). Manual para el manejo y producción sostenible del cultivo del garbanzo (*Cicer arietinum* L.) en Cuba, 67 pp. ISBN 978-959-7223-32-0
- Sieverding, E.; da Silva, G. A.; Berndt, R. y Oehl, F. (2014). *Rhizoglossum*, a new genus of the *Glomeraceae*. *Mycotaxon*. Volume 129(2), pp. 373–386. <https://doi.org/10.5248/129.373>
- Simó, J.; Rivera, R.; Ruiz, L. y Martín, G. (2020). The integration of AMF inoculants, Green manure and organo-mineral fertilization, in banana plantations on Calcic Haplic Phaeozems. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 23#08. <https://doi.org/10.56369/tsaes.2882>
- Simó, J.E.; Rivera-Espinosa, R.; Ruiz-Martínez, L.A.; Díaz-Roche, G. y Ruiz-Sánchez, M. (2019). Effectiveness of arbuscular mycorrhizal fungi inoculated on *Canavalia ensiformis* L.in Calcaric Histosol soils. *Agron. Mesoam.* 395–405. <https://doi.org/10.15517/am.v30i2.33221>
- Sweetman, C.; Khassanova, G.; Miller, T. K.; Booth, N. J.; Kurishbayev A.; Jatayev S.; Gupta N. K.; Langridge P.; Jenkin C.L.D.; Soole K. L.; Day D. A. y Shavrukov Y. (2020). Salt-induced expression of intracellular vesicle trafficking genes, CaRab GTP, and their association with Na<sup>+</sup> accumulation in leaves of chickpea (*Cicer arietinum* L.) *BMC Plant Biology* 2020, 20(Suppl 1):183 <https://doi.org/10.1186/s12870-020-023315>.
- Trouvelot, A.; Kough, J.L. y Gianinazzi-Pearson, V. (1986). Mesure du taux de mycorhization VA d'un système racinaire. Recherche de méthodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. In: *Physiological and Genetical Aspects of Mycorrhizae*, V. Gianinazzi-Pearson and S. Gianinazzi (eds.). INRA Press, Paris, pp. 217-221.

