

**Efecto del NaCl y micorrizas (*Rhizophagus irregularis*) en el crecimiento de “tomate” *Solanum lycopersicum* L. (Solanaceae)**

**Effect of NaCl and mycorrhizae (*Rhizophagus irregularis*) on the growth of “tomato” *Solanum lycopersicum* L. (Solanaceae)**

***Cynthia Catheryne Ramos Otiniano***

Escuela de Medicina Humana, Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, PERÚ  
[cynthiaramosotiniano@gmail.com](mailto:cynthiaramosotiniano@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0003-1739-634X>

***José Ernesto Manuel Hidalgo Rodríguez***

Escuela de Medicina Humana, Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, PERÚ  
[jemhidalgor@gmail.com](mailto:jemhidalgor@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0002-6595-0037>

***Miguel Ángel Vera Vega***

PIPs en Cereales y Granos Nativos, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, PERÚ  
[miguelangelveravega001@gmail.com](mailto:miguelangelveravega001@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0002-6870-5926>

***Juan Javier Pedro Huaman***

Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, PERÚ  
[bio.juphu@gmail.com](mailto:bio.juphu@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0001-6230-3670>

***Carmen Emilia Rodríguez Seminario***

Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, PERÚ  
[carodriguezs@unitru.edu.pe](mailto:carodriguezs@unitru.edu.pe)  
<https://orcid.org/0000-0003-2524-5509>

***Mercedes Elizabeth Chaman Medina***

Laboratorio de Fisiología Vegetal, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, PERÚ  
[elizchm@yahoo.com](mailto:elizchm@yahoo.com)  
<https://orcid.org/0000-0001-8621-375X>

## Resumen

El “tomate” *Solanum lycopersicum* L. (Solanaceae) es una hortaliza que presenta una alta demanda de consumo. Sin embargo, es susceptible a la salinidad, que ocasiona reducción en el crecimiento, y desarrollo de este cultivo. Una de las prácticas agronómicas destinadas a contrarrestar el estrés por salinidad es la aplicación de hongos formadores de micorrizas. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de NaCl y *Rhizophagus irregularis* sobre el crecimiento de plántulas de tomate en condiciones de invernadero. Para ello, se trataron plántulas de tomate con tres concentraciones de inóculo (0; 1.5; 3g) y para luego ser sometidas a tres concentraciones de NaCl (0, 100 y 200mM), por 30 días, tras lo cual se evaluaron las variables de crecimiento. Los resultados muestran que los tratamientos indujeron diferencias estadísticamente significativas en las variables de crecimiento. Los niveles crecientes de salinidad indujeron reducción de todas las variables, excepto la longitud de raíz. En tanto que la cantidad de inóculo originó incremento en la longitud de tallo, el número de hojas, el número de entrenudos, el diámetro de tallo, el peso fresco de tallo y raíz. La inoculación con micorrizas ocasionó una reducción en la disminución de crecimiento ocasionada por la salinidad.

**Palabras clave:** *Rhizophagus irregularis*, micorrizas, *Solanum lycopersicum*, salinidad, crecimiento.

## Abstract

“Tomato” *Solanum lycopersicum* L. (Solanaceae) is a vegetable with a high demand for human consumption. However, it is susceptible to salinity, which causes reduction in growth and development in this crop. One of the agronomical practices that alleviates salt stress is inoculation with mycorrhizal fungi. The objective of this research was to determine the effect of NaCl and *Rhizophagus irregularis* on the growth of tomato under greenhouse conditions. For that purpose, tomato plantlets were treated with three inoculum concentrations (0; 1.5; 3g) and then submitted to three NaCl concentrations (0, 100 y 200mM) for 30 days. Then the growth variables were evaluated. Results show that treatments induced significant differences in tomato growth. Increasing levels of salinity induced reduction of all variables measured with the exception of root length. Meanwhile, inoculum concentrations induced growth on stem length, stem diameter, number of leaves, number of internodes, stem fresh weight and root fresh weight. Inoculation with mycorrhiza induced a reduction in the growth arrest caused by salinity.

**Keywords:** *Rhizophagus irregularis*, mycorrhiza, *Solanum lycopersicum*, salinity, growth.

**Citación:** Ramos, C.; J. Hidalgo; M. Vera; J. Pedro; C. Rodríguez & M. Chamán. 2021. Efecto del NaCl y micorrizas (*Rhizophagus irregularis*) en el crecimiento de “tomate” *Solanum lycopersicum* L. (Solanaceae). *Arnaldoa* 28(3): 675-692 doi: <http://doi.org/10.22497/arnaldoa.283.28312>

## Introducción

En muchas áreas del mundo dedicadas a la agricultura y a la obtención de buenos rendimientos, además de poder cultivar una amplia variedad de especies, cada vez está teniendo más restricciones debido a la salinidad de los suelos (Goykovic & Saavedra, 2007). La salinidad engloba distintos procesos. Se puede distinguir la salinidad primaria o natural, debida a cambios climáticos,

cambios geomorfológicos de sedimentación o erosión, o cambios en la hidrología superficial y subterránea; y la salinidad secundaria, debida principalmente al exceso de riego sin la instalación de sistemas de drenaje adecuados, o la sobreexplotación de los acuíferos (Camejo *et al.*, 2000; Belinchón, 2020).

La salinidad, por lo tanto, es un estrés abiótico complejo que simultáneamente

presenta componentes osmóticos e iónicos (Dell’Amico & Parra, 2005; Sam *et al.*, 2003). Por ello, una concentración elevada de sales en el medio radical afecta negativamente el desarrollo de la planta, debido fundamentalmente a los efectos hiperosmóticos e hiperiónicos del estrés (Yeo, 1998). Además del componente hiperosmótico y oxidativo, también aparece un componente de toxicidad iónica, debida a la elevada concentración de elementos (Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>), que pueden interferir con el metabolismo celular (Amini *et al.*, 2007; Belinchón, 2020). Así, el aumento de Na<sup>+</sup> inhibe la absorción de otros nutrientes al interferir con varios transportadores de membrana, como los canales selectivos de iones K<sup>+</sup> (Farooq *et al.*, 2017). En consecuencia, estos estreses abióticos producen diversos efectos, desde la reducción del crecimiento y la turgencia, hasta la pérdida de la estructura celular por inhibición de la actividad enzimática y el desequilibrio de las membranas (Gallaharsh *et al.*, 2020; Vijayan, 2009).

A nivel mundial un bajo número de hortalizas presentan una alta demanda de consumo. Un cultivo representativo es el “tomate” (*S. lycopersicum* L.), su importancia radica en sus cualidades para integrarse en la preparación de alimentos (Higinio *et al.*, 2014; Mujica *et al.*, 2014). Las plantas de tomate que crecen en condiciones salinas, presentan disminución en la capacidad fotosintética (Fita *et al.*, 2015), frutos de menor tamaño y peso (Saldaña *et al.*, 2017) y se producen alteraciones en la síntesis de proteínas por modificaciones en la expresión de genes, como consecuencia de los excesos de sal (Fita *et al.*, 2015). Cuando se somete el cultivo de tomate a condiciones salinas, las plantas pueden alcanzar alturas menores, disminución en el número de hojas y menor

área foliar (Goykovic & Saavedra, 2007).

Para atenuar el efecto adverso de las sales en el desarrollo del cultivo del tomate existe una serie de prácticas agronómicas posibles de implementar, tales como la inoculación con micorrizas (Martínez *et al.*, 2004; Goykovic & Saavedra, 2007). El principal aporte de la simbiosis a la tolerancia al estrés salino es su participación en la disminución de la toxicidad iónica (Belinchón, 2020). En este sentido, la existencia de transportadores que previenen la entrada de Na<sup>+</sup> en la raíz, su exportación al exterior celular, y su compartimentación en la vacuola son esenciales (Chávez & González, 2009). Asimismo, diversos estudios han demostrado que la simbiosis en plantas sometidas a estrés salino participa en una mayor absorción de nutrientes, cambios en la acumulación de compuestos osmorreguladores, una mejora en las relaciones hídricas, o un aumento en la tasa fotosintética (Porcel *et al.*, 2012; Torres *et al.*, 2019; Soria-Colunga *et al.*, 2010). Además, hay estudios que demuestran que las plantas sometidas a estrés salino e inoculadas con hongos micorrízicos arbusculares presentan un incremento significativo en la cantidad de biomasa y producción de fruto (Hidalgo *et al.*, 2019; Abdel-Farid *et al.*, 2020; Hegazi *et al.*, 2017; Mohammad & Mittra, 2013). En relación a lo expuesto, el objetivo general de la investigación fue determinar el efecto de NaCl y *R. irregularis* sobre el crecimiento de plántulas de tomate (*S. lycopersicum* L.) en condiciones de invernadero.

## Materiales y métodos

### a) Material biológico

El trabajo fue realizado en el Invernadero del Jardín Botánico de la Universidad Nacional de Trujillo.

Para el estudio se utilizaron plántulas de tomate (*S. lycopersicum* L.) var. Río Grande de 15 días de germinadas obtenidas a partir de semillas certificadas, las cuales fueron colocadas en un sistema de germinación que consistió en recipientes de tecnopor con papel toalla absorbente como base.

La micorrización se realizó utilizando el inóculo de *R. irregularis*, el cual se obtuvo del producto comercial AEGIS Micro Gránulo, donado por la empresa ATENS Agrotecnologías Naturales, S.L. Tarragona, España (100 esporas/g).

### b) Tratamientos

Se seleccionaron 90 plántulas, las cuales fueron distribuidas aleatoriamente en 9 grupos. El sustrato estaba constituido por arena de río y musgo. La arena de río fue cernida con un tamiz para homogeneizar su textura, después fue lavada con agua corriente por 8 horas para eliminar impurezas, tras lo cual se esterilizó en

la estufa a 200° C, durante 3 horas, para eliminar los agentes patógenos. Luego, la arena fue mezclada con el musgo en proporción 1:1. El sustrato obtenido fue colocado en recipientes de polietileno de 1000 ml de capacidad.

Para realizar la inoculación, en los recipientes con sustrato se hizo un orificio de aproximadamente 3 cm de diámetro, para recibir a las plántulas. A continuación, se agregó a dicho orificio el inóculo de *R. irregularis*, de manera que las raíces estuvieron en contacto con el Hongo Micorrizico Arbuscular (HMA), según cada tratamiento (Cuadro 1).

Bajo condiciones de invernadero a una temperatura promedio de  $25 \pm 2^\circ\text{C}$  y humedad relativa de  $75 \pm 2\%$ , las plantas crecieron por 15 días y fueron regadas con la solución nutritiva La Molina de 2 a 3 veces por semana. Transcurrido ese tiempo, las plantas fueron sometidas a estrés salino, para lo cual éstas fueron regadas con solución nutritiva y NaCl que generen concentraciones de 0, 100 y 200 mM por un periodo de 30 días, tal como se indica en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Tratamientos según cantidades de inóculo (g) de *R. irregularis* y concentraciones de NaCl (mM).

NaCl (mM)	Cantidad de inóculo (g)		
	0	1.5	3
0	T1	T4	T7
100	T2	T5	T8
200	T3	T6	T9

### c) Variables evaluadas

Después de 30 días de tratamiento, las plantas fueron evaluadas para determinar la longitud de tallo y de raíz, número de hojas frescas y hojas marchitas, número de entrenudos, diámetro del tallo, peso fresco de tallo y de raíz.

#### Longitud de tallo

Se determinó considerando la distancia entre el cuello y la yema apical de la planta, utilizando una regla milimetrada de 60 cm.

#### Longitud de raíz

Se determinó la longitud de raíz teniendo en cuenta la medida desde el cuello de la planta hasta el ápice de la raíz principal, utilizando una regla milimetrada de 60 cm.

#### Número de hojas frescas y hojas marchitas

Para evaluar el número de hojas frescas y marchitas, se realizó el conteo directo de las mismas.

#### Diámetro de tallo

El diámetro se midió en la parte media de este órgano, utilizando un Vernier de 0.05 mm de precisión.

#### Peso fresco

El peso fresco se determinó en tallo y raíz. Estos órganos fueron separados a la altura del cuello y ambos fueron inmediatamente pesados en una balanza analítica.

### d) Análisis de datos

Una vez obtenidos los resultados, fueron ordenados en tablas y gráficos y se analizaron estadísticamente, para determinar si existen diferencias significativas entre tratamientos, mediante el análisis de varianza y la prueba de comparación múltiple Tukey HSD.

## Resultados

Los resultados muestran que los tratamientos indujeron diferencias estadísticamente significativas en las variables de crecimiento tomadas en cuenta en este trabajo. En efecto, al observar los efectos principales de los factores NaCl y cantidad de inóculo, se observan diferencias con respecto a longitud de tallo, número de hojas, número de entrenudos, diámetro de tallo, peso fresco de tallo y peso fresco de raíz. Con respecto a salinidad, las diferencias observadas incluyen una reducción de las diferentes variables a medida que la salinidad se incrementó, salvo la longitud de raíz, tal como se puede observar en la tabla 1. En tanto que la cantidad de inóculo mostró un efecto variable, incrementando la longitud de tallo, el número de hojas, el número de entrenudos, el diámetro de tallo, el peso fresco de tallo y el peso fresco de raíz. Asimismo, se observó la presencia de interacción entre el factor cantidad de inóculo y salinidad en las variables de longitud de tallo, número de entrenudos, diámetro de tallo y peso fresco de tallo.

**Tabla 1:** Resultados de las variables de crecimiento y ANOVA de efectos principales según factores en *Solanum lycopersicum* L. tratado con 0, 100 y 200 mM de NaCl y con 0, 1.5 y 3 g de inóculo de *Rhizophagus irregularis*.

Fuente de variación	Longitud del tallo (cm)	Longitud de raíz (cm)	Nº de hojas (F)	Nº de hojas (S)	Nº de entrenudos	Diámetro del tallo (mm)	Peso fresco del tallo (g)	Peso fresco de la raíz (gr)
A: NaCl (mM)								
0	81.25 <sup>a</sup>	25.54 <sup>a</sup>	8.23 <sup>a</sup>	4.27 <sup>a</sup>	11.53 <sup>a</sup>	5.97 <sup>a</sup>	47.34 <sup>a</sup>	7.76 <sup>a</sup>
100	67.20 <sup>b</sup>	25.60 <sup>a</sup>	6.80 <sup>b</sup>	4.33 <sup>a</sup>	10.07 <sup>b</sup>	5.45 <sup>b</sup>	37.09 <sup>b</sup>	5.71 <sup>b</sup>
200	52.24 <sup>c</sup>	24.59 <sup>a</sup>	6.27 <sup>c</sup>	3.37 <sup>b</sup>	8.67 <sup>c</sup>	5.14 <sup>c</sup>	26.09 <sup>c</sup>	4.06 <sup>c</sup>
B: Inóculo (g)								
0	63.04 <sup>c</sup>	24.71 <sup>a</sup>	6.50 <sup>c</sup>	3.53 <sup>b</sup>	9.07 <sup>c</sup>	4.88 <sup>c</sup>	34.54 <sup>b</sup>	5.18 <sup>b</sup>
1.5	67.44 <sup>b</sup>	24.81 <sup>a</sup>	7.10 <sup>b</sup>	4.17 <sup>a</sup>	10.27 <sup>b</sup>	5.55 <sup>b</sup>	36.12 <sup>b</sup>	6.01 <sup>a</sup>
3.0	70.21 <sup>a</sup>	26.22 <sup>a</sup>	7.70 <sup>c</sup>	4.27 <sup>a</sup>	10.93 <sup>a</sup>	6.13 <sup>a</sup>	39.86 <sup>a</sup>	6.32 <sup>a</sup>
ANOVA								
A	****	ns	****	****	****	****	****	****
B	****	ns	****	****	****	****	****	***
AB	****	ns	ns	ns	**	****	****	ns
CV (%)	6.21	12.56	10.49	16.17	7.10	5.96	8.72	21.03

El “tomate” var. río grande fue sometido por 30 días a estrés salino mediante diferentes concentraciones de NaCl, mostrando diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en la longitud de tallo. En donde las plantas inoculadas con 3 g de HMA *R. irregularis* libre de NaCl se obtuvo una longitud de tallo promedio de 91 cm (Fig. 1a). Mientras las plantas sometidas a la dosis de 200 mM de NaCl e inoculadas con 1.5 y 3 g de HMA *R. irregularis* mostraron un aumento del valor de la longitud del tallo de 56 y 54 cm respectivamente. A pesar de tener resultados satisfactorios en las plantas inoculadas y sometidas a 200 mM, el estrés salino logró afectarlas, disminuyendo el valor de la variable en estudio por debajo del tratamiento T1 (Fig. 1a). Por otro lado, la cantidad de inóculo de HMA *R. irregularis* no afectó la longitud de la raíz bajo las diferentes concentraciones de NaCl.

Pese a no haber significancia, se obtuvo una mayor longitud de raíz con la inoculación de 3 g de HMA *R. irregularis* dentro de las concentraciones de 100 y 200 mM de NaCl, cuyos valores fueron de 27 cm para ambos tratamientos (Fig. 1b). En relación al número de hojas, se puede observar que existen diferencias significativas entre los tratamientos (Fig. 1c). En el cual, las plantas inoculadas con 3 g de HMA *R. irregularis* y sometidas a las concentraciones de 0, 100 y 200 mM de NaCl presentaron valores de 9, 7.4 y 6.7 hojas por planta. Sin embargo, estos datos nos reflejan una posible relación inversa entre el número de hojas con la concentración de NaCl y directa entre la cantidad de inóculo de HMA *R. irregularis* y el número de hojas (Fig. 1c). Por otro lado, las plantas sometidas a diferentes cantidades de inóculos bajo distintas concentraciones de NaCl no mostraron

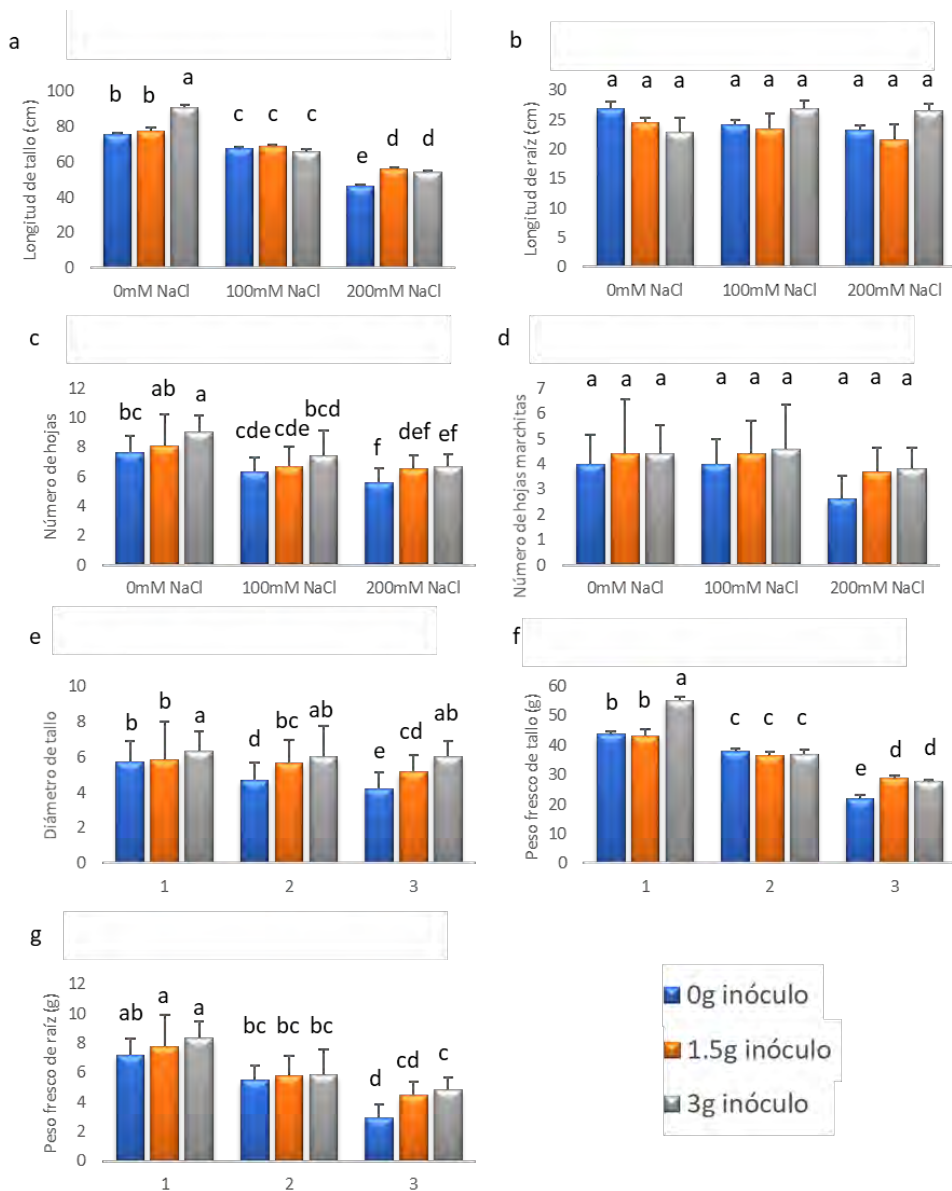
diferencias significativas en el número de hojas marchitas (Fig. 1d).

Las plantas de "tomate" *S. lycopersicum* L. var. Río Grande expuestas a estrés salino mediante la aplicación de diferentes concentraciones de NaCl durante 30 días, previamente inoculadas con el HMA *R. irregularis*, evidenciaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) con respecto al diámetro de tallo promedio. En la concentración de 0 mM de NaCl se observó el aumento en el valor del diámetro de tallo al utilizar 3 gramos de inóculo con un valor de 6.335 cm con respecto al de 0 y 1.5 g con valores de 5.73 y 5.85 cm, respectivamente. Para la concentración de 100 mM de NaCl, las plantas tratadas con 1.5 y 3 gramos de inóculo mostraron un mayor valor de diámetro de tallo (5.625 y 6.005 cm, respectivamente) en comparación con las no inoculadas (4.705 cm.). De la misma forma, a la concentración de 200 mM de NaCl se manifiesta un incremento en el valor de la variable de estudio a medida que el inóculo va aumentando (4.21, 5.16 y 6.035 cm. para los tratamientos de 0, 1.5 y 3 gramos de inóculo respectivamente). Cabe recalcar que los tratamientos en los cuales se utilizaron 3 gramos de inóculo (Fig. 5), bajo condiciones de estrés salino no presentaron diferencias significativas.

Las plantas de tomate *S. lycopersicum* L. var. Río Grande han sido sometidas a estrés salino mediante la aplicación de diferentes concentraciones de NaCl durante 30 días, previamente inoculadas con el HMA *R. irregularis*, mostrando diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) con respecto al peso fresco de tallo promedio (Fig. 6). Para la concentración de 0 mM de NaCl se observa que aumentó el valor del peso fresco de tallo al utilizar 3 gramos de inóculo con un valor de 55.232 gramos con respecto al de 0 y 1.5 gramos con valores de

43.678 y 43.124 gramos respectivamente. A la concentración de 100 mM de NaCl, las plantas tratadas con 0, 1.5 y 3 gramos de inóculo no mostraron diferencias significativas con valores de 37.926, 36.516 y 36.814 gramos respectivamente. Por otra parte, en la concentración de 200 mM de NaCl, para los valores de 1.5 y 3 gramos de inóculo se observó un mayor peso fresco de tallo (28.729 y 27.533 gramos respectivamente) en comparación a las que no recibieron micorrizas (22.012 gramos). Sin embargo, a pesar de agregar inóculo a las plantas, el estrés salino logró afectarlas (Fig. 6) disminuyendo el valor de la variable de estudio.

Las plantas de "tomate" *S. lycopersicum* L. var. Río Grande inoculadas con el HMA *R. irregularis*, fueron sometidas a estrés salino mediante la aplicación de diferentes concentraciones de NaCl durante 30 días presentando diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), con respecto al peso fresco de raíz promedio (g) (Fig. 7). Para los tratamientos de 1.5 y 3 gramos de inóculo se denota un incremento en la variable de estudio (7.77 y 8.316 gramos respectivamente) con respecto al de 0 gramos (7.18 gramos) para la concentración de 0 mM de NaCl. En cambio, las plantas tratadas con 0, 1.5 y 3 gramos de inóculo no mostraron diferencias significativas para la concentración de 100 mM de NaCl con valores de 5.478, 5.816 y 5.834 gramos respectivamente, por lo que no se manifiesta una mejoría con la aplicación de las micorrizas. Por último, para los valores de 0 y 3 gramos de inóculo se encontró diferencias significativas a una concentración de 200 mM de NaCl con valores de 2.894 y 4.824 gramos respectivamente, lo que demuestra una mejoría al aplicar *R. irregularis*.



**Fig. 1.** Variables de crecimiento de *Solanum lycopersicum* L. tratado con 0, 100 y 200 mM de NaCl y con 0, 1.5 y 3 g de inóculo de *Rhizophagus irregularis*. a) Longitud de tallo. b) Longitud de raíz. c) Número de hojas. d) Número de hojas marchitas. e) Diámetro de tallo. f) Peso fresco de tallo. g) Peso fresco de raíz. Las letras diferentes (a, b, c y d) indican diferencias significativas; barras verticales indican el error estándar.



## Discusión

En el “tomate” var. Río Grande, la concentración de NaCl afectó la longitud del tallo (Fig. 1a), observándose una reducción del tamaño a medida que se incrementa la concentración de NaCl (Abdel-Farid 2020). Esta disminución en el tamaño fue provocada principalmente por el desbalance nutricional ocasionado por una alta concentración y afinidad del ion  $\text{Na}^+$  por las proteínas transportadoras de nutrientes ubicadas en la raíz (Hammer *et al.* 2011). Sin embargo, las plantas inoculadas con HMA *R. irregularis* y sometidas a la concentración de 200 mM de NaCl mostraron una mejor resiliencia (Chao 2006). Bajo condiciones salinas, este mismo comportamiento se observó en *Trigonella foenum-graecum* al ser inoculada con *Glomus intraradices* (Evelin *et al.* 2012) y con *Glomus irradicans* en el cultivo de pimiento (Hegazi *et al.* 2017). La habilidad de tomar el ion  $\text{Na}^+$  por *R. irregularis* y la capacidad de la planta por mantener los niveles bajos en  $\text{Na}^+$  dentro del citoplasma de las células del tallo, facilitan la osmoregulación de nutrientes del tallo a las hojas (Hammer *et al.* 2011). A pesar que el NaCl modifica el fenotipado de la raíz a través de la limitación de la homeostasis hídrica y iónica (Dell’Amico & Parra 2005), la longitud de raíz de la var. Río Grande no estuvo afectado por la concentración de esta sal y la adición de inóculo de *R. irregularis* no favoreció a este rasgo morfológico (Fig. 1b). Este comportamiento se debe principalmente a una baja selectividad de los transportadores de la membrana plasmática de la raíz por el  $\text{Na}^+$  en concentraciones altas de NaCl (Goykovic *et al.* 2007). Por el contrario, el número de hojas disminuyó en consecuencia al incremento de la salinidad (Goykovic *et al.* 2007). Pese a ello, la aplicación de *R. irregularis* aumentó el número de hojas

dentro de cada concentración de NaCl (Fig. 1c). Siendo similar a lo reportado en el cultivo de pimiento, en el cual, *Glomus irradicans* incrementó el número de hojas bajo una concentración de 25 mM de NaCl (Hegazi *et al.* 2017). Esto puede deberse a la fuerte selectividad que tiene *R. irregularis* por el  $\text{Na}^+$ , permitiendo la adquisición de  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{K}^+$  por las raíces de tomate. El incremento de estos iones en las hojas mejora la estabilidad e integridad de la membrana celular, permitiendo el acceso y uso inmediato de los iones en procesos fisiológicos de vital importancia como la fotosíntesis y con ello permitir el crecimiento continuo y el aumento de las hojas bajo estrés salino (Hegazi *et al.* 2017). Por otra parte, el número de hojas secas no fue afectado por el contenido de inóculo y las concentraciones de NaCl. Por el cual, el cv. Río Grande manifestó tolerancia frente al estrés salino sometido (Ghanem *et al.* 2008).

La inoculación de HMA con *R. irregularis* aumentó los valores obtenidos del diámetro de tallo; estudios relacionados hacen mención que con el uso de micorrizas en plantas expuestas a NaCl se obtiene un mayor grosor en tallo debido a una mejor tolerancia a la sal, a comparación de plantas no inoculadas con hongos micorrízicos arbusculares (Wu *et al.*, 2010). De igual manera, Zulueta *et al.* (2020) reportan un aumento satisfactorio en el diámetro del tallo cuando se le inocula con HMA. Además, Díaz *et al.* (2016) hace mención que la concentración salina elevada impacta negativamente, de manera que la variable a estudiar decrece, pero el efecto de la micorriza favorece el crecimiento de diámetro de tallo. Según Ley *et al.* (2015) manifestó una influencia positiva por parte de las micorrizas en el desarrollo del grosor del tallo de la planta.

En contraste, Zhang *et al.* (2016) indica que al emplear HMA se muestra un aumento significativo en la variable anteriormente mencionada. Esto ocurrió independientemente de si hubo o no estrés salino, siendo en esta última condición donde se presentó un menor porcentaje de crecimiento, por lo que se puede inferir que la mejora inducida por la micorriza no está asociada al nivel de salinidad del suelo.

Los resultados obtenidos para el peso fresco del tallo de *S. lycopersicum* var. Río Grande evidencian que las micorrizas son capaces de incrementar su valor, demostrando nuevamente la capacidad promotora del crecimiento de dichos microorganismos, lo cual coincide con los resultados obtenidos en la investigación de Agüero (2018) para la *Ocimum basilicum* "albahaca", aunque utilizando otra especie de HMA (*Glomus* spp.), sin embargo, esto no logró atenuar el marcado efecto en la disminución con respecto al tratamiento de 0 mM, esto último se puede deber a que la salinidad puede influir sobre múltiples fenómenos biológicos relacionados con el crecimiento vegetal como la fotosíntesis, absorción de iones, actividad de ácidos nucleicos entre otros. Esto a su vez coincide con lo encontrado en la investigación de Díaz-Franco en el 2016 para *Sorghum* en condiciones de estrés salino, esto se puede deber a que las micorrizas ayudan en la captación de nutrientes como parte de su asociación. Adicionalmente, Mendez (2017) reportó que, para *S. tuberosum*, en condiciones de invernadero la inoculación de micorrizas ayudó a promover el desarrollo de la parte aérea de las plantas.

Las plantas inoculadas con *R. irregularis* de *S. lycopersicum* var. Río Grande, presentaron un incremento con respecto al promedio del peso fresco de raíz, en contraste con las plantas que no recibieron

las HMA. Esto coincide con lo reportado por Díaz-Franco (2016) para el mismo parámetro, lo cual se puede atribuir a la mejora en los sistemas de absorción de nutrientes, desencadenando una activación de mecanismos fisiológicos que estaban bloqueados por las condiciones de salinidad elevada. De igual manera, esta mejora también se observó en la investigación de Agüero (2018), en *O. basilicum* "albahaca" inoculadas con micorrizas y sometidas a estrés salino. De la misma forma, en la investigación de Mendez (2017) se obtuvieron resultados similares con *S. tuberosum* "papa". Esto a su vez coincide con los hallazgos reportados por Toala en el 2021 para especies arbusculares. En contraste, Agüero *et al.* (2018) encontró una disminución, en la variable de estudio anteriormente mencionada, para la albahaca bajo condiciones de estrés salino inoculadas con HMA *R. fasciculatum*. Esto resulta ser contradictorio con lo descrito en las otras investigaciones, por lo cual se requiere considerar que la variación de especies de micorrizas puede ocasionar diferentes resultados en los parámetros morfométricos.

Por lo tanto, la salinidad ha sido un problema para el desarrollo de diferentes cultivos de interés agrícola. Se ha comprobado mediante diferentes investigaciones que las micorrizas son adecuados promotores de crecimiento ante el estrés salino mediante modulación a niveles fisiológicos y bioquímicos. Aunque aún se desconoce cómo las micorrizas logran dicho efecto, se ha propuesto que podría deberse a modificaciones a nivel de la arquitectura de las raíces mediante el mecanismo hormonal. Además de eso, también se incrementa la cantidad de agua que puede absorber la planta, así como la fotosíntesis que pueda realizar,

ocasionando una mejora en el crecimiento total por acción de las micorrizas (Singh *et al.*, 2018). Otro mecanismo involucrado en la mejora del desarrollo se puede deber a la capacidad que poseen las HMAs de mejorar la absorción de P, K, Ca y Mg y al mismo tiempo reducir la translocación de iones tóxicos (como Na<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup>) al brote. De esta forma, logran mejorar el transporte de los nutrientes necesarios y a su vez aislar aquellos iones que resulten perjudiciales para el desarrollo de las plantas (Rouphael *et al.*, 2015).

Además, hay una mejora en la actividad enzimática, que a su vez incrementa la actividad metabólica mejorando los parámetros morfométricos como la longitud, aumento del peso fresco del tallo y las raíces en tomate bajo estrés salino. Adicionalmente, no solo mejora parámetros morfométricos, sino también los bioquímicos como las proteínas y el contenido de nutrientes. Finalmente, podemos inferir que las plantas que han sido expuestas a estrés salino e inoculadas con HMAs han sido capaces de adaptarse y cambiar sus mecanismos para afrontar los efectos adversos en condiciones de excesiva salinidad (Singh *et al.*, 2021).

### Conclusiones

*Solanum lycopersicum* L. “tomate” var. Río Grande, fue afectado por los niveles de salinidad de 100mM y 200mM NaCl, que indujeron reducción en la longitud de tallo, número de hojas, número de entrenudos, diámetro de tallo, peso fresco de tallo y raíz a los 30 días de tratamiento en condiciones de invernadero.

La inoculación con 1.5g y 3g de *Rhizophagus irregularis* indujo incremento en la longitud de tallo, el número de hojas, el número de entrenudos, el diámetro de tallo,

el peso fresco de tallo y raíz en *Solanum lycopersicum* L. “tomate” var. Río Grande cultivado en condiciones de invernadero.

La inoculación con micorrizas ocasionó una reducción en la disminución de crecimiento ocasionada por la salinidad, promoviendo el crecimiento de *Solanum lycopersicum* L. “tomate” var. Río Grande.

### Agradecimientos

A la Universidad Nacional de Trujillo por brindar las facilidades de uso de infraestructura y equipamiento para el desarrollo de la presente investigación.

A la empresa ATENS Agrotecnologías Naturales, S.L. Tarragona, España por la donación del producto comercial AEGIS Micro Gránulo, utilizado como inóculo.

### Contribución de los autores

C. R., M. C., J. H.; Concepción, diseño del trabajo de investigación; C. R., M. C., A. V.: Recolección de datos o información, análisis e interpretación de los resultados obtenidos; C.R., M. C., A. V., J. P.: Preparación, redacción del artículo y revisión crítica: Todos los autores han leído el manuscrito final y aprobado la revisión.

### Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

### Literatura citada

- Abdel-Farid, I.; M. Marghany; M. Rowezek & M. Sheded. 2020. Effect of salinity stress on growth and metabolomic profiling of *Cucumis sativus* and *Solanum lycopersicum*. *Plants*, 9(11): 1–19.
- Agüero, Y. 2018. Hongos micorrízicos arbusculares como mitigadores del estrés salino: Respuesta fisiológica, bioquímica y crecimiento de variedades de albahaca. Tesis para obtener el grado de Doctora en Ciencias. Programa de Estudios de Postgrado del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

- Agüero, Y.; L. Hernández; B. Murillo; A. Nieto; E. Troyo; R. Zulueta & C. Ojeda.** 2018. Arbuscular mycorrhizal fungi alleviate salt stress on sweet (*Ocimum basilicum* L.) seedlings. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 21(1): 387–398.
- Amini, F.; A. Ehsanpour; Q. Hoang & J. Shin.** 2007. Protein pattern changes in tomato under in vitro salt stress. *Russian Journal of Plant Physiology*, 54(4): 464–471.
- Belinchón, J.** 2020. Evaluación del efecto de la micorrización en plantas de berenjena y pimiento crecidas en condiciones de estrés abiótico. *Agronomía y del Medio Natural. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural de la Universidad Politécnica de Valencia*.
- Camejo, D. & W. Torres.** 2000. Iniciales Del Desarrollo De Dos Cultivares. *Cultivos Tropicales*, 21(2): 23–26.
- Chávez, L. & L. González.** 2009. Mecanismos moleculares involucrados en la tolerancia de las plantas a la salinidad. *ITEA*, 105(4): 231–256.
- Cho, K.; H. Toler; J. Lee; B. Ownley; J. Stutz; J. Moore; et al.** 2006. Mycorrhizal symbiosis and response of sorghum plants to combined drought and salinity stresses. *J Plant Physiol.* 163(1): 517–28.
- Dell'Amico, J. & M. Parra.** (2005) Efecto del estrés por NaCl en el contenido de cloruros, el potencial osmótico real y el crecimiento de dos cultivares de tomate cubanos. *Cultivos Tropicales*. 26(2):39–44.
- Díaz, A.; F. Ortiz & M. Espinosa.** 2016. Mycorrhizal symbiosis and growth of sorghum plants irrigated with saline water. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 15(1), 55–64.
- Evelin, H.; B. Giri & R. Kapoor.** 2012. Contribution of *Glomus intraradices* inoculation to nutrient acquisition and mitigation of ionic imbalance in NaCl-stressed *Trigonella foenum-graecum*. *Mycorrhiza*. 22: 203–217.
- Farooq, M.; N. Gogoi; M. Hussain; S. Barthakur; S. Paul; N. Bharadwaj; H. Migdadi; S. Alghamdi & K. Siddique.** 2017. Effects, tolerance mechanisms and management of salt stress in grain legumes. *Plant Physiology and Biochemistry*, 118, 199–217.
- Fita, A.; A. Rodríguez; M. Boscaiu; J. Prohens & O. Vicente.** 2015. Breeding and domesticating crops adapted to drought and salinity: A new paradigm for increasing food production. *Front. Plant Sci.* 6(1): 1–14.
- Gallaharsh, C.; S. Gharsallah; S. Werghe; M. Mehrez; H. Fakhfakh & F. Gorsane.** 2020. Tomato contrasting genotypes responses under combined salinity and viral stresses. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 26(7): 1411–1424.
- Ghanem, M.; A. Albacete; C. Martínez-Andújar; M. Acosta; R. Romero-Aranda; I. Dodd; S. Lutts & F. Pérez-Alfocea.** 2008 Hormonal changes during salinity-induced leaf senescence in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of Experimental Botany*. 59, 3039–3050.
- Goykovic V. & G. Saavedra.** 2007. Algunos Efectos de la Salinidad en el cultivo del Tomate y Prácticas Agronómicas de su Manejo. *Idesia (Arica)*, 25(3): 47–58.
- Hammer, E.; H. Nasr; J. Pallon; P. Olsson & H. Wallander.** 2011. Elemental composition of arbuscular mycorrhizal fungi at high salinity. *Mycorrhiza*. 21(2): 117–129.
- Hegazi A.; A. El-Shraiy & A. Ghoname.** 2017. Mitigation of salt stress negative effects on sweet pepper using Arbuscular Mycorrhizal fungi (AMF), bacillus megaterium and Brassinosteroids (BRs). *Gesunde Pflanzen* 69(2):91–102.
- Hidalgo, J.; C. Ramos; P. Lezama; P. Chuna & Chaman M.** 2019. Coinoculación de *Rhizophagus irregularis* y *Rhizobium sp.* en *Phaseolus vulgaris* L. var. canario (Fabaceae) "frijol canario. *Arnaldoa*, 26(3), 991–1006.
- Higinio, F.; R. Espinoza; R. Lizzet; V. Gutiérrez; B. Amador; F. Alfredo; B. Morales & G. Hernández.** 2014. Differential Response to Salinity in Tomato Genotypes (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Terra Latinoam* 32(4): 311–323.
- Ley, J.; J. Sánchez; N. Ricardo & E. Collazo.** 2015. Efecto de cuatro especies de hongos micorrizógenos arbusculares en la producción de frutos de tomate. *Agronomía Costarricense*, 39(1): 47–59.
- Martínez, F.; J. Reyes; F. Despaigne & M. Baldaquín.** 2004. Efecto de los hongos micorrizógenos arbusculares en el crecimiento y desarrollo del cultivo del tomate. Tesis para optar el grado de Magister. Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Granma.
- Méndez, S.** 2017. Efectividad e ineffectividad de especies de hongos micorrizógenos arbusculares en "papa" (*Solanum tuberosum* L.) en condiciones de invernadero Ayacucho – 2015. Tesis para obtener el título profesional de Bióloga en la especialidad

de Ecología y Recursos naturales. Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

- Mohammad, A. & B. Mitra.** 2013. Effects of inoculation with stress-adapted arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus deserticola* on growth of *Solanum melogena* L. and Sorghum sudanese Staph. seedlings under salinity and heavy metal stress conditions. Archives of Agronomy and Soil Science, 59(2): 173–183.
- Mujica, Y.; A. Mena; A. Medina & y P. Rosales.** 2014. Respuesta de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) a la biofertilización líquida con *Glomus cubense*. Cult. Trop. 35(1): 21-26.
- Porcel, R.; R. Aroca & J. Ruiz-Lozano.** 2012. Salinity stress alleviation using arbuscular mycorrhizal fungi. A review. Agronomy for Sustainable Development, 32(1): 181–200.
- Rouphael, Y.; P. Franken; C. Schneider; D. Schwarz; M. Giovannetti; M. Agnolucci; S. Pascale; P. Bonini, P. & G. Colla.** 2015. Arbuscular mycorrhizal fungi act as biostimulants in horticultural crops. Scientia Horticulturae, 196, 91–108.
- Saldaña, T.; C. Bejarano & S. Guaqueta.** 2017. Efecto de la salinidad en el crecimiento de plantas de tomate tipo chonto. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 11(2): 329–342.
- Sam, O.; C. Ramírez; M. Coronado; P. Testillano & M. Risueño.** 2003. Changes in tomato leaves induced by NaCl stress: leaf organization and cell ultrastructure. Biología Plantarum 47(3): 361-366.
- Singh, G.; M. Kaur; P. Kaushik; M. Nasser; A. Abdullah & P. Ahmad.** 2021. Arbuscular mycorrhiza in combating abiotic stresses in vegetables: An eco-friendly approach. Saudi Journal of Biological Sciences, 28(2): 1465-1476.
- Singh, K.; A. Singh; P. Singh & A. Kumar.** 2018. Interaction of plant growth promoting bacteria with tomato under abiotic stress: A review. Agriculture, Ecosystems and Environment, 267(5): 129–140.
- Soria-Colunga, J.; M. Tiscareño-Iracheta & C. Loredó-Ostí.** 2010. en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*). Rev. Mex. Mic., 31(1): 1–4.
- Torres, B.** 2019. Efecto de *Glomus intraradices* (micorrizas) sobre el comportamiento agronómico de *Solanum tuberosum* “papa” en invernadero. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Facultad De Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión
- Vera, T. & J. Carlos.** 2021. Inoculación de micorriza arbuscular y su incidencia en el crecimiento inicial de tres especies forestales en la fase de vivero. Proyecto de investigación previo a la obtención del título Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo
- Vijayan, K.** 2009. Approaches for enhancing salt tolerance in mulberry (*Morus L.*)-A review. Plant Omics, 2(1): 41-59.
- Yeo, A.** 1998. Molecular biology of salt tolerance in the context of whole plant physiology. J. Exp. Bot., 49(1): 915-929.



**Anexo 2.** ANOVA de las variables de crecimiento obtenidas por la medición de plantas de *S. lycopersicum* L.

LONGITUD DE TALLO

FV	GL	SC	CM	F-CAL	SIGN
NaCl (a)	2	12627,84	6313,92	365,97982	0,0001
inoculo (b)	2	783,54	391,77	22,70854145	0,0001
axb	4	1257,47	314,37	18,22198587	0,0001
error	81	1397,42	17,25		
total	89	16066,27			cv:6.21

LONGITUD DE RAÍZ

FV	GL	SC	CM	F-CAL	SIGN
NaCl (a)	2	19,21	9,61	0,955017492	0,38
inoculo (b)	2	42,84	21,42	2,129773522	0,12
axb	4	83,68	20,92	2,080058921	0,09
error	81	814,65	10,06		
total	89	960,38			cv:12.56

NUMERO DE HOJAS (F)

FV	GL	SC	CM	F-CAL	SIGN
NaCl (a)	2	62,07	31,04	55,98741648	0,0001
inoculo (b)	2	21,6	10,80	19,48329621	0,0001
axb	4	1,53	0,38	0,690033408	0,59
error	81	44,9	0,55		
total	89	130,1			cv:10.49

NUMERO DE HOJAS (S)

FV	GL	SC	CM	F-CAL	SIGN
NaCl (a)	2	17,49	8,75	21,01913947	0,0001
inoculo (b)	2	9,49	4,75	11,40489614	0,0001
axb	4	2,31	0,58	1,38805638	0,24
error	81	33,7	0,42		
total	89	62,99			cv:16.17

DIÁMETRO DE TALLO

FV	GL	SC	CM	F-CAL	SIGN
NaCl (a)	2	10,73	5,37	49,66457143	0,0001
inoculo (b)	2	23,22	11,61	107,4754286	0,0001
axb	4	4,43	1,11	10,25228571	0,0001
error	81	8,75	0,11		
total	89	47,13			cv:5.96

PESO FRESCO DE TALLO

FV	GL	SC	CM	F-CAL	SIGN
NaCl (a)	2	6778,3	3389,15	328,2842639	0,0001
inoculo (b)	2	447,79	223,90	21,68720926	0,0001
axb	4	754,7	188,68	18,27568372	0,0001
error	81	836,23	10,32		
total	89	8817,02			cv:8.72

PESO FRESCO DE RAÍZ

FV	GL	SC	CM	F-CAL	SIGN
NaCl (a)	2	206,11	103,06	68,35452833	0,0001
inoculo (b)	2	20,84	10,42	6,911398624	0,001
axb	4	7,36	1,84	1,220438913	0,3
error	81	122,12	1,51		
total	89	356,43			cv:21.03



**Anexo 3.** Metodología de la evaluación del efecto de NaCl y micorrización en el crecimiento de tomate.



Siembra

Germinación



Preparación del sustrato

Inoculación



Transplante

Riego con soluciones salinas



Cosecha de plantas

Esporas de *R. irregularis*.

**Anexo 4.** Plantas de *Solanum lycopersicum* L. listas para su cosecha.

