













Artículo Científico





Trichoderma spp. como inductores de tolerancia al estrés salino y promotores del crecimiento temprano en plántulas de *Capsicum annuum* L

Trichoderma spp. as Inducers of Salt Stress Tolerance and Promoters of Early Growth in *Capsicum annuum* L. Seedlings

 Prieto-Benavides, Oscar Oswaldo ¹
 <https://orcid.org/0000-0003-4101-0523>
 oprieto@uteq.edu.ec
 Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo

 Jiménez-Romero, Edwin Miguel ²
 <https://orcid.org/0000-0002-7411-8189>
 ejimenez@uteq.edu.ec
 Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo

 Mendoza-Velez, Geraldine Maittee ³
 <https://orcid.org/0009-0001-8944-7516>
 geraldine.mendoza2016@uteq.edu.ec
 Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo

 Lopez-Aguilar, Jeniffer Lisset ⁴
 <https://orcid.org/0009-0001-9806-0268>
 jeniffer.lopez2017@uteq.edu.ec
 Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo

Autor de correspondencia ¹



DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v4/n1/137>

Resumen: El cultivo de *Capsicum annuum* L. (pimiento) es de gran importancia agrícola y nutricional, pero su productividad se ve limitada por el estrés salino, un factor abiótico que afecta significativamente el desarrollo y vigor de las plantas. Este estudio evalúa la respuesta de plántulas de pimiento inoculadas con *Trichoderma gamsii*, *Trichoderma asperellum* y *Trichoderma atroviride* bajo condiciones salinas, analizando el desempeño *in vitro* de las cepas y su efecto en el crecimiento vegetal. Se evaluaron variables como crecimiento micelial, altura de planta, número de hojas, peso radicular y crecimiento micelial. Los resultados indicaron que *T. asperellum* alcanzó un crecimiento radial de 87.88 mm en medio PDA con 1000 mg/L de NaCl, manteniendo 86.11 mm incluso a 3000 mg/L, evidenciando alta tolerancia. En plántulas después de 15 días de la primera aplicación, esta cepa en concentración 1×10^{10} UFC/mL promovió una altura promedio de 28.64 cm, un diámetro basal de 18.58 mm, y un peso radicular de 3.10 g, significativamente superiores al control. La implementación de esta cepa en la producción de plántulas no solo favorece la resiliencia del cultivo frente al estrés salino, sino que también constituye una alternativa sostenible frente al uso de insumos químicos, contribuyendo al desarrollo de prácticas agrícolas más eficientes y ambientalmente responsables.

Palabras clave: bioestimulación, desarrollo vegetal, hongos benéficos, salinidad, tolerancia abiótica.



Check for updates

Received: 07/Ene/2026
Accepted: 12/Ene/2026
Published: 30/Ene/2026

Cita: Prieto-Benavides, O. O., Jiménez-Romero, E. M., Mendoza-Velez, G. M., & Lopez-Aguilar, J. L. (2026). *Trichoderma* spp. como inductores de tolerancia al estrés salino y promotores del crecimiento temprano en plántulas de *Capsicum annuum* L. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 4(1), 140-153. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v4/n1/137>

Revista Científica Ciencia y Método (RCyM)
<https://revistacym.com>
revistacym@editorialgrupo-aea.com
info@editorialgrupo-aea.com

© 2026. Este artículo es un documento de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional**.



Abstract:

The cultivation of *Capsicum annuum* L. (pepper) is of great agricultural and nutritional importance; however, its productivity is limited by salt stress, an abiotic factor that significantly affects plant development and vigor. This study evaluates the response of pepper seedlings inoculated with *Trichoderma gamsii*, *Trichoderma asperellum*, and *Trichoderma atroviride* under saline conditions, analyzing both the *in vitro* performance of the strains and their effects on plant growth. Variables such as mycelial growth, plant height, number of leaves, and root biomass were assessed. The results indicated that *T. asperellum* reached a radial growth of 87.88 mm on PDA medium with 1000 mg/L of NaCl and maintained 86.11 mm even at 3000 mg/L, demonstrating high tolerance. In seedlings evaluated 15 days after the first application, this strain at a concentration of 1×10^{10} CFU/mL promoted an average height of 28.64 cm, a basal stem diameter of 18.58 mm, and a root biomass of 3.10 g, all significantly higher than the control. The implementation of this strain in seedling production not only enhances crop resilience to salt stress but also represents a sustainable alternative to chemical inputs, contributing to more efficient and environmentally responsible agricultural practices.

Keywords: biostimulation, plant development, beneficial fungi, salinity, abiotic tolerance.

1. Introducción

El pimiento (*C. annuum* L.) es uno de los cultivos hortícolas más importantes del mundo, su fruto se destaca por un alto valor nutritivo y versatilidad de sus frutos en productos (Chacaguasay-Apugllon et al., 2025). Los principales productores son China, España, México e India, quienes mantienen el 76% (Madala & Nutakki, 2020). En Europa, predomina la producción de variedades dulces para consumo fresco, mientras que, en Sudamérica, Argentina es el principal productor, con superficies que oscilan entre 3000 y 6000 hectáreas (Carrillo-Montoya & Vargas-Rojas, 2023).

A nivel local, en Ecuador el pimiento constituye uno de los productos agrícolas más comercializados, cultivados tanto en invernaderos como en sistemas a campo abierto, representando un rubro importante en el sector agrícola debido a su presencia en zona costera y en valles interandinos (Munzón et al., 2022). En 2020, la producción nacional alcanzó 8075 toneladas en 2204 hectáreas, lo que representa un rendimiento aproximado de 3.66 t ha⁻¹ (Romero et al., 2022). Esta amplia distribución territorial en diversas regiones del país evidencia la necesidad de fortalecer estrategias que permitan mantener la productividad del cultivo frente a condiciones ambientales adversas (Moreira-Cantos & Mieles-Giler, 2025).

Entre los factores que afectan el rendimiento del pimiento, el estrés salino constituye una de las limitantes más importantes, generando un impacto directo en el

rendimiento, generando reducciones estimadas entre el 10 % y el 20 % (Quintana et al., 2016). La salinidad se considera uno de los factores ambientales más críticos a nivel mundial debido a las pérdidas sustanciales que ocasiona en sistemas agrícolas (Haj-Amor et al., 2022). En Ecuador, afecta especialmente las zonas costeras, donde la acumulación de sales en el suelo, asociada al riego inadecuado y a la cercanía al mar, genera disminuciones significativas en el rendimiento del cultivo (Sanchez et al., 2016). El exceso de sales altera la absorción de agua y nutrientes, comprometiendo el crecimiento y desarrollo de las plantas, disminuyendo la productividad hasta en un 50%, además de afectar la calidad de los frutos (Bello et al., 2021).

Ante esta problemática, el empleo de microorganismos benéficos como *Trichoderma* spp., se han posicionado como una alternativa. Este hongo ésta ampliamente distribuido en diversos tipos de suelos (Haouhach et al., 2020) y destaca por su capacidad para adaptarse a diversos hábitats agrícolas (Yao et al., 2023) . Presenta mecanismos de competencia por espacio, rápido crecimiento, tolerancia a condiciones ambientales extremas y la capacidad de parasitar hongos fitopatógenos y nemátodos (Andrade-Hoyos et al., 2023). Además, actúa un como agente de control biológico incluso en presencia de agroquímicos (Zin & Badaluddin, 2020). A nivel fisiológico, *Trichoderma* spp., puede incrementar la tolerancia de las plantas a múltiples estreses abióticos, entre ellos salinidad, sequía y estrés oxidativo (Geng et al., 2025).

La eficiencia de *Trichoderma* spp., bajo condiciones de estrés salino ha sido evidenciada en diversos cultivos como banano (Abasolo-Pacheco et al., 2025) y sandía (Diniz et al., 2022) demostrando mejoras en crecimiento, desarrollo y resistencia. En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar la influencia de *Trichoderma* spp., en la tolerancia al estrés salino en plántulas de *C. annuum* L., con la finalidad de obtener plántulas más resistentes, con un óptimo desarrollo y crecimiento. La incorporación de microorganismos benéficos como alternativa sostenible ofrece una vía prometedora para optimizar la productividad del pimiento y fortalecer la resiliencia agrícola frente a condiciones adversas.

2. Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en el laboratorio de Microbiología situado en el Campus “La María” de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, localizada a una longitud de 79° 28' 30" O y latitud 01° 02' 24" S, en el km. 7½ vía Quevedo - El Empalme a una altura de 75 m de altitud.

Aislamiento de *Trichoderma* spp:

El aislamiento se realizó a partir de muestras de suelo recolectadas en puntos aleatorios de una plantación de *Theobroma cacao* ubicada en el cantón Buena Fe, Ecuador. El suelo se obtuvo entre 10 y 20 cm de profundidad, colectándose alrededor de 100 g por punto; las muestras se secaron a temperatura ambiente. Se tomó una submuestra de 10 g, se homogenizó y suspendió en 90 mL de agua destilada en un

matraz Erlenmeyer, agitándose durante 25 minutos. A partir de esta suspensión se tomó 1 mL para realizar diluciones sucesivas hasta 10^{-4} , inoculándose 20 μL de las diluciones 10^{-2} , 10^{-3} y 10^{-4} en placas Petri con medio Papa Dextrosa Agar (PDA) por triplicado. Las placas se incubaron a 25 °C durante 5 a 7 días y las colonias compatibles con *Trichoderma* spp., se transfirieron a PDA fresco, incubándose nuevamente a 25 °C durante 7 días hasta completar la esporulación.

Las cepas obtenidas se identificaron mediante características morfológicas macroscópicas confirmándose la presencia de *Trichoderma gamsii*, *Trichoderma asperellum* y *Trichoderma atroviride*.

Estandarización *in vitro* de tolerancia salina:

Para la estandarización *in vitro* de la tolerancia salina en *Trichoderma* spp., se realizó empleando medios sólidos de PDA suplementados con 1000, 2000 y 3000 mg/L de cloruro de sodio (NaCl). El medio se esterilizó a 121 °C por 30 minutos y se transfirió a cajas Petri estériles de 90 mm para su solidificación. Las pruebas se llevaron a cabo con tres cepas previamente aisladas: *T. gamsii*, *T. asperellum* y *T. atroviride*. A partir de cultivos en PDA, se obtuvieron discos de 5 mm desde la periferia del micelio mediante un sacabocado estéril, colocándolos en el centro de las placas correspondientes a cada concentración salina. Posteriormente las placas se sellaron e incubaron a 28 °C, evaluando el crecimiento micelial cada 24 horas.

Inoculación en sustrato de plántulas:

Para la preparación del sustrato se mezcló suelo agrícola esterilizado, perlita y tamo de arroz en proporción 2:1:1, esterilizado a 121 °C durante 35 minutos. Se utilizaron plántulas de *Capsicum annuum* L., de 15 días con dos hojas verdaderas, trasplantadas en vasos plásticos de 10 oz con el sustrato previamente preparado; las unidades experimentales se mantuvieron bajo fotoperiodo de 12 h luz/ 12 h oscuridad aplicando riego cada 48 horas con agua destilada estéril. La inducción de estrés salino inició 15 días después del trasplante aplicando 50 mL de solución de NaCl a 50 mg/L cada 48 horas. El inóculo se preparó a partir de las cepas previamente identificadas y conservadas en PDA; se extrajo micelio y se transfirió a un matraz Erlenmeyer de 250 mL con 100 mL de agua destilada estéril y 20 μL de jabón neutro, homogenizándose durante 2 minutos.

La suspensión se ajustó a una densidad 1×10^{10} UFC/mL y posteriormente se preparó una dilución 1:10 hasta obtener 1×10^9 UFC/mL. Los tratamientos se aplicaron mediante 1 mL de la suspensión de cada cepa directamente en la zona radicular de las plántulas al inicio del estrés salino y nuevamente cinco días después, mientras que el control recibió 1 mL de agua destilada estéril, la evaluación se realizó 15 días después de la primera aplicación.

Crecimiento micelial: Después de la siembra de las cepas de *Trichoderma* spp., en medio de cultivo PDA con diferentes concentraciones de NaCl, el diámetro de las

colonias se midió en dos direcciones perpendiculares con un calibrador digital, los datos se registraron en milímetros (mm).

Altura y diámetro de las plantas: Se tomaron datos de la altura tomando desde la base de la planta hasta la última hoja visible, usando cinta métrica. Los datos fueron expresados en centímetros (cm), mientras que el diámetro se midió con un calibrador y los datos fueron expresados en milímetros (mm).

Número de hojas y peso foliar: Se registró el número total de hojas visibles en cada tratamiento, diferenciando entre plantas inoculadas y no inoculadas. Para el peso foliar, las hojas recolectadas se pesaron en una balanza analítica de precisión y los valores se expresaron en gramos (g).

Peso y longitud de raíces: Las raíces fueron lavadas para eliminar restos de sustrato posteriormente se pesaron en una balanza analítica, registrándose los valores en gramos (g), mientras que la longitud de la raíz principal se midió desde su punto de inserción hasta el ápice utilizando una cinta métrica, y los datos se expresaron en centímetros (cm).

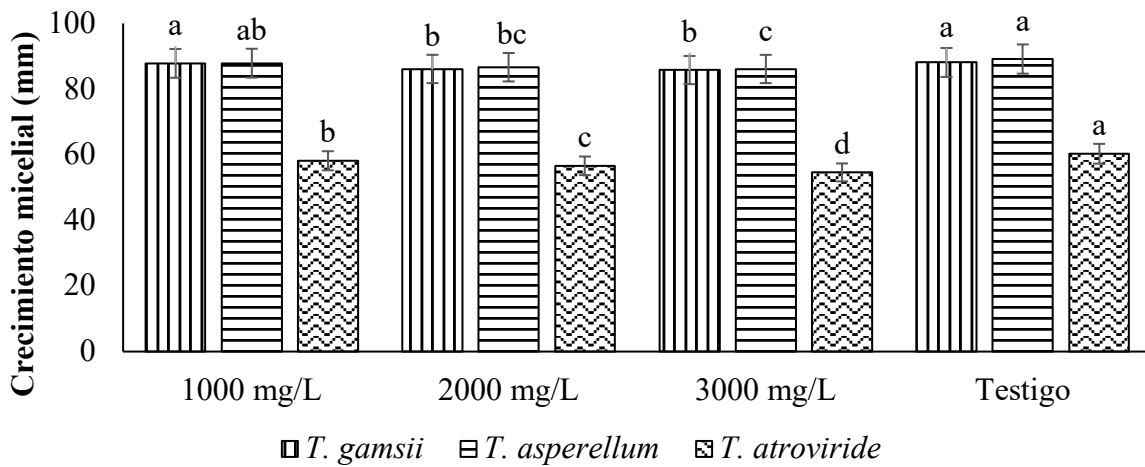
Los datos obtenidos se procesaron con el software InfoStat y se expresaron como promedio \pm desviación estándar. Se aplicó un Análisis de Varianza (ANOVA) para evaluar los efectos principales de los factores y sus interacciones, cuando se identificaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), se realizó una prueba de comparación múltiple de Tukey para discriminar los tratamientos.

3. Resultados

3.1. Evaluación *in vitro* del nivel de tolerancia a la salinidad de diferentes cepas de *Trichoderma* spp., bajo condiciones controladas

Se evidenció patrones contrastantes de tolerancia salina entre las cepas, *T. gamsii* mostró un crecimiento de 87.82 mm a 1000 mg/L de NaCl, sin diferencias significativas respecto al control (88.1 mm), sin embargo, presentó una disminución progresiva en 2000 mg/L (86.12 mm) y 3000 mg/L (85.78 mm), demostrando una tolerancia moderada a la salinidad. Por otro lado, *T. asperellum* presentó mayor estabilidad frente al estrés, manteniéndose estadísticamente similar al control (89.14 mm) a 1000 mg/L (87.88 mm) y conservando valores elevados en 2000 mg/L (86.65 mm) y 3000 mg/L (86.11 mm), mientras que, *T. atroviride* presentó la mayor sensibilidad, con disminuciones a partir de 1000 mg/L (58.14 mm) y disminuciones significativas en 2000 mg/L (56.61 mm) hasta 3000 (54.60 mm), en comparación con su control (60.28 mm).

Figura 1
Crecimiento radial a las 72h de todos los tratamientos incluido testigos

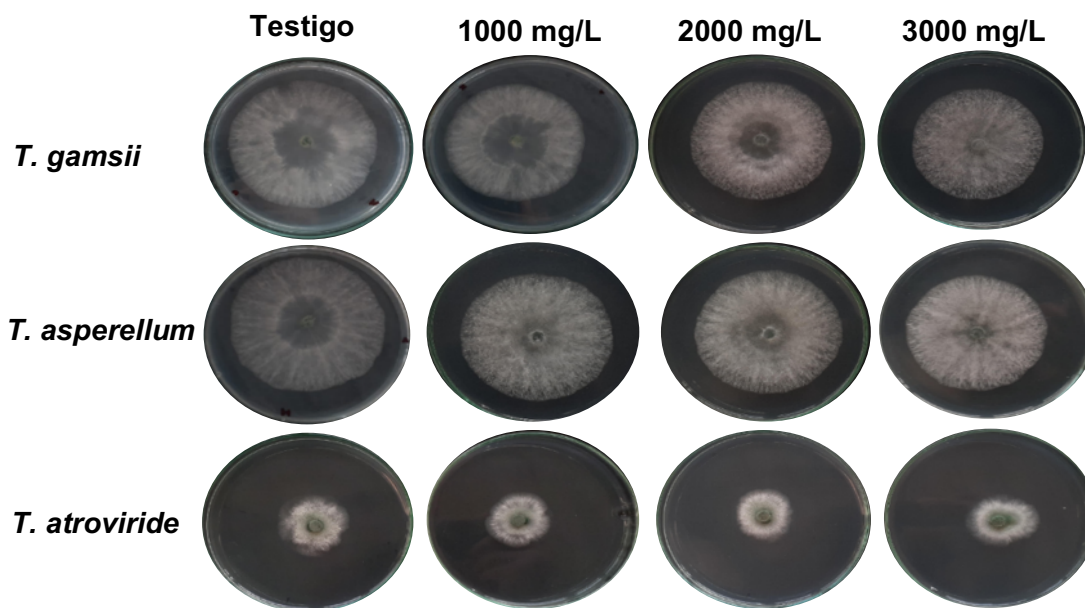


Nota: Las barras de error indican \pm DE; diferentes letras indican diferencias significativas entre los promedios a $p < 0.05$ (Test de Tukey).

3.2. Crecimiento micelial (visual)

Caracterización visual del crecimiento micelial de las cepas de *Trichoderma* spp., en respuesta a las diferentes concentraciones de NaCl (Figura 2). Se observa una mayor expansión radial y densidad micelial en *T. asperellum*, mientras que *T. atroviride* presentó una reducción progresiva bajo condiciones con alta concentración de NaCl.

Figura 2
Evidencia visual del crecimiento radial de cepas de *Trichoderma* spp. bajo diferentes concentraciones de NaCl



Nota: (Autores, 2026).

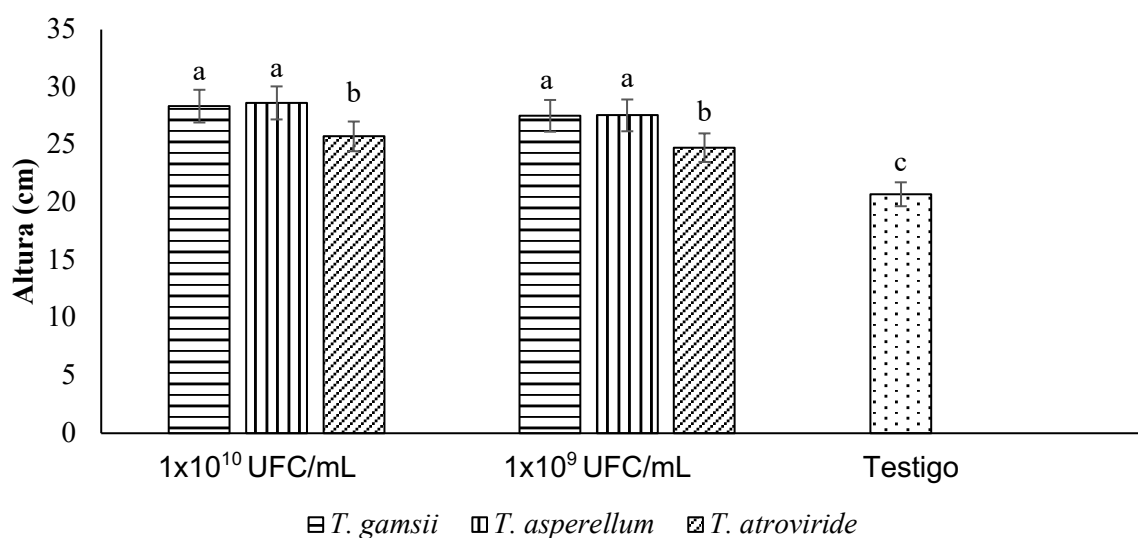
3.3. Evaluación del crecimiento de plántulas de *C. annuum* L., (pimiento) inoculadas con *Trichoderma* spp., en condiciones de estrés salino

3.3.1. Altura

En cuanto a la altura de las plántulas, los análisis mostraron diferencias significativas ($p < 0.0001$) (Figura 3). El mayor crecimiento se registró con *T. asperellum* a 1×10^{10} UFC/mL, alcanzando valores promedio de 28.64 cm, seguido de *T. gamsii* en igual concentración, con 28.36 cm, sin diferencias estadísticas entre ambos. El tratamiento con *T. atroviride* a 1×10^9 UFC/mL mostró una altura intermedia de 24.76 cm, mientras que el testigo presentó el menor valor (20.72 cm), lo que confirma el efecto promotor del crecimiento por parte de las cepas de *Trichoderma* spp., particularmente a concentraciones elevadas.

Figura 3

Altura de plantas de pimiento inoculadas con *Trichoderma* spp., y testigo

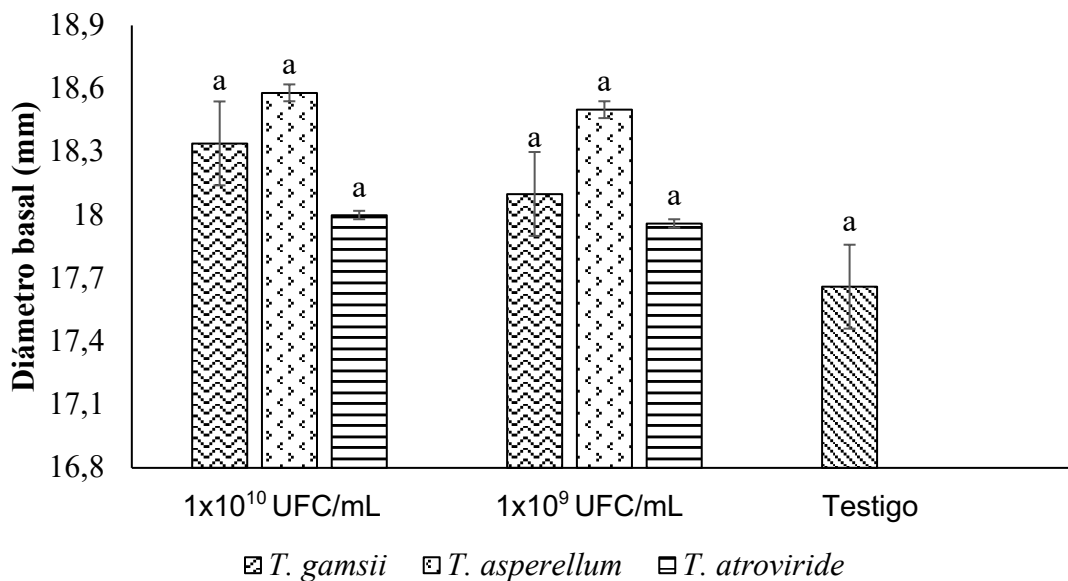


Nota: Las barras de error indican \pm DE; diferentes letras indican diferencias significativas entre los promedios a $p < 0.05$ (Test de Tukey) (Autores, 2026).

3.3.2. Diámetro basal

En lo que respecta al diámetro basal no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0.1092$) (Figura 4). Todos los grupos, incluido el control, mostraron valores similares, *T. gamsii* a 1×10^{10} UFC/mL mostró 18.34 mm, mientras que *T. asperellum* 18.58 mm, y *T. atroviride* 18 mm y el testigo registró un promedio de 17.66 mm.

Figura 4
Diámetro basal de plantas de pimienta inoculadas con *Trichoderma* spp., y testigo

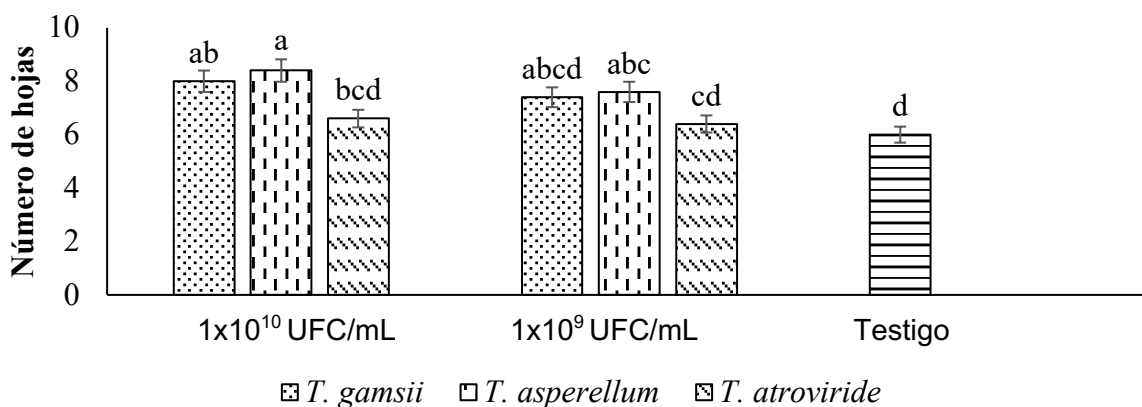


Nota: Las barras de error indican \pm DE; diferentes letras indican diferencias significativas entre los promedios a $p < 0.05$ (Test de Tukey) (Autores, 2026).

3.3.3. Número de hojas

La variable número de hojas presentó diferencias significativas ($p = 0.0001$) entre tratamientos (Figura 5), destacándose *T. asperellum* a 1×10^{10} UFC/mL con 8.4 hojas en promedio, seguido por *T. gamsii* con 8 hojas en la misma concentración. Por el contrario *T. atroviride* a 1×10^9 UFC/mL con 6.4 hojas y el testigo con 6 hojas registraron los valores más bajos.

Figura 5
Número de hojas de plantas de pimienta inoculadas con *Trichoderma* spp., y testigo



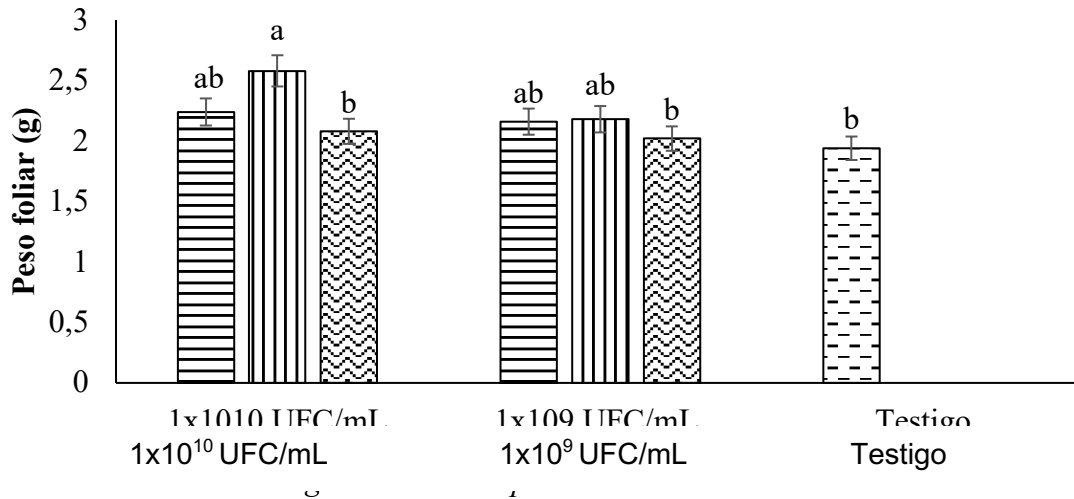
Nota: Las barras de error indican \pm DE; diferentes letras indican diferencias significativas entre los promedios a $p < 0.05$ (Test de Tukey) (Autores, 2026).

3.3.4. Peso foliar

Se observaron diferencias significativas en el peso foliar ($p = 0.0026$) (Figura 6). El tratamiento con *T. asperellum* a una concentración de 1×10^{10} UFC/mL generó el mayor valor, con un promedio de 2.58 g, aunque sin diferencias estadísticas respecto a *T.*

gamsii en igual concentración, que alcanzó 2.24 g, al igual que otros tratamientos con *Trichoderma*. El testigo registró el valor más bajo, con un peso foliar promedio de 1.94 g, lo que evidencia que la inoculación, independientemente de la cepa o la concentración, puede favorecer el incremento de masa foliar en plántulas de pimiento.

Figura 6
Peso foliar de plantas de pimiento inoculadas con *Trichoderma spp.*, y testigo

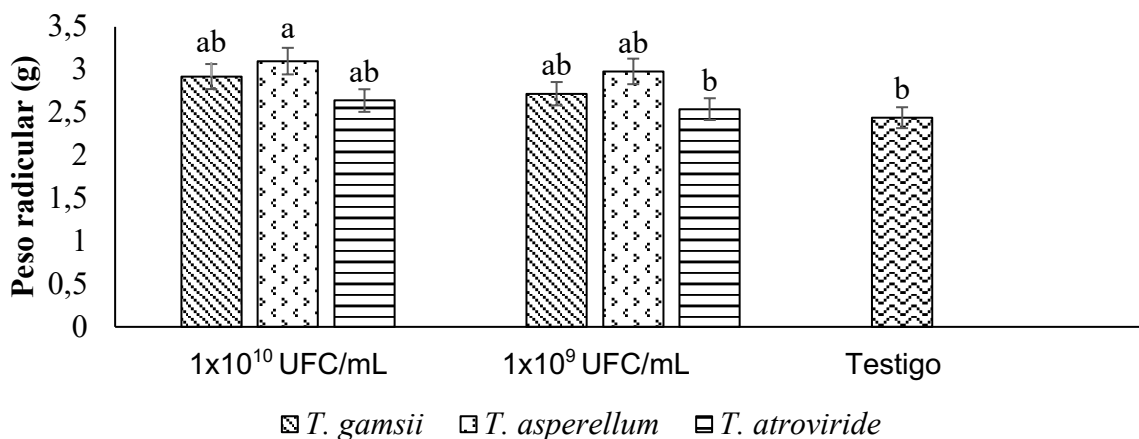


Nota: Las barras de error indican \pm DE; diferentes letras indican diferencias significativas entre los promedios a $p < 0.05$ (Test de Tukey) (Autores, 2026).

3.3.5. Peso radicular

Los tratamientos afectaron significativamente en la variable peso radicular ($p = 0.0049$) (Figura 7). *T. asperellum* a una concentración de 1×10^{10} UFC/mL registró el mayor valor, con un promedio de 3.1 g, seguido por *T. asperellum* a 1×10^9 UFC/mL con 2.98 g y *T. gamsii* a 1×10^{10} UFC/mL con 2.92 g, sin diferencias estadísticas entre ellos. El testigo presentó el menor peso con 2.44 g, confirmando el efecto promotor de *Trichoderma*, particularmente de *T. asperellum*, en el desarrollo del sistema radical.

Figure 7
Peso radicular de plantas de pimiento inoculadas con *Trichoderma spp.*, y testigo



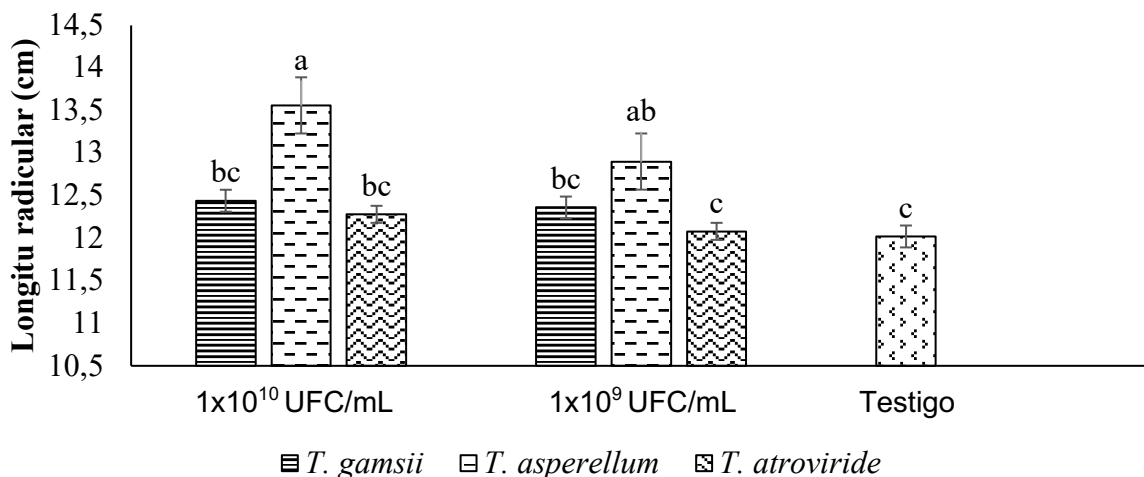
Nota: Las barras de error indican \pm DE; diferentes letras indican diferencias significativas entre los promedios a $p < 0.05$ (Test de Tukey) (Autores, 2026).

3.3.6. Longitud radicular

En cuanto a la variable longitud radicular se encontraron diferencias altamente significativas ($p < 0.0001$) (Figura 8). *T. asperellum* a 1×10^{10} UFC/mL presentó el mayor crecimiento, alcanzando un valor de 13.56 cm. En contraste, los tratamientos con *T. gamsii*, *T. atroviride* y el control registraron los valores más bajos, siendo la media más baja de 12.02 cm, lo que resalta la eficacia de *T. asperellum*, particularmente a alta concentración, para estimular el crecimiento radicular.

Figura 8

Longitud radicular de plantas de pimiento inoculadas con *Trichoderma* spp., y testigo



Nota: Las barras de error indican \pm DE; diferentes letras indican diferencias significativas entre los promedios a $p < 0.05$ (Test de Tukey) (Autores, 2026).

4. Discusión

Los resultados obtenidos evidencian una respuesta diferencial de las cepas de *Trichoderma* spp. frente al estrés salino, tanto en condiciones *in vitro* como en plántulas de *C. annuum* L. En la fase *in vitro*, *T. asperellum* mostró una mayor estabilidad en el crecimiento micelial incluso a las concentraciones más elevadas de NaCl, lo que confirma su alta tolerancia a la salinidad. Este comportamiento concuerda con lo reportado por Cavalcante *et al.*, (2025) donde señalaron que aislamientos de *T. asperellum* mantienen un amplio rango de tolerancia a concentraciones de 250-1000 mM de NaCl. Asimismo, Hu *et al.*, (2025) asociaron esta tolerancia con la regulación de mecanismos antioxidantes bajo estrés salino, mientras que Abasolo-Pacheco *et al.*, (2025) indicaron que las cepas incrementan la tolerancia al estrés mediante estabilización del pH celular. No obstante, Zhang *et al.*, (2022) sugieren que la respuesta de tolerancia depende en gran medida de la variabilidad entre cepas.

En las evaluaciones *in vivo*, la inoculación con *Trichoderma* spp. promovió el crecimiento de las plántulas de pimiento sometidas a estrés salino. La mayor altura registrada en los tratamientos con *T. asperellum* y *T. gamsii*, a una concentración de

1×10^{10} UFC/mL, lo cual coincide con lo señalado por Umber *et al.*, (2021) quienes indicaron que *Trichoderma* puede estimular el crecimiento vegetal incluso bajo condiciones de estrés abiótico. De manera complementaria, Kumar *et al.*, (2019) sugieren que esto es un efecto dosis-dependiente, asociado a la producción de fitohormonas, solubilización de fosfatos y una mayor disponibilidad de nutrientes (Campuzano-Santana *et al.*, 2025). Mientras que el diámetro basal presenta una respuesta limitada a la inoculación con *Trichoderma* spp. en etapas tempranas del desarrollo, asociada a umbrales de saturación y a una especificidad morfológica en la respuesta de la planta, tal como describen Liu *et al.*, (2023) y Oljira *et al.*, (2020), lo que explica la ausencia de diferencias significativas entre tratamientos bajo las condiciones evaluadas.

El incremento en el número de hojas y en el peso foliar observado en las plántulas inoculadas, especialmente con *T. asperellum*, indica una mayor acumulación de biomasa aérea. Según Andrzejak & Janowska, (2022), este efecto se debe a la capacidad de este hongo para producir compuestos volátiles que regulan la división celular y expresión génica durante el desarrollo foliar. De manera complementaria, Sánchez-Montesinos *et al.*, (2019) reportaron que cepas de *Trichoderma* tolerantes a la salinidad, entre ellas *T. asperellum*, mantienen su capacidad bioestimulante incluso bajo condiciones de elevada conductividad eléctrica. Asimismo, Zhang *et al.*, (2016) observaron que la aplicación de *Trichoderma* spp. en trigo cultivado en condiciones salinas incrementó el peso fresco y seco de las hojas, atribuyendo este efecto a una mayor actividad de enzimas antioxidantes y acumulación de ácido salicílico endógeno (Herrera-Sánchez & Gavilánez-Buñay, 2023).

Finalmente, el mayor peso y longitud del sistema radicular observados en plántulas inoculadas con *T. asperellum* resaltan su efecto sobre el desarrollo radicular en ambientes salinos. Fu *et al.*, (2021) reportaron que *T. asperellum* mejora el peso de las raíces mediante la regulación del metabolismo del oxígeno activo y mediante la modulación de rutas hormonales como las de auxinas y citoquininas. Además, estudios recientes señalaron que puede inducir la expresión de genes asociados a la elongación celular y a la síntesis de metabolitos esenciales para el desarrollo radicular.

5. Conclusiones

La aplicación de *T. asperellum* y *T. gamsii* demostraron una mayor tolerancia y capacidad de crecimiento en condiciones salinas *in vitro*, manteniendo un desempeño estable en las concentraciones. La superioridad fisiológica se vio reflejada en pruebas *in vivo*, donde la inoculación con *Trichoderma* spp. promovió de manera significativa el desarrollo de las plántulas de *C. annuum* L. sometidas a estrés salino, en particular *T. asperellum* en concentración de 1×10^{10} UFC/mL mostró el efecto más destacado sobre la biomasa aérea y radicular, confirmando su potencial como agente bioestimulante en escenarios de salinidad. La implementación de las cepas en

producción de plántulas no solo favorece la resiliencia del cultivo frente al estrés salino, también constituye una alternativa sostenible frente al uso de químicos, contribuyendo al desarrollo de prácticas agrícolas más eficientes.

CONFLICTO DE INTERESES

“Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses”.

Referencias Bibliográficas

- Abasolo-Pacheco, F., Sellan-Canales, M. J., García-Gallirgos, V. J., & Onofre-Correa, J. A. (2025). Desarrollo vegetativo del maíz bajo influencia de diluciones minerales y biológicas. *Revista Científica Zambos*, 4(2), 265-280. <https://doi.org/10.69484/rcz/v4/n2/121>
- Andrade-Hoyos, P., Rivera-Jiménez, M. N., Landero-Valenzuela, N., Silva-Rojas, H. V., Martínez-Salgado, S. J., & Romero-Arenas, O. (2023). Beneficios ecológicos y biológicos del hongo cosmopolita *Trichoderma* spp. en la agricultura: una perspectiva en el campo mexicano. *Revista Argentina de Microbiología*, 55(4), 366–377. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2023.06.005>
- Andrzejak, R., & Janowska, B. (2022). *Trichoderma* spp. Improves Flowering, Quality, and Nutritional Status of Ornamental Plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(24), 15662. <https://doi.org/10.3390/ijms232415662>
- Bello, A. S., Ben-Hamadou, R., Hamdi, H., Saadaoui, I., & Ahmed, T. (2021). Application of Cyanobacteria (*Roholtiella* sp.) Liquid Extract for the Alleviation of Salt Stress in Bell Pepper (*Capsicum annuum* L.) Plants Grown in a Soilless System. *Plants*, 11(1), 104. <https://doi.org/10.3390/plants11010104>
- Campuzano-Santana, K. L., Alarcón-Giraldo, V. D. ., & España-Lema, A. I. . (2025). Evaluación ambiental de sistemas agrícolas y forestales mediante análisis poblacional de nematodos como bioindicadores. *Journal of Economic and Social Science Research*, 5(2), 132-143. <https://doi.org/10.55813/gaeal/jessr/v5/n2/193>
- Carrillo-Montoya, K., & Vargas-Rojas, J. C. (2023). Rendimiento, características morfológicas y calidad del chile dulce (*Capsicum annuum* L.) bajo dos densidades de siembra y tipos de podas. *Agronomía Mesoamericana*, 53659. <https://doi.org/10.15517/am.2023.53659>
- Cavalcante, A. L. A., Negreiros, A. M. P., Melo, N. J. de A., Santos, F. J. Q., Soares Silva, C. S. A., Pinto, P. S. L., Khan, S., Sales, I. M. M., & Sales Júnior, R. (2025). Adaptability and Sensitivity of *Trichoderma* spp. Isolates to Environmental Factors and Fungicides. *Microorganisms*, 13(7), 1689. <https://doi.org/10.3390/microorganisms13071689>
- Chacaguasay-Apugllon, E. N., Sánchez-Quiñonez, D. F., Gavilánez-Buñay, T. C., & Rivera-Toapanta, E. A. (2025). Concentración de fenoles totales y flavonoides

- en fabáceas forrajeras y arbustivas y uso como bioestimulante. *Revista Científica Zambos*, 4(1), 30-44. <https://doi.org/10.69484/rcz/v4/n1/74>
- Diniz, G. L., Costa, C. C., Sousa, V. F. de O., Lopes, K. P., Bomfim, M. P., & Santos, J. B. dos. (2022). Uso de *Trichoderma* spp e estresse salino na produção de mudas de melancia. *Revista Em Agronegócio e Meio Ambiente*, 15(4), 1–16. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2022v15n4e9939>
- Geng, Y., Chen, S., Lv, P., Li, Y., Li, J., Jiang, F., Wu, Z., Shen, Q., & Zhou, R. (2025). Positive Role of *Trichoderma harzianum* in Increasing Plant Tolerance to Abiotic Stresses: A Review. *Antioxidants*, 14(7), 807. <https://doi.org/10.3390/antiox14070807>
- Haj-Amor, Z., Araya, T., Kim, D.-G., Bouri, S., Lee, J., Ghiloufi, W., Yang, Y., Kang, H., Jhariya, M. K., Banerjee, A., & Lal, R. (2022). Soil salinity and its associated effects on soil microorganisms, greenhouse gas emissions, crop yield, biodiversity and desertification: A review. *Science of The Total Environment*, 843, 156946. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156946>
- Haouhach, S., Karkachi, N., Oguiba, B., Sidaoui, A., Chamorro, I., Kihal, M., & Monte, E. (2020). Three New Reports of *Trichoderma* in Algeria: *T. atrobrunneum*, (South) *T. longibrachiatum* (South), and *T. afroharzianum* (Northwest). *Microorganisms*, 8(10), 1455. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8101455>
- Herrera-Sánchez, D. J., & Gavilánez-Buñay, T. C. (2023). Estrategias de agricultura regenerativa para mejorar la salud del suelo. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 1(2), 15-28. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v1/n2/12>
- Hu, G., Zhao, Z., Wei, Y., Hu, J., Zhou, Y., Li, J., & Yang, H. (2025). *Trichoderma asperellum* 22043: Inoculation Promotes Salt Tolerance of Tomato Seedlings Through Activating the Antioxidant System and Regulating Stress-Resistant Genes. *Journal of Fungi*, 11(4), 253. <https://doi.org/10.3390/jof11040253>
- Kumar, K., Rathore, S., Kumar, S., Mishra, M., Pandey, S., & Mishra, R. K. (2019). Effect of salt tolerant *Trichoderma* spp on growth and nodulation of mungbean (*Vigna radiata* L.). In *Journal of Food Legumes* (Vol. 32, Issue 4).
- Liu, Z., Xu, N., Pang, Q., Khan, R. A. A., Xu, Q., Wu, C., & Liu, T. (2023). A Salt-Tolerant Strain of *Trichoderma longibrachiatum* HL167 Is Effective in Alleviating Salt Stress, Promoting Plant Growth, and Managing Fusarium Wilt Disease in Cowpea. *Journal of Fungi*, 9(3), 304. <https://doi.org/10.3390/jof9030304>
- Madala, N., & Nutakki, M. K. (2020). Hot Pepper – History- Health and Dietary Benefits & Production. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(4), 2532–2538. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.904.303>
- Moreira-Cantos, E. A., & Mielles-Giler, J. W. (2025). Evaluación de impacto ambiental en los atractivos turísticos Paseo Lúdico del cantón Montecristi, Manabí, Ecuador. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 3(3), 229-246. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v3/n3/72>
- Munzón, M., Holguin, B., & Chávez, G. (2022). Agronomic response of the pepper (*Capsicum annum*L) crop to two irrigation conditions. *Agroindustrial Science*, 12(1), 73–80. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2022.01.09>

- Oljira, A. M., Hussain, T., Waghmode, T. R., Zhao, H., Sun, H., Liu, X., Wang, X., & Liu, B. (2020). Trichoderma Enhances Net Photosynthesis, Water Use Efficiency, and Growth of Wheat (*Triticum aestivum* L.) under Salt Stress. *Microorganisms*, 8(10), 1565. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8101565>
- Quintana Blanco, W. A., Pinzón Sandoval, E. H., & Torres, D. F. (2016). Evaluación del crecimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Ica Cerinza, bajo estrés salino. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 19(1). <https://doi.org/10.31910/rudca.v19.n1.2016.113>
- Romero Delgado, W. F., Edison Jaramillo Aguilar, E., & Luna-Romero, Á. E. (2022). Evaluación morfológica del pimiento (*capsicum annun* l.) bajo diferentes coberturas vegetales muertas, Ecuador. *Científica Agroecosistemas*, 10(3), 134–142.
- Sanchez Lopez, D. B., Pérez Pazos, J. V., & David Hinestroza, H. A. (2016). Efecto de las PGPB sobre el crecimiento *Pennisetum clandestinum* bajo condiciones de estrés salino. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 18(1). <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v18n1.50413>
- Sánchez-Montesinos, B., Diánez, F., Moreno-Gavira, A., Gea, F. J., & Santos, M. (2019). Plant Growth Promotion and Biocontrol of *Pythium ultimum* by Saline Tolerant *Trichoderma* Isolates under Salinity Stress. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(11), 2053. <https://doi.org/10.3390/ijerph16112053>
- Umer, M., Sultana, R., Nasir, F., Mubashar, R., & Sehar, R. (2021). Influence of *Trichoderma harzianum*- seed Coating on the Biochemical Characteristics of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Under Salt Stress. *Pakistan Journal of Analytical & Environmental Chemistry*, 22(2), 288–296. <https://doi.org/10.21743/pjaec/2021.12.08>
- Yao, X., Guo, H., Zhang, K., Zhao, M., Ruan, J., & Chen, J. (2023). Trichoderma and its role in biological control of plant fungal and nematode disease. *Frontiers in Microbiology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1160551>
- Zhang, C., Wang, W., Hu, Y., Peng, Z., Ren, S., Xue, M., Liu, Z., Hou, J., Xing, M., & Liu, T. (2022). A novel salt-tolerant strain *Trichoderma atroviride* HN082102.1 isolated from marine habitat alleviates salt stress and diminishes cucumber root rot caused by *Fusarium oxysporum*. *BMC Microbiology*, 22(1), 67. <https://doi.org/10.1186/s12866-022-02479-0>
- Zin, N. A., & Badaluddin, N. A. (2020). Biological functions of *Trichoderma* spp. for agriculture applications. *Annals of Agricultural Sciences*, 65(2), 168–178. <https://doi.org/10.1016/j.aogas.2020.09.003>