

Efecto del *Trichoderma* spp. asociado a la fertilización fosfatada en el cultivo de tomate

Effect of Trichoderma spp. associated with phosphate fertilization in tomato cultivation

Fernando Esteban Rojas Chaparro¹, Patricia Juana Colmán Ribelatto^{1*},
Milciades Ariel Melgarejo Arrúa¹, Elida Auxiliadora Peralta Paiva¹,
Ever Maidana Chávez¹, Diosnel Amarilla Mercado¹, Miguel Bogado Cáceres¹

RESUMEN

El fósforo es uno de los elementos que más limitan la producción agrícola debido a su baja disponibilidad en el suelo. Los microorganismos promotores del crecimiento vegetal pueden ser utilizados como una estrategia para lograr la biodisponibilidad de este nutriente. El objetivo de esta investigación fue analizar el efecto del *Trichoderma* spp. asociado a la fertilización fosfatada en el cultivo de tomate. En el experimento se utilizó el diseño de bloques completos al azar con arreglo bifactorial y cuatro repeticiones. El factor A consistió en la inoculación y no inoculación de *Trichoderma* spp. y el factor B en cuatro dosis de fósforo: 0, 40, 80 y 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Las variables evaluadas fueron longitud y peso de la raíz, masa de frutos, rendimiento de frutos por planta y rentabilidad de producción. Los datos fueron sometidos al análisis de varianza y las medias comparadas por el test de Tukey al 5%. Para la longitud radical y masa de la raíz hubo interacción entre los factores, donde los mejores resultados se obtuvieron con la inoculación de *Trichoderma* spp. asociado a la aplicación de 120 kg de P₂O₅ ha⁻¹ con 0,62 m y 58 g, respectivamente. Las variables masa de frutos, rendimiento de frutos por planta y rentabilidad no presentaron interacción entre los factores. Sin embargo, se observaron de forma aislada diferencias entre las dosis de P₂O₅, así como en la inoculación. El hongo *Trichoderma* spp. y la aplicación de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ mostraron los mejores resultados en todas las variables analizadas, promoviendo el desarrollo vegetativo y la rentabilidad del cultivo de tomate.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum*, promotores de crecimiento, dosis de fósforo.

ABSTRACT

Phosphorus is one of the elements that most limits agricultural production due to its low availability in the soil. Plant growth-promoting microorganisms can be used as a strategy to achieve the bioavailability of this nutrient. The objective of this research was to analyze the effect of *Trichoderma* spp. associated with phosphate fertilization in tomato cultivation. The experiment used a randomized complete block design with a bifactor arrangement and four repetitions. Factor A consisted of inoculation and non-inoculation of *Trichoderma* spp. and factor B in four doses of phosphorus: 0, 40, 80 and 120 kg ha⁻¹ of P₂O₅. The variables evaluated were: root length and weight, fruit mass, fruit yield per plant and production profitability. The data were subjected to analysis of variance and the means compared by the Tukey test at 5%. For root length and root mass there was interaction between the factors, where the best results were obtained with the inoculation of *Trichoderma* spp. associated with the application of 120 kg of P₂O₅ ha⁻¹ with 0.62 m and 58 g, respectively; The variables fruit mass, fruit yield per plant and profitability did not present an interaction between the factors; however, differences between P₂O₅ doses, as well as in inoculation, were observed in isolation. The fungus *Trichoderma* spp. and the application of 120 kg ha⁻¹ of P₂O₅ presented the best results in all the variables analyzed, promoting vegetative development and profitability of the tomato crop.

Keywords: *Solanum lycopersicum*, growth promoters, phosphorus.

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Canindeyú, Katueté, Paraguay.

* Autor de correspondencia: pattycolm@gmail.com

Introducción

Dentro de las hortalizas el tomate ocupa un lugar privilegiado tanto por la cantidad de producción como por la demanda en el mercado. Constituye un ingrediente indispensable en la elaboración de una infinidad de platos frescos y cocidos. También es solicitado para su industrialización y posterior consumo (Ríos, 2018). En Paraguay la superficie cultivada abarca alrededor de 1.365 ha con una producción promedio de 53.986 t (Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG], 2022), y puede alcanzar mejores resultados aplicando la tecnología adecuada.

La gran demanda de alimentos tanto a nivel nacional como mundial, sumado al considerable desgaste de muchos factores productivos, ha provocado que en los últimos años se haya empezado a implementar de manera importante la agricultura sostenible, la cual busca crear conciencia sobre el uso racional de los recursos disponibles acompañado de una producción óptima.

Entre las técnicas más importantes que permiten mejorar el rendimiento se encuentra la fertilización, siendo el fósforo un macronutriente fundamental para el sistema radicular de las plantas. Además de participar en la transferencia de energía cumple con funciones esenciales en la etapa reproductiva de la planta (Sierra, 2013). No obstante, este elemento es el que se encuentra en menor concentración o en menor disponibilidad para las plantas en suelos subtropicales a tropicales y, según Fatecha (1999), esto ocurre principalmente en la región oriental de Paraguay, causando limitaciones en la producción. Para optimizar el uso de los fertilizantes, principalmente aquellos que presentan características como las del fósforo, se recurre esencialmente a la inoculación de microorganismos.

Entre estos microorganismos se encuentran los del género *Trichoderma*, que son hongos protectores y promotores de crecimiento que se asocian a las raíces de las plantas. Estas reciben protección en el sistema radicular y extienden la superficie de exploración para llegar a nutrientes que se mueven de forma lenta o son inmóviles como el fósforo (Hernández *et al.*, 2019). Ello permite mejorar la nutrición vegetal debido principalmente a la solubilización de este nutriente que sintetiza el ácido indol-acético (AIA) (Chagas *et al.*, 2016; Prasad *et al.*, 2020), además de producir diversos metabolitos secundarios entre los que se encuentran

otras hormonas de crecimiento como las giberelinas (Argumedo *et al.*, 2009). Estos microorganismos habitan en la rizosfera de las plantas y mejoran la resiliencia de los sistemas de cultivos, ya que, además de promover el crecimiento de las plantas, incrementan su protección contra patógenos e insectos (Lanna *et al.*, 2021).

Mediante sus diversos mecanismos de acción, estos microorganismos posibilitan la tolerancia al estrés por parte de la planta, la solubilización y absorción de nutrientes inorgánicos y, por tanto, la estimulación del crecimiento vegetal (Martínez *et al.*, 2013). El uso de microorganismos es esencial para la intensificación sostenible de los sistemas agrícolas, y por esta razón, el objetivo del trabajo fue evaluar el efecto del *Trichoderma* spp. asociado a la fertilización fosfatada en el cultivo del tomate.

Materiales y métodos

Localización y características edafoclimáticas

El trabajo se realizó en el distrito de Francisco Caballero Álvarez, departamento de Canindeyú, república del Paraguay, con coordenadas de 22° 59' 30'' S y 57° 59' 59'' O. Según la clasificación de Koppen-Geiger, el departamento de Canindeyú presenta un clima clasificado como Cfa, subtropical, con veranos calurosos, heladas poco frecuentes y tendencia de concentración de lluvia en los meses de verano, sin estaciones de sequía definida (Kottek *et al.*, 2006). Registra una temperatura media anual de 22,9 °C y una precipitación promedio anual de 1.216 mm (DINAC, 2020).

El suelo predominante donde se ejecutó el ensayo está clasificado en la Soil Taxonomy (1992) como *Rhodic Kandiodox*, que presenta un horizonte argílico rojo. Es un suelo con excelentes condiciones para sostener una alta productividad de cultivos mediante el mejoramiento de la fertilidad y la corrección de la acidez, además de poseer grandes cualidades por sus propiedades físicas (López *et al.*, 1995). Antes de la instalación del experimento se realizó un análisis químico del suelo, cuyos resultados se pueden observar en la Tabla 1.

Diseño y tratamientos

El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar con arreglo bifactorial

Tabla 1. Características químicas del suelo.
Francisco Caballero Álvarez, Canindeyú, Paraguay.

| pH | MO (%) | P mg dm ⁻³ | Ca ⁺² | Mg ⁺² | K ⁺ | Na ⁺ | Al ⁺³ | Sat. Al |
|------|--------|-----------------------|------------------------------------|------------------|----------------|------------------------------------|------------------|---------|
| | | | cmol _c dm ⁻³ | | | cmol _c dm ⁻³ | | % |
| 5,68 | 1,63 | 14 | 2,12 | 0,72 | 0,40 | NS | 0,00 | 0,00 |

de 2x4 con 4 repeticiones, donde se estudiaron dos factores. El factor A correspondió a la inoculación (1×10^9 UFC/ml) y la no inoculación de hongos del género *Trichoderma* en la semilla (2 ml por kg), en tanto que el factor B fueron las dosis de fósforo (0, 40, 80 y 120 kg de P₂O₅ ha⁻¹) aplicadas al suelo en el momento del trasplante.

Siembra, trasplante y poda del cultivo

Antes de la siembra del tomate (CV Carina Ty, híbrido del segmento perita) se diluyó el inoculante en aceite vegetal para inocular a las semillas, se dejó secar y luego se realizó la siembra en bandejas semilleras de 98 alvéolos. Para ello se utilizó un sustrato de origen comercial a base de turba, vermiculita y nitrato de potasio. El riego se hizo con una mochila aspersora dos veces al día, durante las primeras horas de la mañana y las últimas horas de la tarde.

Una vez que las plántulas presentaron 3 a 5 hojas verdaderas se realizó una fertilización de base con nitrógeno (200 kg ha⁻¹ de N) y potasio (250 kg ha⁻¹ de K₂O). Luego se hizo el trasplante y la fertilización fosfatada. A continuación se instaló el sistema de riego por goteo y se procedió a cubrir los tablonces con mulch.

Después de 15 días del trasplante se colocaron los tutores para dar soporte a la planta. La poda de chupones se realizó a medida que fueron brotando, en tanto que el corte del ápice se hizo cuando las plantas produjeron 7 racimos. Las hojas basales que presentaron amarilleamiento también fueron eliminadas y la cosecha se efectuó cuando los frutos alcanzaron la madurez fisiológica.

VARIABLES EVALUADAS

Longitud radical y masa de la raíz

Una vez finalizada la cosecha se procedió a extraer al azar 10 plantas de la parcela y con la

utilización de un flexómetro se midió desde el cuello del tallo hasta el ápice de la raíz. Los resultados fueron promediados y expresados en metros. Para determinar la masa de la raíz se utilizaron las mismas muestras. Se lavaron con agua corriente y el total del peso de las 10 muestras se dividió por el número de muestras de raíces.

Peso de frutos y rendimiento de frutos por planta

Para la obtención del peso de frutos se tomaron todos los frutos de 10 plantas seleccionadas al azar de cada parcela útil. Se realizaron 10 cosechas en intervalos de 4 a 7 días, y en cada una se registró la masa y la cantidad de frutos. Estos se pesaron en una balanza de precisión y posteriormente fueron promediados dividiendo la masa por la cantidad de frutos expresados en kg/fruto. Para determinar el rendimiento por planta de cada tratamiento se utilizaron los datos obtenidos en la variable peso de frutos. Se realizó la sumatoria total de la masa registrada en cada cosecha para dividir las por el número de plantas de la cual se extrajeron.

Análisis de rentabilidad de la producción

Para esta variable se realizó el cálculo de rentabilidad de los distintos tratamientos. Dicho cálculo se expresa en la siguiente ecuación: $R = \text{INCT} 100$ (donde R es rentabilidad, IN es el ingreso neto y CT corresponde a los costos totales).

ANÁLISIS DE LOS DATOS

Se hizo el análisis de varianza para verificar si había diferencias significativas entre los tratamientos. Al comprobarse este fenómeno, se aplicó el test de Tukey al 5% para comparar la media de los tratamientos. Los datos fueron analizados mediante el software estadístico AgroEstat (Barbosa & Maldonado, 2015).

Resultados y discusión

Longitud radical

Los resultados del análisis de varianza indican que existe interacción entre los factores y diferencias significativas entre los tratamientos de inoculación y de las dosis de fósforo (Tabla 2).

Se puede observar que la inoculación del *Trichoderma* spp. asociado a la fertilización fosfatada presentó resultados superiores a los tratamientos que solamente tuvieron las dosis de fósforo, sin la inoculación. Esto demuestra que el microorganismo facilita la disponibilidad del fósforo para la planta, favoreciendo notablemente la elongación radicular de las plantas de tomate.

Sin la fertilización fosfatada, la inoculación de *Trichoderma* spp. no presentó diferencias significativas. Sin embargo, a partir de la aplicación de 40 kg de P₂O₅ ha⁻¹ asociado a la inoculación con *Trichoderma* spp., el cultivo de tomate comenzó a mostrar un aumento creciente de la longitud radical. Este incremento fue proporcional al uso de la asociación del *Trichoderma* spp. con la dosis creciente de fósforo. Con 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅, la longitud radial fue de 0,52 m; con 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅, aumentó a 0,54 m; y con 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ se observó la mayor elongación de la raíz con 0,62 m. Spolaor *et al.* (2016) resaltan que el uso de microorganismos es un método eficaz para incrementar la eficiencia de los fertilizantes químicos en la producción agrícola.

Hernández *et al.* (2015) respaldan esta afirmación señalando que la inoculación con *Trichoderma* spp. contribuye a la solubilidad de nutrientes del suelo, entre ellos el fósforo, y al

aumento del desarrollo de las raíces, logrando una mayor formación de pelos radicales y, por consiguiente, un enraizamiento más profundo. Al respecto, Jiménez *et al.* (2011) observaron de la misma manera que la aplicación de *T. harzianum* en el semillero o en el trasplante causó un incremento en el crecimiento de la planta y en el desarrollo radicular.

Además, según De Aguiar (2014), este microorganismo ejerce su acción a través de diversos mecanismos, como el micoparasitismo, la antibiosis, la competencia por nutrientes y espacio, la desactivación de enzimas patógenas, la promoción de la tolerancia al estrés en las plantas mediante el desarrollo del sistema radical, así como la inducción de resistencia.

Masa de la raíz

En relación con la masa de la raíz, los resultados del análisis de varianza demuestran que igualmente existió interacción entre los factores (inoculación y dosis de P₂O₅) y diferencias significativas entre los distintos tratamientos (Tabla 3).

Con la inoculación de *Trichoderma* spp. se obtuvieron diferencias significativas entre las dosis de fósforo, logrando el mayor peso de raíz (58 g) con la aplicación de 120 kg P₂O₅ ha⁻¹. Esto indica una complementación entre la presencia del hongo y las dosis de fósforo.

La comparación de las medias de la masa radicular entre los tratamientos que incluyen fertilización fosfatada junto con la inoculación del *Trichoderma* spp. y aquellos sin inoculación revela diferencias estadísticamente significativas. A una dosis de 40 kg de P₂O₅ ha⁻¹, la inoculación con

Tabla 2. Medias obtenidas de la longitud radical del tomate con la aplicación de diferentes dosis de fósforo, con y sin inoculación de *Trichoderma* spp.

| Medias de longitud radical (m) | | | | |
|--------------------------------|---|--|--|---|
| Factores | 120 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ | 80 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ | 40 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ | 0 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ |
| Con inoculación | 0,62 Aa | 0,54 Ab | 0,52 Ab | 0,44 Ac* |
| Sin inoculación | 0,51 Ba | 0,48 Bab | 0,43 Bbc | 0,41 Ac |
| CV: 5,6% | | | | |

*Las diferencias significativas se leen con letras mayúsculas diferentes en la vertical y letras minúsculas diferentes en la horizontal. Valores con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey al 5%.

Tabla 3. Medias obtenidas de la masa de la raíz del tomate con la aplicación de diferentes dosis de fósforo, con y sin inoculación de *Trichoderma* spp.

| Factores | Medias de la masa de la raíz (g) | | | |
|-----------------|---|--|--|---|
| | 120 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ | 80 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ | 40 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ | 0 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ |
| Con inoculación | 58 Aa | 51 Ab | 50 Ab | 39 Ac* |
| Sin inoculación | 46 Ba | 42 Bab | 38 Bb | 37 Ab |

CV: 6,5%

* Las diferencias significativas se leen con letras mayúsculas diferentes en la vertical y letras minúsculas diferentes en la horizontal. Valores con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey al 5%.

Trichoderma spp. resultó en una masa radicular significativamente superior de 50 g en comparación con los 38 g obtenidos en el mismo tratamiento sin inoculación. Estos resultados evidencian la eficacia de la asociación del *Trichoderma* spp. y la fertilización fosfatada en el desarrollo de la masa radicular, demostrando la capacidad de este microorganismo para potenciar el crecimiento de las raíces con una misma dosis de fósforo. Por consiguiente, el *Trichoderma* spp. podría considerarse como una alternativa viable al uso de dosis más elevadas de fertilizantes fosfatados.

De acuerdo con Guzmán-Guzmán *et al.* (2019), esto se sustenta en las múltiples funciones de esos microorganismos, ya que, además de promover la solubilidad del fósforo, poseen la capacidad de aumentar la absorción del nutriente por parte de la planta. López-Bucio *et al.* (2015) corroboran esta aseveración mencionando que este hongo posee la capacidad de modular la arquitectura de las raíces y mediante la producción de sustancias como sideróforos y ácidos orgánicos, aumenta la disponibilidad de los nutrientes.

Los resultados de esta variable coinciden con el trabajo realizado por Díaz *et al.* (2016) donde mencionan que el cultivo de tomate presenta buena respuesta a la aplicación de fuentes de fósforo, ayudando a incrementar la masa de las raíces. Además, Olowe *et al.* (2022) indican que estos microorganismos aumentan los niveles del IAA y del ácido giberélico (GA₃), mecanismo por el cual promueven el crecimiento de las raíces de las plantas de tomate.

En los tratamientos sin inoculación del *Trichoderma* spp. se obtuvieron los mejores resultados cuando se aplicaron 80 y 120 kg P₂O₅ ha⁻¹ con 42 g y 46 g. En contrapartida, la

menor masa de raíz se registró cuando no se realizó la fertilización fosfatada, siendo estadísticamente igual a los datos arrojados por la aplicación de 40 kg P₂O₅ ha⁻¹ y 80 kg P₂O₅ ha⁻¹.

Por lo tanto, es posible señalar que el tratamiento con la inoculación del *Trichoderma* spp. y aplicación de 120 kg P₂O₅ ha⁻¹ presentó el mejor resultado con una media de 58 g. Con ello se comprueba que ambos factores se complementaron para lograr una mayor masa de la raíz del tomate.

Masa de frutos

En la masa de frutos, los resultados de análisis de varianza demuestran que no hubo interacción entre los factores y tampoco diferencias significativas en el factor inoculación. Sin embargo, se registraron diferencias significativas de forma aislada entre las dosis de fósforo aplicadas (Tabla 4).

Aunque no se observaron diferencias significativas en la masa de frutos de tomate por efecto del

Tabla 4. Medias obtenidas de la masa de frutos del tomate con la aplicación de diferentes dosis de fósforo, con y sin inoculación de *Trichoderma* spp.

| | | Media de masa de frutos (g) | |
|--|------------------------|--|---|
| | | 120 kg de P ₂ O ₅ ha ⁻¹ | 179 a* |
| Con inoculación | 168 a | 80 kg de P ₂ O ₅ ha ⁻¹ | 167 b |
| | Sin inoculación | 157 a | 40 kg de P ₂ O ₅ ha ⁻¹ |
| 0 kg de P ₂ O ₅ ha ⁻¹ | | | 146 c |

CV: 4,9%

*En la columna izquierda se leen las medias del factor A y en la columna derecha las medias del factor B. Valores con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey al 5%.

inoculante, cabe destacar que se encontró una mayor cantidad de frutos cuajados en el tratamiento con inoculación y, además, un incremento del 7% en la masa de frutos. Romero *et al.* (2017) indican que con la inoculación de *Trichoderma* spp. en el cultivo de tomate se obtuvo un aumento significativamente superior del 27% en la masa de frutos en comparación con el testigo, un resultado mayor que el registrado en este trabajo. Esto puede estar relacionado con una distinta cantidad de frutos por planta o con la reinoculación del *Trichoderma* spp. realizada a los 35 y 65 días después del trasplante en ese experimento.

Con relación a las dosis de P_2O_5 , la mayor masa del fruto (179 g) se logró con la aplicación de 120 kg de P_2O_5 ha⁻¹, con un comportamiento descendiente hasta la dosis de 0 kg ha⁻¹ de P_2O_5 . En este sentido, Terry *et al.* (2018) encontraron resultados similares y manifestaron que con la aplicación de 150 kg ha⁻¹ de P_2O_5 en el cultivo de tomate se obtuvo un peso promedio de 185 g. Esto corrobora la alta respuesta del cultivo de tomate a la fertilización fosfatada, arrojando un elevado promedio en la masa del fruto.

Considerando los resultados en las condiciones de este experimento, se puede afirmar que al realizar una fertilización con 120 kg de P_2O_5 ha⁻¹ en el cultivo de tomate se incrementa notablemente la masa de los frutos, logrando un aumento del 23% en comparación con el testigo. Este incremento destaca la importancia del fósforo en la producción del tomate, y respalda la afirmación de Sierra (2013), quien presenta al fósforo como un elemento primario crucial para el crecimiento inicial de los tejidos vegetales, resaltando su efecto determinante en la fructificación de las plantas.

Rendimiento por planta

Los resultados del análisis de varianza arrojan diferencias significativas entre los tratamientos correspondientes a las dosis de fósforo y a la inoculación, pero sin interacción entre los factores (Tabla 5).

El rendimiento de tomate aumentó en aquellas plantas que fueron inoculadas con *Trichoderma* spp. logrando 5,4 kg por planta, equivalente a 12% más en relación con aquellas plantas que no fueron inoculadas, y 2,9% más al compararlas con aquellas plantas que recibieron 80 kg ha⁻¹ de P_2O_5 . Este es un resultado sumamente importante teniendo en cuenta que puede redundar en una disminución del uso del fertilizante fosfatado. Asimismo, en

un experimento hecho por Rojas (2014), al probar varias dosis de *Trichoderma* spp. se encontraron resultados afines a este trabajo, donde las plantas que fueron inoculadas presentaron diferencias significativas con el testigo, obteniendo incluso un rendimiento hasta 25% superior al del testigo sin inocular.

De acuerdo con Jangir *et al.* (2017), el género *Trichoderma* es un habitante frecuente de la rizosfera y se destaca por su capacidad de mejorar el desarrollo de una amplia gama de cultivos. Los factores esenciales que aportan a su eficacia incluyen su rápido crecimiento, su capacidad de colonización y la producción de metabolitos con actividad antimicrobiana (Sood *et al.*, 2020).

Dentro del factor dosis de fósforo, se observó un aumento lineal del rendimiento del tomate de acuerdo al incremento de las dosis de fósforo, siendo la aplicación de 120 kg P_2O_5 ha⁻¹ la que arrojó el mejor resultado con una media de 6,073 kg de tomate por planta. Valores similares obtuvieron Coutinho *et al.* (2014) con una investigación sobre la producción comercial de frutos de tomate para industria, donde indicaron que la producción fue incrementada con la adición de fósforo hasta la dosis de 150 kg ha⁻¹ de P_2O_5 .

En este experimento se evidenció que la inoculación del *Trichoderma* spp. y la fertilización fosfatada en el cultivo de tomate influyen positivamente, de forma independiente, en el rendimiento del tomate.

Rentabilidad

Los resultados de análisis de varianza demuestran que no hubo interacción entre los factores. Sin

Tabla 5. Medias obtenidas del rendimiento por planta con la aplicación de diferentes dosis de fósforo, con y sin inoculación de *Trichoderma* spp.

| | | Media de rendimiento por planta (kg) | |
|------------------------|----------|--------------------------------------|---------|
| | | 120 kg de P_2O_5 ha ⁻¹ | 6,073 a |
| Con inoculación | 5,405 a | 80 kg de P_2O_5 ha ⁻¹ | 5,252 b |
| Sin inoculación | 4,804 b* | 40 kg de P_2O_5 ha ⁻¹ | 4,855 c |
| | | 0 kg de P_2O_5 ha ⁻¹ | 4,237 d |

CV: 5,2%

*En la columna izquierda se leen las medias del factor A y en la columna derecha las medias del factor B. Valores con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey al 5%.

embargo, hubo diferencias estadísticamente significativas dentro del factor de inoculación, así como entre los tratamientos de la fertilización fosfatada (Tabla 6).

Se puede observar que hay un incremento en la rentabilidad en aquellos tratamientos que fueron inoculados con *Trichoderma* spp. presentando 237% de rentabilidad. También en el trabajo realizado por Liriano *et al.* (2012) se evidenció una sostenibilidad económica con una rentabilidad de 131,83%, lo cual indica que con la inoculación se logra incrementar el rendimiento a menor costo de producción, generando alta rentabilidad.

Con respecto a las dosis de fósforo, hubo diferencias significativas entre todos los tratamientos. La mayor rentabilidad (282%) se obtuvo con la aplicación de 120 kg P ha⁻¹, equivalente a la masa de 179 g por fruto, exhibiendo una reciprocidad con

la reducción de las dosis de fósforo. No obstante, es necesario resaltar que al comparar la rentabilidad producida por el *Trichoderma* spp. (237%) con la fertilización fosfatada de 80 kg P₂O₅ ha⁻¹ (234%), se observa que existen similitudes en los resultados, y el *Trichoderma* spp. puede presentarse como una opción viable para disminuir la cantidad de fertilizantes químicos aplicados en la producción de tomate. Esto coincide con los estudios de Spolaor *et al.* (2016), donde mencionan que los microorganismos que promueven el crecimiento de las plantas son un método para reducir la cantidad de fertilizantes utilizados en la agricultura.

Conclusión

El *Trichoderma* spp. y la fertilización fosfatada promovieron el desarrollo de las plantas de tomate (Carina Ty). La longitud y el peso de la raíz se beneficiaron con la inoculación asociada a la aplicación de 120 kg P ha⁻¹. Estos mismos tratamientos también aportaron a las demás variables, pero de forma independiente, registrándose una mayor acumulación en la masa de los frutos, incremento del rendimiento por planta y de la rentabilidad del cultivo de tomate.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo a la investigación brindado por la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Canindeyú y al Programa Nacional de Incentivo a los Investigadores (PRONII) del Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACYT).

Tabla 6. Medias obtenidas de rentabilidad con la aplicación de diferentes dosis de fósforo, con y sin inoculación de *Trichoderma* spp.

| Media de rentabilidad en cultivo de tomate (%) | | | |
|--|---------|--|--------|
| | | 120 kg de P ₂ O ₅ ha ⁻¹ | 282% a |
| Con inoculación | 237% a | 80 kg de P ₂ O ₅ ha ⁻¹ | 234% b |
| Sin inoculación | 215% b* | 40 kg de P ₂ O ₅ ha ⁻¹ | 212% c |
| | | 0 kg de P ₂ O ₅ ha ⁻¹ | 175% d |

CV: 7,5%

* En la columna izquierda se leen las medias del factor A y en la columna derecha las medias del factor secundario. Valores con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey al 5%.

Literatura citada

- Argumedo-Delira, R.; Alarcón, A.; Ferrera-Cerrato, R.; Peña-Cabriales, J.J.
 2009. El género fúngico *Trichoderma* y su relación con los contaminantes orgánicos e inorgánicos. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 25(4): 257-269.
- Barbosa, J.C.; Maldonado Junior, W.
 2015. AgroEstat: sistema para análisis estadísticas de ensaios agronômicos. FCAV/UNESP. Jaboticabal, Brasil. 396 p.
- Coutinho, E.; Orioli, J.V.; Silva, E.; Coutinho Neto, A.; Cardoso, S.
 2014. Nutrición, producción y calidad de frutos de tomate para procesamiento en función de la fertilización con fósforo y potasio. *Agrociencia Uruguay*, 5(2): 40-46.
- Chagas, L.F.B.; De Castro, H.G.; Colonia, B.S.O.; Carvalho, M.R.; Miller, L.; Chagas, A.F.
 2016. Eficiencia de *Trichoderma* spp. como promotor de crecimiento del caupí (*Vigna unguiculata*) y análisis de solubilización de fosfatos y síntesis de ácido indolacético. *Brasil. J. Bot.* 39: 437-445.
- De Aguiar, R.A.; M.G. da Cunha, and M.L. Junior.
 2014. Management of white mold in processing tomatoes by *Trichoderma* spp. and chemical fungicides applied by drip irrigation. *Biological Control*, 74: 1-5.
- Díaz Águila, I.; Castellanos González, L.; Sarduy Díaz, M.; Toledo Vásquez, L.; Silva Campos, C.N.; De mello Prado, R.; Rossato Moda, L.
 2016. Fuentes de fósforo, cachaza y microorganismos sobre las variables morfológicas en plántulas de tomate. *Centro Agrícola*, 43(3): 22-29.

DINAC.

2019. *Anuario Climatológico* - 2020. Dirección de Meteorología e Hidrología. Paragua. 81 p. Fatecha, A.
1999. Guía para la fertilización de cultivos anuales y perennes de la región oriental del Paraguay. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Subsecretaría de Estado de Agricultura, Dirección de Investigación Agrícola. Caacupé, Paraguay.
- Guzmán-Guzmán, P.; Porras-Troncoso, M. D.; Olmedo-Monfil, V.; Herrera-Estrella, A.
2019. *Trichoderma* species: versatile plant symbionts. *Phytopathology*, 109(1): 6-16.
- Hernández Melchor, D.J.; Ferrera Cerrato, R.; Alarcón, A.
2019. *Trichoderma*: importancia agrícola, biotecnológica, y sistemas de fermentación para producir biomasa y enzimas de interés industrial. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 15.
- Hernández, D.; Rodríguez, M.; Peteira, B.; Miranda, I.; Arias, Y.; Martínez, B.
2015. Efecto de cepas de *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckfeldt y Nirenberg sobre el desarrollo del tomate y *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White). *Rev. Protección Veg.*, 30(2): 139-147.
- Jangir, M.; Pathak, R.; Sharma, S.
2017. *Trichoderma* and its potential applications. *Plant-Microbe Interactions in Agro-Ecological Perspectives: Volume 2: Microbial Interactions and Agro-Ecological Impacts*, pp. 323-339.
- Jiménez, C.; de Albarracín, N. S.; Altuna, G.; Alcano, M.
2011. Nota Técnica: Efecto de *Trichoderma harzianum* (Rifai) sobre el Efecto de *Trichoderma harzianum* (Rifai) sobre el escultum L.). *Revista de la Facultad de Agronomía*, 28(1): 1-10.
- Kottek, M.; Grieser, J.; Beck, C.; Rudolf, B.; Rubel, F.
2006. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3): 259-263.
- Lanna, A.; da Silva, M.; Moreira, A.; Nascente, A.; de Fillipi, M.
2021. Improved nutrient uptake in three *Crotalaria* species inoculated with multifunctional microorganisms. *Rev. Bras. Eng. Agr. e Amb.* 25(7): 460-465.
- Liriano, R.; Maribal, O.; Rodríguez, R.; Viltres, M.
2012. Uso del hongo *Trichoderma* spp. para el manejo de *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) Chitwood en tomate. *Centro Agrícola*, 39(4): 49-54.
- López-Bucio, J.; Pelagio-Flores, R.; Herrera-Estrella, A.
2015. *Trichoderma* as biostimulant: exploiting the multilevel properties of a plant beneficial fungus. *Scientia horticulturae*, 196, 109-123.
- López, O.; González, E.; de Llamas, P.; Molinas, A.; Franco, E.; García, S.; Ríos, E.
1995. Estudio de reconocimiento de suelos, capacidad de uso de la tierra y propuesta de ordenamiento territorial preliminar de la región oriental del Paraguay. Asunción.
- Martínez, B.; InfanteI, D.; Reyes II, Y.
2013. *Trichoderma* spp. and their role in the control of crop pests. *Revista Protección Vegetal*, 28(1): 1-11. Ministerio de Agricultura y Ganadería.
2022. Anuario estadístico 2012. MAG.
- Olowe, O.; Nicola, L.; Dare, M.; Olalekan, A.; Oluranti, O.
2022. *Trichoderma*: Potential bio-resource for the management of tomato root rot diseases in Africa. *Microbiological Research*, 257: 126978.
- Prasad, R.D.; Chandrika, K.S.V.P.; Godbole, V.
2020. A novel chitosan biopolymer based *Trichoderma* delivery system: Storage stability, persistence and bio efficacy against seed and soil borne diseases of oilseed crops. *Microbiological research*, 237: 126487.
- Rojas Amaya, N.A.
2014. Efecto de *Trichoderma harzianum* sobre el fruto del tomate bajo macrotúnel. Universidad Rafael Landívar.
- Romero-Arenas, O.M.A.R.; Amaro, J.L.; Damián, M.A.; Valencia de Ita, M.A.; Rivera, A.; Huerta, M.
2017. Biopreparados de *Trichoderma* spp. para el control biológico de *Phytophthora capsici* en el cultivo de tomate de Puebla, México. *Información Técnica Económica Agraria*, 113(4): 313-324.
- Ríos de Sarabia, F.
2018. Enlace Agrario, 15. Paraguay. 28 p.
- Sierra B., C.
2013. Fertilización y manejo del suelo en hortalizas: alcachofa, apio, lechuga, pepino dulce, pimiento, tomate y zanahoria. La Serena, Chile: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. No. 271. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/6535>. Consultado: 15/dic/2023.
- Sood, M.; Kapoor, D.; Kumar, V.; Sheteiwi, M. S.; Ramakrishnan, M.; Landi, M.; Sharma, A.
2020. *Trichoderma*: The “secrets” of a multitasking biocontrol agent. *Plants*, 9(6): 762.
- Spolaor, L.; Azeredo, L.; Andrade, O.; Martínez, A.; Scapim, C.; Bengosi, F.; Kuki, M.
2016. Plant growthpromoting bacteria associated with nitrogen fertilization at topdressing in popcorn agronomic performance. *Bragantia*, 75(1): 33-40.
- Terry-Alfonso, E.; Ruiz-Padrón, J.; Carrillo-Sosa, Y.
2018. Efecto de diferentes manejos nutricionales sobre el rendimiento y calidad de frutos de tomate. *Agronomía Mesoamericana*, 29(2): 389-401.
- USDA.
1992. Soil Survey Staff. Keys to Soil Taxonomy. SMSS Technical Monograph No. 19. Fifth Edition. Pocahontas Press, Inc. Blac'ksburg, Virginia, USA.