

Aislamiento y evaluación de cepas nativas de *Trichoderma* spp., como promotor de desarrollo radicular

Christopher Suárez-Palacios¹, Nelly Remache-Sánchez², Jimmy Pico-Rosado³, Ernesto Paredes-Puga⁴, Jessenia Jiménez-Cumbicus⁵, Liliana Andrade-Olaya⁶, Alex Delgado-Párraga⁷

Resumen

La investigación consistió en aislar, identificar y aplicar diferentes cepas de *Trichoderma*, multiplicadas por fermentación líquida. Los aislados fueron obtenidos de cuatro provincias de la Amazonia Ecuatoriana de tres cultivos. Las cepas de *Trichoderma* fueron seleccionadas mediante un screening, el cual consistió en sumergir las semillas de maíz en una solución 1×10^7 de esporas por tratamiento y se dejó en reposo por una hora. Las inoculaciones se realizaron previo a la siembra cada 15 días, hasta los 60 días. Posteriormente a la primera inoculación de los tratamientos, se evaluó la altura de planta, longitud y diámetro de raíces, como resultado, se determinó que todos los tratamientos que incluían *Trichoderma* lograron un crecimiento notable en las raíces a diferencia del control. Se concluye que los aislados MSPP-01-03 y MSPP-02-05 actúan como promotores del crecimiento radical de plantas de maíz.

Palabras claves: Bio-estimulantes; Raíces; Amazonia; Estimulación.

Isolation and evaluation of native strains of *Trichoderma* spp. as root development promoter

Abstract

The research consisted of isolating, identifying, and applying different strains of *Trichoderma*, multiplied by liquid fermentation. The isolates were obtained from four provinces of the Ecuadorian Amazon from three crops. The *Trichoderma* strains were selected by screening, which consisted of submerging the corn seeds in a 1×10^7 solution of spores per treatment and left to rest for one hour. Inoculations were performed before sowing every 15 days until 60 days. After the first inoculation of the treatments, the plant height, length, and diameter of roots were evaluated, as a result, it was determined that all the treatments that included *Trichoderma* achieved remarkable growth in the roots in contrast to the control. It is concluded that the isolates MSPP-01-03 and MSPP-02-05 act as promoters of root growth of maize plants.

Keywords: Bio-stimulants; Roots; Amazonia; Stimulation; Bio-stimulants; Roots; Amazonia.

Recibido: 25 de enero de 2023

Aceptado: 20 de abril de 2023

¹ Ingeniero Agrónomo; Instituto Nacional, de Investigaciones Agropecuarias, INIAP, Joya de los Sachas - Ecuador (christopher.suarez@iniap.gob.ec; <https://orcid.org/0000-0001-8380-5178>).

² Ingeniero Agrónomo; Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Orellana - Ecuador; nelly.remache@hotmail.com (<https://orcid.org/0000-0001-8847-438X>).

³ Ingeniero Agrónomo; Instituto Nacional, de Investigaciones Agropecuarias, INIAP, Joya de los Sachas - Ecuador (jimy.pico@iniap.gob.ec; <https://orcid.org/0000-0002-2057-7646>).

⁴ Ingeniero Agrónomo; Instituto Nacional, de Investigaciones Agropecuarias, INIAP, Joya de los Sachas - Ecuador (ernesto.paredes@iniap.gob.ec; <https://orcid.org/0000-0002-1281-1420>).

⁵ Ingeniero Agrónomo; Instituto Nacional, de Investigaciones Agropecuarias, INIAP, Joya de los Sachas - Ecuador (jessenia.jimenez@iniap.gob.ec. <https://orcid.org/0000-0002-9784-9312>).

⁶ Ingeniero Agrónomo; Instituto Nacional, de Investigaciones Agropecuarias, INIAP, Joya de los Sachas - Ecuador (liliana.andrade@iniap.gob.ec. <https://orcid.org/0000-0002-0028-2461>).

⁷ Ingeniero Agropecuario; Instituto Nacional, de Investigaciones Agropecuarias, INIAP, Yaguachi - Ecuador (alex.delgado@iniap.gob.ec. <https://orcid.org/0000-0003-1305-959X>).

I. INTRODUCCIÓN

El uso de microorganismos promotores del crecimiento vegetal es en la actualidad una considerable herramienta para la agricultura, las interacciones rizosféricas entre plantas y estos son determinantes y fundamentales en la sanidad de cultivos, la fertilidad del suelo y productividad (Martínez-Medina et al., 2016; Souza et al., 2015). Actualmente en el país se ha aumentado el interés de estudiar nuevas especies de *Trichoderma* spp., en diferentes hábitats, que sirvan de biocontrol para diversos patógenos y a la vez de estimuladores vegetales. Ecuador está situado entre los 20 países megadiversos del mundo y la región amazónica cuenta con una diversidad de microorganismos que pueden tener beneficio para la agricultura moderna (Velázquez, 2019).

Hace 90 años se dieron los primeros trabajos de Weindling, (1932) usando *Trichoderma* spp. como controlador de fitopatógenos, en el Ecuador el uso de microorganismos benéficos para biocontrol se tiene reportes a partir del año 2003 en la prevención de enfermedades del cultivo de cacao (Evans et al., 2003; Holmes et al., 2004). El hongo *Trichoderma* spp. a más de servir de biocontrolador, coloniza la zona de las raíces limitándose a las capas externas de la raíz y no penetra en el haz vascular, esta simbiosis mejora el desarrollo de las plantas (Poveda, 2020). Algunas interacciones ocurren a distancia, por la generación de compuestos volátiles y secreción de factores difusibles, mientras que otros modos dependen de la colonización por micelios fúngicos (Taylor et al., 2022).

Algunas especies de *Trichoderma* producen altas concentraciones de ácido indol-3-acético (AIA), este es una de las fitohormonas más importantes

que se distribuye ampliamente y es esencial en las plantas. Las aplicaciones exógenas de AIA estimulan formación de raíces y acrecentamiento de pelos radicales y mejora la absorción de nutrientes, lo que conlleva al aumento de biomasa vegetal (Fu et al., 2015). En la actualidad se demostró que la aplicación de *T. atroviride* en el momento del trasplante desarrolló el tamaño radicular de diversos cultivos de hortalizas (Colla et al., 2015). Do Amaral y compañía (2022), observaron que, usando varios aislados de *Trichoderma* spp., estimularon el crecimiento de *Vigna unguiculata*, aumentando el peso de raíces y de las plantas hasta en un 48,62 % mientras que, González-Pérez et al (2018) evaluaron la interacción *Arabidopsis* y *Trichoderma* spp., donde probaron *T. atroviride* y *T. virens*, lo que causó el aumento significativo a los 3 y 5 días después de la inoculación con ambas cepas.

El siguiente trabajo de investigación tubo como objetivos, aislar y evaluar cepas de *Trichoderma* spp., obtenidos de suelo de cultivos de pitahaya, cacao y maíz, como promotor de desarrollo radicular, este trabajo se lo realizó en invernadero sobre plantas de maíz.

II. METODOLOGÍA

La investigación se realizó en el laboratorio e invernadero del Departamento de Protección Vegetal de la Estación Experimental Central de la Amazonía (INIAP), ubicado en la Provincia de Orellana, cantón Joya de los Sachas.

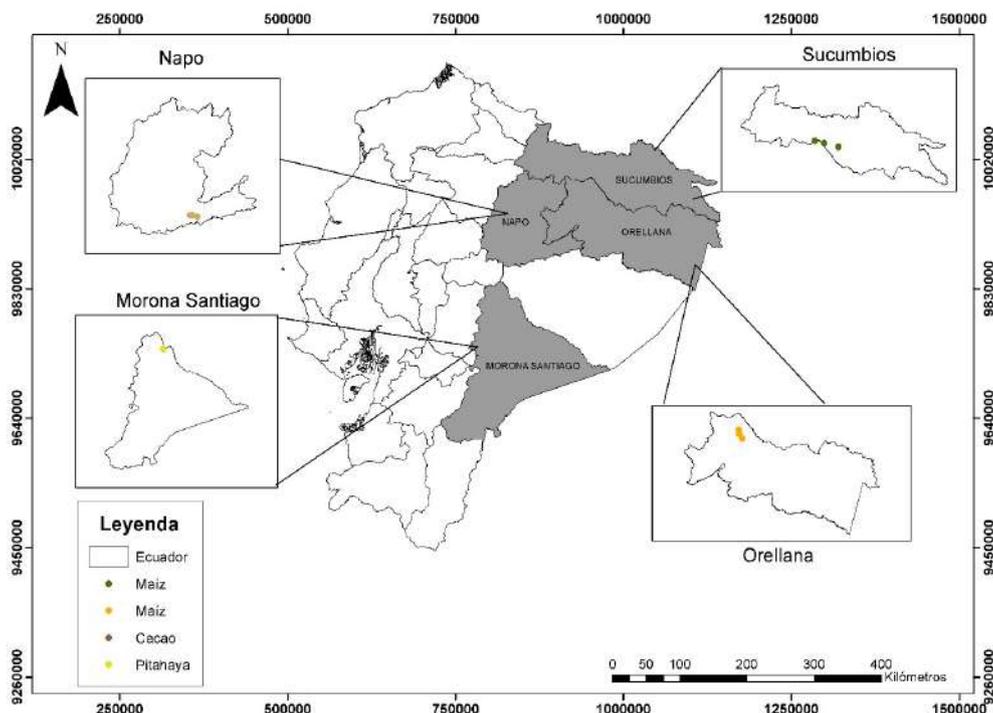
Los aislados de *Trichoderma* spp., fueron obtenidos de muestras de suelo de cultivos de Pitahaya provincia de Morona Santiago, cacao prov. del Tena, maíz prov. de Orellana y Sucumbíos, los que se muestran en la tabla y figura 1.

Tabla 1. Detalle del muestreo de suelo de diferentes cultivos y lugares para el aislamiento de *Trichoderma* spp., como promotor de crecimiento radicular.

Nº	Código	Provincia	Cantón	Cultivar	Coordenadas
1	MSPP-01	Morona Santiago	Palora	Pitahaya	18 M 171603 9814764
2	MSPP-02	Morona Santiago	Palora	Pitahaya	18 M 166409 9803956
3	MSPP-03	Morona Santiago	Palora	Pitahaya	17 M 829615 9811850
4	NTC-01	Napo	Tena	Cacao	18 M 206783 9881979
5	NTC-02	Napo	Tena	Cacao	18 M 212202 9880511
6	NTC-03	Napo	Tena	Cacao	18 M 204447 9882044
7	OJSM-01	Orellana	Joya de los Sachas	Maíz	18 M 284936 9964248

8	OJSM-02	Orellana	Joya de los Sachas	Maíz	18 M 284156 9970318
9	OJSM-03	Orellana	Joya de los Sachas	Maíz	18 M 288844 9958368
10	SSM-01	Sucumbíos	Shushufindi	Maíz	18 M 313474 9983484
11	SSM-02	Sucumbíos	Shushufindi	Maíz	18 M 278699 9992347
12	SSM-03	Sucumbíos	Shushufindi	Maíz	18 M 291938 9989035

Figura 1. Puntos de muestreos por localidad.



MUESTREO DE SUELO

Para la toma de muestras se seleccionaron tres plantaciones comerciales con manejo convencional para los cultivos de pitahaya, en maíz se seleccionaron cultivares nativos (tusilla) y de alto rendimiento (híbridos), y cacao.

Para la obtención de las muestras se necesitó la ayuda de un barreno con el que se recolectó suelo de los primeros 15 cm de profundidad eliminando la materia orgánica superficial de cada sitio y se colocaron en bolsas de polietileno estériles (Fisherbrand®) y se trasladaron al laboratorio para su análisis.

AISLAMIENTO

Para el aislamiento se utilizó la metodología definida por Zhou et al., (2020) (modificada), donde se tomó un gramo de suelo/muestra y se lo colocó en 9 mL de agua esterilizada para obtener

una solución de suelo de 1×10^{-1} . Partiendo de esa suspensión se realizaron diluciones seriadas hasta la 1×10^{-6} . Para sembrarse en 5 platos Petri/muestra con medio de cultivo rosa de bengala y se incubaron por 72 horas. Los crecimientos con características a *Trichoderma* spp., se los transfirió a papa dextrosa agar (PDA), utilizando el procedimiento de punta de hifa (Dou et al., 2019), se logró cultivos *monoconidiales* los cuales se los conservó en viales de vidrio en refrigeración.

OBTENCIÓN DEL INOCULO

Utilizando la técnica de Halifu et al., (2019) (modificada), los aislados seleccionados se los sembró en papa dextrosa agar (PDA) enriquecido con antibiótico, incubándose a $(\pm) 28^{\circ}\text{C}$ durante cinco días, cuando cumplieron el tiempo establecido de crecimiento, con la ayuda de un saca bocado de 5 mm se obtuvieron discos y estos se los colocó

en matraces que contenían medio líquido (30 g/L de glucosa y 2.8 g/L de levadura), más una Barra magnética recubierta de teflón esterilizada de 10 mm (Said, 2007), los matraces fueron colocados en un agitador magnético a 300 rpm, por 72 horas, la solución resultante fue centrifugada a 8.000 rpm, el sobrenadante fue utilizado para la aplicación (10^6 esporas/mL).

SCREENING DE SELECCIÓN

Para la selección preliminar, se realizó un screening, probando cada uno de los aislados obtenidos, ha estos se los multiplico de forma líquida y la solución resultante 1×10^6 mL⁻¹ se la coloco sobre 10 semillas de maíz (DEKALB 7088) y se las dejo en remojo por el lapso de una hora. Una vez que se cumplió el tiempo estipulado se las ubicó en vasos esterilizados de polietileno de 500 mL con tapa y en su interior papel absorbente, y permanecieron a temperatura ambiente $28/30 \pm 3$ °C y fotoperiodo 12 h luz/12 h oscuridad). Después de la germinación se retiró la tapa de los recipientes y a los 21 días se evaluó donde se tomó en cuenta largo de planta y raíces.

SIEMBRA

La siembra se la realizó en bolsas de polietileno negras para vivero, las que se rellenaron con un sustrato estéril a base de arena, tierra negra y humus de lombriz, (2:1:1, v/v/v), y se sembró 2 semillas (DEKALB 7088) por bolsa y luego de la germinación se efectuó un raleo donde se dejó la planta más vigorosa, y se las mantuvo en condiciones de invernadero a $33/23 \pm 3$ °C, y fotoperiodo 12 h luz/12 h oscuridad).

MANEJO DEL EXPERIMENTO

Para la instalación del ensayo se utilizó el métodos descrito por Halifu et al. (2019) (modificada) en el que se efectuaron inoculaciones quincenales de una solución líquida de *Trichoderma*, donde se aplicó cinco mL de una suspensión de esporas (10^6 /mL) en drench. La primera aplicación se la realizo dos días después de la emergencia de las plantas, en total se realizaron cuatro aplicaciones hasta el día de la evaluación (60 días). El riego se realizó de acuerdo con las necesidades hídricas de las plántulas.

DISEÑO EXPERIMENTAL Y TRATAMIENTOS

Para ambas fases (screening y evaluación) se manejó un Diseño Completamente al Azar (DCA), y para el procesamiento de los resultados se utilizó diez tratamientos con cuatro réplicas. Los tratamientos se enuncian a continuación en la tabla 2.

Tabla 2. Detalles de los tratamientos evaluados en invernadero como promotores de crecimiento radicular.

Tratamiento	Código/muestra
T1	MSPP-01-03
T2	MSPP-01-10
T3	MSPP-02-04
T4	MSPP-02-05
T5	MSPP-02-06
T6	MSPP-03-01
T7	OJSM-01-05
T8	OJSM-03-01
T9	SSM-01-03
T10	Control

PARÁMETROS DE ESTUDIO

Cuando las plantas cumplieron 60 días se realizó la evaluación destructiva arrancando cuidadosamente las plantas de las bolsas y se estudiaron los siguientes parámetros.

- Altura de planta (cm)
- Diámetro de planta (cm)
- Longitud de raíces (cm)
- Peso de raíces (g)

PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Los datos experimentales se compararon estadísticamente por medio de un análisis de varianza (ANOVA), y las medias se cotejaron mediante prueba de rango múltiple de Tukey a ($P < 0,05$). Para los análisis estadísticos se utilizó el software SPSS, (versión 20 para Windows) y para los gráficos Statgraphics Centurión.

III. RESULTADOS

AISLAMIENTO E IDENTIFICACIÓN MORFOLÓGICA

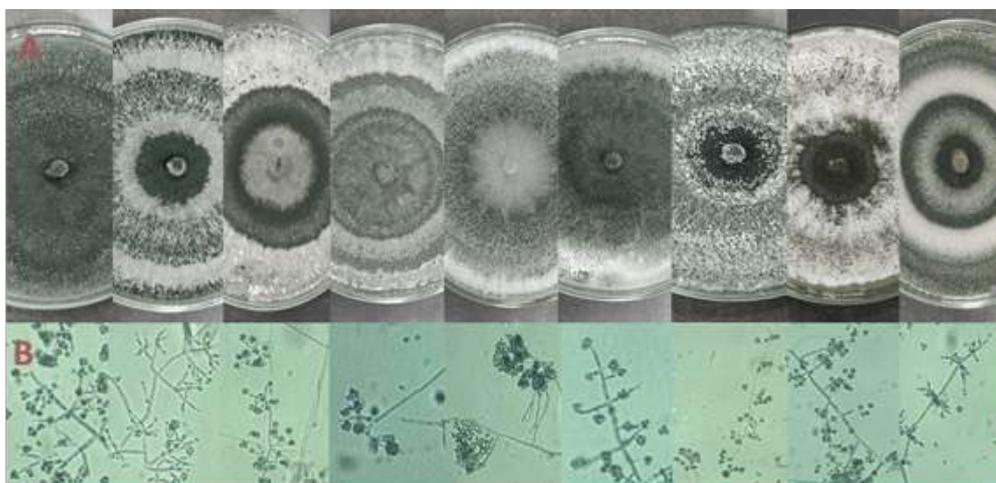
Se recolectaron 12 muestras de suelo, de las que logro aislar 120 hongos con tipologías similares a *Trichoderma* spp., esto se pudo corroborar con la ayuda de claves dicotómicas (Barnett &

Hunter, 1998; Samuels, 1996; Samuels & Hebbar, 2015). Además, se examinaron las características culturales, incluyendo el crecimiento y coloración de la colonia, en agar papa dextrosa (Figura 2.). Los aislados estudiados crecieron rápidamente en PDA y mostraron diferentes particularidades morfológicas, como micelio blanco uniforme y esponjoso, luego esporularon profusamente produciendo masas de esporas verdes en parches o en anillos definidos concéntricos prominentes. El

color verde varió de tono en cada uno de las cepas.

Rifai, (1969) se refirió sobre *Trichoderma*, como un hongo septado y una producción de conidióforos ramificados. Además, reseñó que las especies de *Trichoderma* forman colonias flocosas o en mechones de varios colores (blanco, amarillo, verde), que pueden utilizarse para identificar y diferenciar varias especies del género. Resultados similares fueron reportados por (Gams & Bissett, 2002; Jaisani & Pandey, 2017).

Figura 2. Característica macro y microscópica de los aislamientos obtenidos en doce muestras en cuatro provincias de la Amazonia Ecuatoriana. A, morfología de las distintas colonias de *trichoderma* spp., de diez días en PDA. B, morfología microscópica de las distintas colonias de *trichoderma* spp., de diez días en PDA.



SCREENING DE SELECCIÓN

Se seleccionaron 58 de 120 aislamientos y, se realizaron varios Screening de discriminación de

cada cepa para determinar distintas características entre sí y que muestren un rápido crecimiento (figura 3).

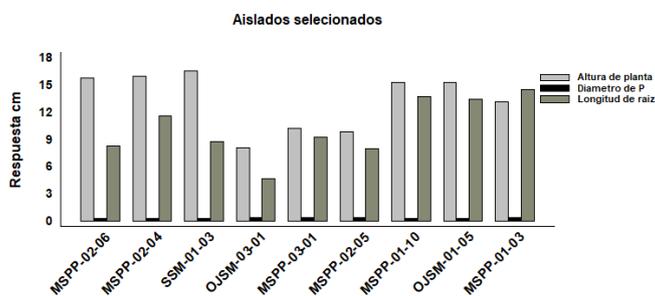
Figura 3. Efecto de la aplicación de *Trichoderma* spp., en plantas de maíz bajo invernadero.



Como se muestra en la Figura 4, los resultados del screening se tiene la selección de nueve aislamientos (tres mejores aislados de cada

variable), los cuales se utilizaron en el montaje de este trabajo de investigación.

Figura 4. Características de los aislados seleccionados como promotores de crecimiento radicular.



EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE AISLADOS DE TRICHODERMA SPP. COMO ESTIMULADORES RADICULARES

ALTURA

La variable altura se vio significativamente influenciada por los tratamientos. Sobresaliendo la cepa MSPP-02-05 que presentó la mayor altura promedio de 180 cm, seguido por OJSM-03-01 con 175 cm y SSM-01-03 con 174 cm. El tratamiento control T10 presentó la menor altitud 156 cm.

DIÁMETRO

Se observó un diámetro de caña estadísticamente idéntico entre todos los tratamientos, el mayor lo registraron las cepas MSPP-02-05, MSPP-02-06 y OJSM-01-05 con 19 mm, el tratamiento control T10 registró 17 mm.

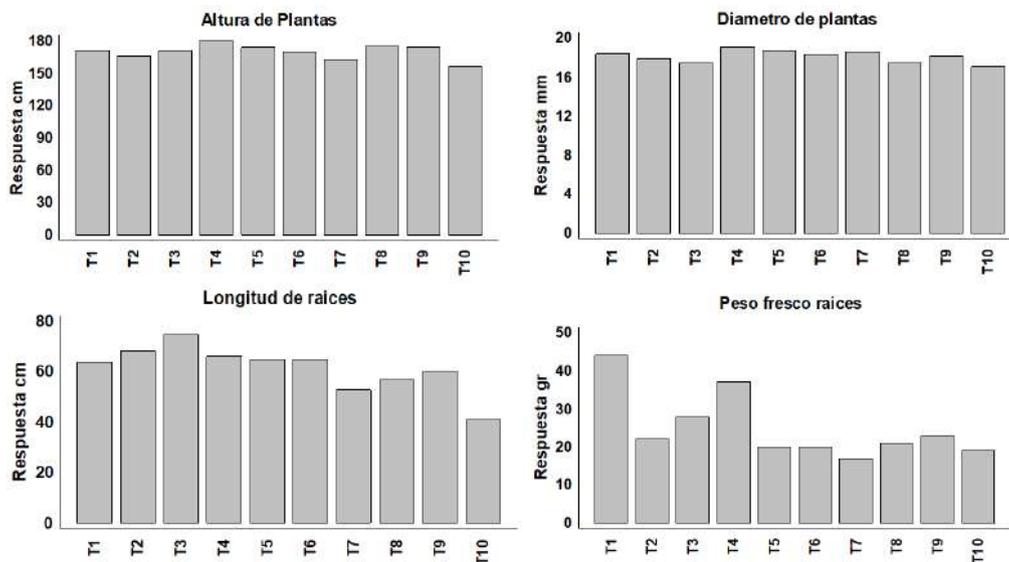
LONGITUD DE RAÍCES

La longitud de las raíces estuvo significativamente determinada por la incidencia de cada uno de los tratamientos, el mayor valor lo registró la cepa MSPP-02-04 con 75 cm, seguido por MSPP-01-10 con 68 cm, a diferencia del control T10 que registró 41 cm de longitud. Los tratamientos T1, T2, T3, T4, T5 y T6 resultaron ser estadísticamente diferentes a los demás.

PESO DE RAÍCES

El mayor peso de las raíces se registró en el aislado MSPP-01-03 con 44 g, seguido MSPP-02-05 con 37 g, sin embargo, la respuesta más baja de los tratamientos se obtuvo en la cepa OJSM-01-05 con 17 g, mientras tanto, el control registró 19 g. Con lo que se refiere a esta variable si se encontró diferencias significativas entre los aislados estudiados (figura 5).

Figura 5. Respuesta de la aplicación de una concentración 106 esporas/mL de *Trichoderma* spp., en plantas de maíz, bajo invernadero.



IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Diversas especies de *Trichoderma* son utilizadas para el control biológico contra hongos patógenos, y por su capacidad de producción de metabolitos que estimulan el crecimiento vegetal (Hoyos-Carvajal et al., 2009). La altura de la planta se podría considerar de importancia, diferentes trabajos donde se ha aplicado *Trichoderma* se vio influenciado positivamente un mayor desarrollo en plantas de maíz en relación al testigo, (Landeró Valenzuela et al., 2019; León et al., 2018; López, 2001). Las aplicaciones de *Trichoderma* en fresa aumentaron el peso de las raíces en un 32,9% al año de sus aplicaciones (Porrás et al., 2007).

Varias investigaciones han documentado el papel de los hongos del género *Trichoderma* como promotores del crecimiento radical en los cultivos de pepino y arroz (Vergara et al., 2020; Asuming-Brempong, 2013; Silva et al., 2011). Estos trabajos enfatizan la evidencia del potencial de *Trichoderma* spp., a modo estimulador del desarrollo de las plantas en asociación a su capacidad de síntesis de AIA. Por otro lado, Kumar et al. (2017), sugiere que muchas especies de *Trichoderma* spp., produce la fitohormona auxina ácido indol-3-acético (AIA).

Otros autores expresan que *Trichoderma* spp., mejora el desarrollo vegetal empleando varios mecanismos de fomento del crecimiento que incluyen mejorar la disponibilidad de nutrientes a través de la solubilización y quelación de minerales (Harman, 2006), activando H⁺-ATPasa de membrana plasmática, una enzima clave implicada en la promoción del aumento celular y en el alargamiento de la planta (López-Coria et al., 2016), mediante la liberación de elicitores (Nawrocka & Małolepsza, 2013) y la producción de *harzianolida* (Cai et al., 2013).

Para Vargas et al., (2011) y Rebolledo et al., (2020) *Trichoderma* promueve el crecimiento de las plantas y la aparición de raíces secundarias mejorando la superficie radical y, en consecuencia, la captación y movilización de nutrientes. Todos estos hechos se producen por el contacto directo del hongo con la raíz o la emisión de compuestos orgánicos volátiles. Esta investigación concuerda con lo expresado por Cumagun, (2014) donde indica que el nivel de desarrollo del crecimiento

inducido por las especies de *Trichoderma* puede ser superior en comparación con el tratamientos control.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Esta investigación demostró la capacidad de los aislados de *Trichoderma* spp., obtenidos en la región Amazónica del Ecuador, como potenciales estimuladores radiculares, la aplicación del microorganismo puede optimizar la absorción de nutrientes, aumentar el crecimiento vegetal y mejorar la tolerancia a los estreses abióticos. La estimulación del desarrollo de las plantas de maíz que se describe en este estudio muy probablemente es el resultado sinérgico de la acción metabólica de cada microorganismo probado. pero de manera especial el aislado MSPP-01-03 promovió la longitud de las raíces y pelos absorbentes, en comparación con los otros tratamientos, lo que confirma lo detallado por varios investigadores, que *Trichoderma* es capaz de estimular varias partes vegetativas. No obstante, se necesitan trabajos más específicos para estudiar a fondo los mecanismos implicados en la estimulación del crecimiento radicular por parte del aislado MSPP-01-03, además de la identificación molecular de los aislados seleccionados para esta investigación.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asuming-Brempong, S. (2013). Phosphate solubilizing microorganisms and their ability to influence the yield of rice. *Agricultural Science Research Journal*, 3(12), 379-386.
- Barnett, H. L., & Hunter, B. B. (1998). Illustrated genera of imperfect fungi. The American phytopathological society. *US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Washington State University, Pullman. APS Press. The USA. St. Paul, Minnesota USA. 218p.*
- Cai, F., Yu, G., Wang, P., Wei, Z., Fu, L., Shen, Q., & Chen, W. (2013). Harzianolide, a novel plant growth regulator and systemic resistance elicitor from *Trichoderma harzianum*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 73, 106-113. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2013.08.011> Abstract

- Colla, G., Roupshael, Y., Di Mattia, E., El-Nakhel, C., & Cardarelli, M. (2015). Co-inoculation of *Glomus intraradices* and *Trichoderma atroviride* acts as a biostimulant to promote the growth, yield, and nutrient uptake of vegetable crops. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(8), 1706-1715. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6875>
- Cumagun, C. J. R. (2014). Advances in the formulation of *Trichoderma* for biocontrol. *Biotechnology and biology of Trichoderma*, 527-531. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59576-8.00039-4>.
- do Amaral, A. C. T., de Holanda Cavalcanti Maciel, M., Machado, A. R., de Oliveira, L. G., Lima, C. S., da Costa, A. F., & de Oliveira, N. T. (2022). *Trichoderma* as a biological agent of *Fusarium oxysporum* species complex and *Vigna unguiculata* growth promoter. *European Journal of Plant Pathology*, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s10658-022-02526-6>
- Dou, K., Gao, J., Zhang, C., Yang, H., Jiang, X., Li, J., Li, Y., Wang, W., Xian, H., & Li, S. (2019). *Trichoderma* biodiversity in major ecological systems of China. *Journal of Microbiology*, 57(8), 668-675. <https://doi.org/10.1007/s12275-019-8357-7>
- Evans, H. C., Holmes, K. A., & Thomas, S. E. (2003). Endophytes and mycoparasites associated with an indigenous forest tree, *Theobroma gileri*, in Ecuador and a preliminary assessment of their potential as biocontrol agents of cocoa diseases. *Mycological Progress*, 2(2), 149-160. <https://doi.org/10.1007/s11557-006-0053-4>
- Fu, S.-F., Wei, J.-Y., Chen, H.-W., Liu, Y.-Y., Lu, H.-Y., & Chou, J.-Y. (2015). Indole-3-acetic acid: A widespread physiological code in interactions of fungi with other organisms. *Plant signaling & behavior*, 10(8), e1048052. <https://doi.org/10.1080/15592324.2015.1048052>
- Gams, W., & Bissett, J. (2002). Morphology and identification of *Trichoderma* and *Gliocladium*, 3-31.
- González-Pérez, E., Ortega-Amaro, M. A., Salazar-Badillo, F. B., Bautista, E., Douterlungne, D., & Jiménez-Bremont, J. F. (2018). The Arabidopsis-*Trichoderma* interaction reveals that the fungal growth medium is an important factor in plant growth induction. *Scientific reports*, 8(1), 1-14. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-34500-w>
- Halifu, S., Deng, X., Song, X., & Song, R. (2019). Effects of two *Trichoderma* strains on plant growth, rhizosphere soil nutrients, and fungal community of *Pinus sylvestris* var. *Mongolica* annual seedlings. *Forests*, 10(9), 758. <https://doi.org/10.3390/f10090758>
- Harman, G. E. (2006). Overview of Mechanisms and Uses of *Trichoderma* spp. *Phytopathology*, 96(2), 190-194. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-96-0190>
- Holmes, K. A., Schroers, H.-J., Thomas, S. E., Evans, H. C., & Samuels, G. J. (2004). Taxonomy and biocontrol potential of a new species of *Trichoderma* from the Amazon basin of South America. *Mycological Progress*, 3(3), 199-210. <https://doi.org/10.1007/s11557-006-0090-z>
- Hoyos-Carvajal, L., Orduz, S., & Bissett, J. (2009). Growth stimulation in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by *Trichoderma*. *Biological control*, 51(3), 409-416. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2009.07.018>
- Jaisani, P., & Pandey, R. (2017). Morphological and molecular characterization for identification of isolates of *Trichoderma* spp. From rhizospheric soils of crops in middle Gujarat. *Indian Phytopathology*, 70(2), 238-245. <https://doi.org/10.24838/ip.2017.v70.i2.71652>
- Kumar, N. V., Rajam, K. S., & Rani, M. E. (2017). Plant growth promotion efficacy of indole acetic acid (IAA) produced by a mangrove-associated fungi-*Trichoderma viride* VKF3. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(11), 2692-2701. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.611.317>
- Landero Valenzuela, N., Lara Viveros, F. M.,

- Rodríguez Ortega, A., Pérez Vite, A., & Ortiz Hernández, A. (2019). *Trichoderma* as a possible mycoparasite of *Sporisorium reilianum* and its influence on maize yield. *Entreciencias: diálogos en la sociedad del conocimiento*, 7(20), 13-23. <https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2019.20.67345>.
- León, J., Brito, O., & Manssu, F. (2018). *Evaluación del control biológico de Spodoptera frugiperda en el cultivo de maíz*. <https://doi.org/10.26910/issn.2528-8083vol3iss11.2018pp18-23p>
- López, H. A. (2001). Integrated strategies for the control of plant diseases. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 54(1 y 2), 1251-1273.
- López-Coria, M., Hernández-Mendoza, J. L., & Sánchez-Nieto, S. (2016). *Trichoderma asperellum* induces maize seedling growth by activating the plasma membrane H⁺-ATPase. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 29(10), 797-806. <https://doi.org/10.1094/MPMI-07-16-0138-R>
- Martínez-Medina, A., Pozo, M. J., Cammue, B., & Vos, C. M. (2016). Belowground defense strategies in plants: The plant-*Trichoderma* dialogue. *Belowground defence strategies in plants*, 301-327. https://doi.org/10.1007/978-3-319-42319-7_13
- Nawrocka, J., & Małolepsza, U. (2013). Diversity in plant systemic resistance induced by *Trichoderma*. *Biological control*, 67(2), 149-156. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2013.07.005>
- Porras, M., Barrau, C., & Romero, F. (2007). Effects of soil solarization and *Trichoderma* on strawberry production. *Crop Protection*, 26(5), 782-787. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2006.07.005>
- Poveda, J. (2020). *Trichoderma parareesei* favors the tolerance of rapeseed (*Brassica napus* L.) to salinity and drought due to a chorismate mutase. *Agronomy*, 10(1), 118. <https://doi.org/10.3390/agronomy10010118>
- Rebolledo-Prudencio, O. G., Dautt-Castro, M., Estrada-Rivera, M., del Carmen González-López, M., Jijón-Moreno, S., & Casas-Flores, S. (2020). *Trichoderma* in the rhizosphere: An approach toward a long and successful symbiosis with plants. *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*, 3-38. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819453-9.00001-5>
- Rifai, M. A. (1969). A revision of the genus *Trichoderma*. *Mycological papers*, 116, 1-56.
- Said, S. D. (2007). Spore production of biocontrol agent *Trichoderma harzianum*: Effect of C/N ratio and glucose concentration. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 6(1), 35-40.
- Samuels, G. J. (1996). *Trichoderma*: A review of biology and systematics of the genus. *Mycological Research*, 100(8), 923-935. [https://doi.org/10.1016/S0953-7562\(96\)80043-8](https://doi.org/10.1016/S0953-7562(96)80043-8)
- Samuels, G. J., & Hebbbar, P. K. (2015). *Trichoderma: Identification and agricultural applications*. APS Press.
- Silva, V. N. da, Guzzo, S. D., Lucon, C. M. M., & Harakava, R. (2011). Promoção de crescimento e indução de resistência à antracnose por *Trichoderma* spp. Em pepineiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46, 1609-1618. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001200005>
- Souza, R. de, Ambrosini, A., & Passaglia, L. M. (2015). Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. *Genetics and molecular biology*, 38, 401-419. <https://doi.org/10.1590/S1415-475738420150053>
- Taylor, J. T., Harting, R., Shalaby, S., Kenerley, C. M., Braus, G. H., & Horwitz, B. A. (2022). Adhesion as a Focus in *Trichoderma*-Root Interactions. *Journal of Fungi*, 8(4), 372. <https://doi.org/10.3390/jof8040372>
- Vargas, W. A., Crutcher, F. K., & Kenerley, C. M. (2011). Functional characterization of a plant-like

- sucrose transporter from the beneficial fungus *Trichoderma virens*. Regulation of the symbiotic association with plants by sucrose metabolism inside the fungal cells. *New Phytologist*, 189(3), 777-789. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03517.x>
- Velazquez, E. B. (2019). *Biodiversity in Ecuador*. <http://190.57.147.202:90/xmlui/bitstream/handle/123456789/303/La%20Biodiversidad.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vergara, J. A., García, A., Vera, E., & Pazmiño, D. (2020). Morphophysiological responses of the root of rice (*Oryza sativa* L.) variety SFL 11 in the nursery phase to the application of native strain of *Trichoderma* sp. And bovine vermicompost leachate *La Técnica*, 23, 13-24. http://dx.doi.org/10.33936/la_tecnica.voi23.2082
- Weindling, R. (1932). *Trichoderma lignorum* is a parasite of other soil fungi. *Phytopathology*, 22(8), 837-845.
- Zhou, C., Guo, R., Ji, S., Fan, H., Wang, J., Wang, Y., & Liu, Z. (2020). Isolation of *Trichoderma* from forestry model base and the antifungal properties of isolate TpsT17 toward *Fusarium oxysporum*. *Microbiological Research*, 231, 126371. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2019.126371>