

Publicado con acceso abierto en [la revista](#)

BiNET Vol. 27, número 01: 2252-2257

Revista de Investigación en Biociencia y
AgriculturaPágina de inicio de la revista: www.journalbinet.com/jbar-journal.html

Impacto de la aplicación de Trichoderma como bioestimulador en la supresión de enfermedades, crecimiento y rendimiento de la patata

M. Rakibuzzaman¹, M. H. Akand¹, Mahbuba Siddika² y A. F. M. Jamal Uddin¹¹Departamento de Horticultura, Universidad Agrícola de Sher-e-Bangla²Departamento de Química Agrícola, Universidad Agrícola de Sher-e-Bangla✉ Para cualquier información: jamal4@yahoo.com (A F M Jamal Uddin)

Artículo recibido: 02.04.2021; Revisado: 16.04.2020; Publicado por primera vez en línea: 30 de abril de 2021.

RESUMEN

El uso excesivo de fertilizantes químicos y productos químicos sintéticos para aumentar el crecimiento y el rendimiento, así como para controlar las enfermedades, a menudo reduce la fertilidad del suelo y afecta negativamente a la salud humana y al medio ambiente. Por ello, se realizó un experimento en la granja de horticultura de la Universidad Agrícola de Sher-e-Bangla, Dhaka, durante el período comprendido entre noviembre de 2016 y marzo de 2017, para estudiar el impacto de la aplicación de Trichoderma como bioestimulador en la producción de patatas. El estudio comprendía tres tratamientos con Trichoderma, (i) T0= Sin aplicación de Trichoderma, (ii) T1= 106 esporas/ml y (iii) T2= 108 esporas/ml. Se aplicó una solución de Trichoderma de 1ml/L (1000 ppm) dos veces en cada parcela a los 15 y 45 días después de la siembra (DAP). Los datos sobre el rendimiento del crecimiento y los parámetros de supresión de enfermedades mostraron una variación significativa. Los resultados indicaron que la aplicación de Trichoderma aumentó positivamente los atributos de crecimiento y produjo un 23,82% y un 11,33% más de rendimiento en T2 y T1 en comparación con la no aplicación de Trichoderma, respectivamente. Trichoderma (108 esporas/ml) mejoró el rendimiento de los tubérculos al optimizar el contenido de materia seca. Además, la aplicación de Trichoderma disminuyó la infestación de enfermedades y el mejor resultado (1,60%) se registró en T2. Por lo tanto, la aplicación de 108 esporas/ml de Trichoderma puede considerarse un bioestimulador potencial para la producción de patatas con un mayor crecimiento, rendimiento y supresión de enfermedades.

Palabras clave: Bioestimulador, agente de biocontrol, contenido de materia seca y concentración de esporas

Cite el artículo: Rakibuzzaman, M. Akand, M. H. Siddika, M. y Uddin, A. F. M. J. (2021).Impacto
de



I. Introducción

El crecimiento de la planta de la patata y el rendimiento del tubérculo se ven afectados por varias enfermedades fúngicas, que reducen el rendimiento y el valor de mercado. *Phytophthora spp*, *Rhizoctonia solani* son los hongos patógenos más graves para la producción de patatas. El tizón tardío de la patata causado por *Phytophthora infestans* es una de las enfermedades más importantes en las zonas de cultivo de la patata en todo el mundo, y las pérdidas de las cosechas debidas a esta enfermedad pueden alcanzar el 50% (Goodwin et al., 1994). Los agricultores utilizan varios fungicidas para controlar la afección fúngica en el campo de la patata, lo que aumenta la situación de riesgo químico. Para controlar las enfermedades fúngicas, así como para mejorar el crecimiento y el desarrollo del cultivo, la aplicación de fungicidas y productos químicos contra el patógeno es

no son rentables ni respetuosos con el medio ambiente (Uddin et al., 2017). Por otro lado, los agentes de control biológico pueden combatir la enfermedad (Yanpo et al., 2015) y mejorar el crecimiento y el desarrollo de las plantas (Sani et al., 2020). *Trichoderma* es un hongo de vida libre, contiene muchas cepas y especies, de las cuales algunas son saprofitas mientras que otras son patógenas para otros hongos como *pythium*, *phytophthora* (Mohsin et al., 2010). Se utiliza en biotecnología agrícola y se emplea ampliamente como agente de control biológico contra importantes patógenos aéreos y de suelo. También se utiliza como bioestimulante (Yanpo et al., 2015). *Trichoderma* se formula y comercializa como agente biológico para controlar diferentes hongos patógenos y tiene un efecto significativo en el crecimiento y el rendimiento. Mediante la aplicación de *Trichoderma spp.* en los cultivos, los rendimientos se incrementaron significativamente (Elad et al., 1981; Jamal Uddin et al., 2020). *Trichoderma* tiene una influencia directa sustancial en el desarrollo de las plantas y la productividad de los cultivos (Harman, 2006). La aplicación de *Trichoderma* en el suelo como agente biológico no sólo resultó en la reducción de la severidad de la enfermedad, sino que también mejoró el crecimiento y el desarrollo de la planta como un estimulador (Inbar et al., 1994) basado en otro estudio (Purwantisari et al., 2018; Molla et al., 2012). *Trichoderma* se utiliza como un biofertilizante para reducir la enfermedad de la patata y aumentar la disponibilidad de nutrientes de la zona de la raíz de la patata para promover el crecimiento, los atributos de rendimiento y la calidad de la patata. Por lo tanto, este estudio tiene como objetivo determinar el impacto bioestimulante de *Trichoderma* en el crecimiento y el rendimiento de la producción de patatas, así como la supresión de enfermedades.

II. Materiales y métodos

Sitio experimental

El experimento de campo se llevó a cabo en la granja de horticultura de la Universidad Agrícola de Sher-e-Bangla, Dhaka, durante el período comprendido entre noviembre de 2016 y marzo de 2017. La ubicación del sitio experimental es ²³07'4" latitud N y ⁹⁰03'5" longitudes y en una elevación de 8,2 m desde el nivel del mar en la Zona Agro-Ecológica de Madhupur Tract (AEZ 28). El pH del suelo de la zona estudiada era ligeramente ácido y oscilaba entre 5,5 y 6,0.

Plantación de tubérculos de siembra y gestión de cultivos

Se recogieron tubérculos de semilla de tamaño uniforme, sanos y libres de enfermedades, de la variedad de patata Cardinal del Instituto de Investigación Agrícola de Bangladesh (BARI) y se cortaron en trozos más pequeños con dos o más brotes. A continuación, se almacenaron a temperatura ambiente y, se dejó que se pusieran firmes, lo que garantizó que se redujera la podredumbre y se plantaron al día siguiente. El terreno se preparó bien y se dividió en 9 parcelas. El tamaño de cada parcela era de 2,4 m × 1,5 m y el espaciado se mantuvo en 60 cm × 25 cm. Por término medio, los tubérculos de siembra se plantaron a 4-5 cm de profundidad en el suelo. Se practicaron las prácticas de manejo estándar para la producción de patatas.

Diseño y tratamiento del experimento

El experimento de campo se realizó con tres réplicas siguiendo el Diseño de Bloques Completos Aleatorios (DCA). Este estudio se realizó con tres concentraciones de esporas de *Trichoderma*: T0= Sin aplicación de *Trichoderma*, T1= ¹⁰6 esporas/ml, T2= ¹⁰8 esporas/ml.

Preparación y aplicación de la solución de esporas de *Trichoderma*

Se preparó *Trichoderma harzianum* y se recogió en el Centro Avanzado de Investigación y Biotecnología de Semillas (ASRBC), ACI Limited. Las nuevas esporas cultivadas se contaron bajo el microscopio de luz. El cultivo de esporas de reserva se mezcló en agua esterilizada en autoclave para hacer la solución objetivo para el ensayo de campo. La espora de *Trichoderma* objetivo de 1 ml se mezcló con 1 litro de agua y luego se aplicó en el campo dos veces en cada parcela a los 15 y 45 días después de la siembra (DAP).

Observación del crecimiento vegetativo y del rendimiento

La recogida de datos se realizó en cada parcela a partir de plantas de patata seleccionadas al azar saltándose el efecto de los bordes. Se recogieron datos sobre la altura de las plantas (20, 35, 50, 65 y 80 DAP) y el número de hojas (20, 40, 60 y 80 DAP). El valor de SPAD se midió a los 60 días después de la plantación (15 días después de la aplicación de dos veces). Los valores de SPAD de las hojas de patata se determinaron utilizando un medidor automático de SPAD (medidor Minolta SPAD-502). Se

tomaron tres folíolos apicales de una hoja joven completamente extendida para el valor SPAD. Número de tallos por colina contados antes de la cosecha. Las patatas cosechadas se contaron, se pesaron y se calculó el rendimiento. La diferencia de rendimiento respecto al control se calculó mediante la siguiente fórmula,

$$\text{Diferencia de rendimiento (\%)} = \frac{\text{Rendimiento de la parcela de tratamiento} - \text{Rendimiento del control}}{\text{Rendimiento del control}} \times 100$$

Determinación del contenido de materia seca en el tubérculo de la patata

Para la determinación de la materia seca, 100g de tubérculos de patata secados al sol se cortaron en trozos y se secaron durante 48 horas a 70-80°C en un horno. A continuación, los trozos secos se pesaron y se registraron como porcentajes (%).

Determinación de la infestación por enfermedades

Se realizaron observaciones visuales diarias para investigar las enfermedades de las plantas de patata. Si se encontraba algún síntoma en las hojas o en los tallos, se marcaban las plantas y se contaban como plantas enfermas. En el caso de los tubérculos, la observación se realizó durante la cosecha de los mismos. Los síntomas de la enfermedad fueron monitoreados diariamente en base a los rangos de la escala de la enfermedad de 0 a 2, donde 0: Ningún síntoma de la enfermedad, 1: infección parcial, 2: infección severa. Al final, las escalas 1 y 2 se fusionaron y se registraron como porcentajes.

Análisis estadístico

Los datos registrados para los diferentes parámetros se analizaron estadísticamente utilizando el programa informático MSTAT-C para averiguar la importancia de la variación entre los tratamientos y las medias de los tratamientos se compararon mediante la prueba de rangos múltiples de Duncan (DMRT) a un nivel de probabilidad del 5%.

III. Resultados

Crecimiento vegetativo de la planta, valor SPAD y contenido de materia seca del tubérculo

La aplicación de diferentes concentraciones de esporas de *Trichoderma* aumenta significativamente la altura de la planta, el número de hojas y el número de tallos por colina. La altura máxima de la planta (23,2, 39,3, 52,2, 63,4 y 72,6 cm) se registró en la concentración más alta de la solución de *Trichoderma* (T2) y la altura mínima (17,5, 30,4, 43,5, 54,5 y 60,2 cm) se encontró en la condición de control (T0) a los 20, 35, 50, 65 y 80 días después de la siembra, respectivamente (Figura 01). En el caso del número de hojas por planta, el número máximo de hojas (8,3, 19,2, 32,0 y 42,2) se encontró en T2 y el mínimo (7,0, 15,1, 26,7 y 36,3) en T0 con 20, 40, 60 y 80 días después de la siembra (Figura 02). El número máximo de tallos por colina (5,11) se registró en el tratamiento T2, que fue (4,61) estadísticamente similar con (T1) y el número más bajo (3,76) se registró en T0 (Tabla 01) en la misma DAP. El valor máximo de SPAD (46,96%) y el peso seco del tubérculo (19,99%) se alcanzaron en el tratamiento T2. Sin embargo, el valor SPAD más bajo (37,64) y el contenido de materia seca (18,50) se observaron en T0 (Tabla 01).

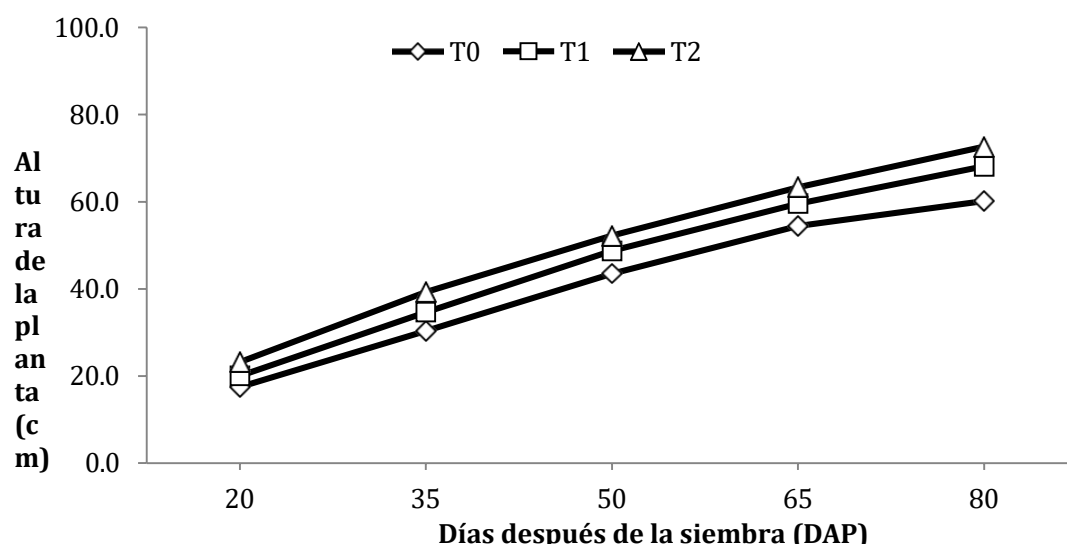


Figura 01. Efecto de la aplicación de *Trichoderma* en la altura de la planta de patata a diferentes días después de la siembra.

Parámetros de la enfermedad

Se contaron las plantas infectadas por la enfermedad y se calcularon los porcentajes de infestación. La mayor concentración de esporas de *Trichoderma* reveló los mejores resultados en las plantas infectadas por la enfermedad. Así, se registró una menor infestación (1,60%) en ¹⁰⁸ esporas/ml de

Trichoderma. Además, cuando se aplicó Trichoderma con 10^8 esporas/ml o con 10^6 esporas/ml se observó un impacto destacado en la supresión de las enfermedades, ya sea con 10^6 o 10^8 esporas/ml, en comparación con la no aplicación de Trichoderma. Por otro lado, se observó la máxima infestación de enfermedades en la planta control (23,81%) (Tabla 01).

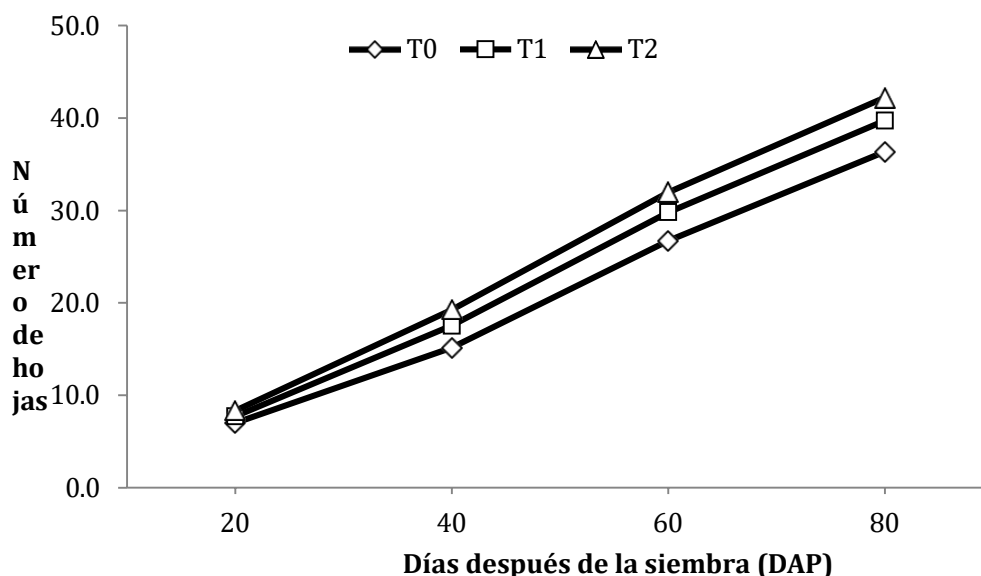


Figura 02. Efecto de Trichoderma en el número de hojas por colina de la patata a diferentes días después de la plantación

Tabla 01. Efecto significativo de la concentración de esporas de Trichoderma sobre los parámetros de crecimiento y de infestación de la planta de patata.

Tratamiento	Número de tallo colina-1	Valor del SPAD	Contenido de materia seca	Infestación de enfermedades (%)
T0	3.76 b	37.64 c	18.50 c	23.81 c
T1	4.61 a	44.49 b	19.12 b	4.77 b
T2	5.11 a	46.96 a	19.99 a	1.60 a
CV %	6.84	2.86	0.86	9.39
LSD _(0,05)	0.70	0.76	0.10	2.14

Aquí, T0= Sin aplicación de Trichoderma, T1= 10^6 esporas/ml, T2= 10^8 esporas/ml

Atributos de rendimiento y observaciones de rendimiento

Las variables que contribuyen al rendimiento mostraron una variación significativa entre las diferentes concentraciones de esporas de la aplicación de Trichoderma (Tabla 02). La aplicación de 10^8 esporas/ml de Trichoderma mostró un mejor rendimiento en la mejora del número de tubérculos por colina (5,10), el peso del tubérculo individual (106,8 g), el rendimiento por colina (0,51 kg) y el rendimiento por hectárea (34,31 t). Sin embargo, el resultado más bajo se observó en la no aplicación de Trichoderma (Tabla 02). Se calculó el aumento del rendimiento sobre el control y los resultados mostraron que la aplicación de Trichoderma aumentó el rendimiento y produjo un 23,82% y un 11,33% más de rendimiento en T2 y T1 en comparación con la no aplicación de Trichoderma respectivamente (Tabla 02).

Tabla 02. Efecto de la aplicación de Trichoderma sobre los atributos de rendimiento de la patata

Tratamiento	Número de tubérculos por colina	Peso individual del tubérculo (g)	Rendimiento por colina (kg)	rendimiento/ha (t)	Diferencia de rendimiento (%)
T0	4.10 c	102.9 c	0.42 c	27.71 c	-
T1	4.60 b	104.5 b	0.46 b	30.85 b	11.33
T2	5.10 a	106.8 a	0.51 a	34.31 a	23.82
CV %	3.97	0.69	7.34	0.77	
LSD _(0,05)	0.41	0.45	0.02	0.15	

Aquí, T0= Sin aplicación de Trichoderma, T1= 10^6 esporas/ml, T2= 10^8 esporas/ml, LSD: Diferencia mínima significativa

IV. Discusión

Trichoderma ha sido reconocido como promotor del crecimiento de las plantas debido al efecto estimulante del crecimiento y la promoción de un gran número de diferentes especies de plantas, incluyendo frutas, verduras y cultivos forestales (Lynch et al., 1991; Dorais, 2007). El impacto de Trichoderma en la altura de la planta de la patata estaba en armonía con los hallazgos de Uddin et al. (2016); Uddin et al. (2015) e ilustró que el crecimiento vegetativo

crecimiento de la planta promovido por el efecto de la aplicación de Trichoderma. Diferentes concentraciones de Trichoderma tienen un impacto positivo en la promoción del crecimiento de la planta y el aumento del rendimiento (Uddin et al., 2017; Jamal uddin et al., 2020). Trichoderma tiene la capacidad de sintetizar antibióticos, parasitar a otros hongos y competir con microorganismos fúngicos dañinos, lo que exhibe efectos positivos en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Harman et al., 2004). Trichoderma estimula el crecimiento de las plantas mediante varios mecanismos como el micoparasitismo, la antibiosis, la degradación de toxinas, la inactivación de las vías enzimáticas patógenas, la resistencia contra los patógenos, el aumento de la absorción de nutrientes, la solubilización, el secuestro de nutrientes inorgánicos y la mejora del desarrollo de las raíces (Lorito et al., 2010). Lo y Lin (2002) mostraron que las concentraciones de clorofila en las hojas eran mayores en las plantas tratadas con Trichoderma que en las no tratadas en pepino. Trichoderma actúa como un agente de control biológico que puede combatir la enfermedad de la patata estudiada por Yanpo et al. (2015) también tuvo un efecto antagónico sobre la enfermedad de phytophthora (Fatima et al., 2015). El rendimiento en Trichoderma es apoyado por el estudio, que muestra un aumento significativo en el rendimiento de trigo de alrededor del 29% en Jaipur y 36% en Kota (Sharma et al., 2012). *Trichoderma harzianum* puede solubilizar el fosfato y los micronutrientes que podrían ponerse a disposición de las plantas, lo que promueve el aumento de la altura de la planta (Li et al., 2015). Mohsin et al. (2010) mostraron que Trichoderma aumentó la eficacia, protegió la planta de patata y, en última instancia, aumentó el rendimiento en comparación con las condiciones de control. Trichoderma no sólo mejora el crecimiento vegetativo y el rendimiento, sino que también aumenta la calidad. Optimiza la forma y el tamaño de los tubérculos que promueven la producción de patatas. El aumento de la materia seca total debido al tratamiento con Trichoderma puede atribuirse al efecto acumulativo del aumento del índice de área foliar, los valores de SCMR, el aumento de la absorción de nutrientes y el aumento de la tasa de fotosíntesis (Yemineni et al., 2019).

V. Conclusión

La aplicación de Trichoderma ¹⁰⁸ esporas ml⁻¹ L⁻¹ aumentó no sólo el crecimiento sino también el rendimiento en un 23,8% en comparación con la no aplicación de Trichoderma. También suprimió diferentes enfermedades y aumentó la calidad de los tubérculos. Por lo tanto, puede decirse que Trichoderma tiene un efecto bioestimulante sobre el crecimiento, el rendimiento y la supresión de enfermedades. Por lo tanto, Trichoderma ¹⁰⁸ esporas/ml puede considerarse como la concentración óptima de esporas para la producción de patatas.

Agradecimiento

Agradecemos al Ministerio de Ciencia y Tecnología de Bangladesh el apoyo financiero para el trabajo de investigación. También agradecemos al Laboratorio de Innovación en Horticultura por el apoyo de materiales experimentales.

VI. Referencias

- [1]. Dorais, M. (2007). La producción ecológica de hortalizas: estado del arte y desafíos. Canadian Journal of Plant Science, 87, 1055-1066. <https://doi.org/10.4141/CJPS07160>
- [2]. Elad, Y., Chet, I. y Henis, Y. (1981). Biological control of Rhizoctonia solani in Strawberry fields by Trichoderma spp. Plant and Soil, 60, 245-254. <https://doi.org/10.1007/BF02374109>
- [3]. Fatima, K., Karkachi, N., Jamal, H. y Kihal, M. (2015). Efecto antagónico de *Trichoderma harzianum* contra *Phytophthora infestans* en el noroeste de Argelia. International Journal of Agronomy and Agricultural Research, 6(4), 44-53.
- [4]. Goodwin, S. B., Cohen, B. A. y Fry, W. E. (1994). Panglobal distribution of a single clonal image of the Irish potato famine fungus. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 91, 11591-11595. <https://doi.org/10.1073/pnas.91.24.11591>
- [5]. Harman, G. E. (2006). Overview of mechanism and uses of Trichoderma spp. Phytopathology, 96, 190-194. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-96-0190>
- [6]. Harman, G. E., Howell, C. R., Viterbo, A., Chet, I. y Lorito, M. (2004). Trichoderma species-opportunistic, a virulent plant symbionts. Nature Reviews Microbiology, 2, 43-56. <https://doi.org/10.1038/nrmicro797>

- [7]. Inbar, J., Abramsky, M. y Chet, I. (1994). Trichoderma spp en plántulas de hortalizas en condiciones comerciales. European Journal of Plant pathology. 100, 337-346.
<https://doi.org/10.1007/BF01876444>

- [8]. Jamal Uddin, A. F. M., Sabrina, N., Husna, M. A., Imam, M. H. y Rakibuzzaman, M. (2020). Bio-Efficacy of *Trichoderma harzianum* Spore Concentrations on Tomato Production. *International Journal of Business, Social and Scientific Research*, 8(3), 124-129.
- [9]. Li, R. X., Cai, F., Pang, G., Shen, Q. R., Li, R. y Chen, W. (2015). Solubilización de fosfato y micronutrientes por *Trichoderma harzianum* y su relación con la promoción del crecimiento de la planta de tomate. *PLoS One*, 10 (6), e0130081. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130081>
- [10]. Lo, C. T. y Lin, C. Y. (2002). Screening strain of *Trichoderma* spp for plant growth enhancement in Taiwan. *Plant Pathology Bulletin*, 11, 215-220.
- [11]. Lorito, M., Woo, S. L., Harman, G. E. y Monte, E. (2010). Translational research on *Trichoderma*: from 'omics to the field, *Annual Review of Phytopathology*, 48, 395-417.
- [12]. Lynch, J. M., Wilson, K. L., Ousley, M. A. y Whipps, J. M. (1991). Response of lettuce to *Trichoderma* treatment. *Letters in Applied Microbiology*, 12 (2), 59-61. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.1991.tb00503.x>
- [13]. Mohsin, T., Sumera, Y. y Fauzia Hafeez, Y. (2010). Biological control of potato black scurf by rhizosphere associated bacteria. *Brazilian Journal of Microbiology*, 41, 439-451. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822010000200026>
- [14]. Molla, A. H., Haque, M. M., Haque, M. A. y Ilias, G. N. M. (2012). *Trichoderma*-Enriched Biofertilizer Enhances Production and Nutritional Quality of Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) and Minimizes NPK Fertilizer Use. *Agricultural Research*, 1, 265-272. <https://doi.org/10.1007/s40003-012-0025-7>
- [15]. Purwantisari, S., Priyatmojo, A., Sancayaningsih, R. P., Kasiamdari, R. S. y Budihardjo, K. (2018). La resistencia de las patatas mediante la aplicación de hongos antagonistas de *Trichoderma viride*. *E3S Web of Conferences* 73, 06014. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20187306014>
- [16]. Sani, M. N. H., Hasan, M., Uddain, J. y Subramaniam, S. (2020). Impact of application of *Trichoderma* and biochar on growth, productivity and nutritional quality of tomato under reduced N-P-K fertilization. *Annals of Agricultural Sciences*, 65(1), 107-115 <https://doi.org/10.1016/j.aosas.2020.06.003>
- [17]. Sharma, P., Patel, A. N. M., Saini, K. y Deep, S. (2012). Demostración de campo de *Trichoderma harzianum* como promotor del crecimiento de la planta en el trigo (*Triticum aestivum* L). *Journal of Agricultural Science*, 4 (8), 65-73. <https://doi.org/10.5539/jas.v4n8p65>
- [18]. Uddin, A. F. M., Ahmad, H., Hasan, M. R., Mahbuba, S. y Roni, M. Z. K. (2016). Efectos de *Trichoderma* spp. en los caracteres de crecimiento y rendimiento del tomate BARI-14. *International Journal of Business, Social and Scientific Research*, 4(2), 117-122.
- [19]. Uddin, A. F. M., Hussain, M. S., Rahman, Sk. S., Ahmad, H. y Roni, M. Z. K. (2017). Potencial de *Trichoderma* como estimuladores del crecimiento vegetal consistente de la fresa. *International Journal of Business, Social and Scientific Research*, 5(2), 155-158.
- [20]. Uddin, A. F. M., Hussain, M. S., Rahman, Sk. S., Ahmad, H. y Roni, M. Z. K. (2015). Efecto de las concentraciones de trichoderma en el crecimiento y el rendimiento del tomate. *Bangladesh Research Publication Journal*, 11(3), 228-232.
- [21]. Yanpo, Y., Li, Y., Zhang, C. y Wang, Q. (2015). Control biológico del tizón tardío de la patata utilizando aislados de trichoderma. *American Journal of potato Research*, 93(1), 33-42. <https://doi.org/10.1007/s12230-015-9475-3>
- [22]. Yemineni, R., Narender Reddy, S., Lakshamma, P., Lavanya, B., Santhosh, B. y Dayakar Reddy, T. (2019). Influencia de *Trichoderma* en la fotosíntesis y la partición de la materia seca en el girasol. *International Journal of Pure Applied Bioscience*, 7(3), 163-171. <https://doi.org/10.18782/2320-7051.5122>