Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTAGÓNICA DE *Trichoderma yunnanense* FRENTE A LA MARCHITEZ DEL TRIGO (*Triticum aestivum*) CAUSADA POR *Fusarium* spp.

Vanessa Citlali Guevara- Fonseca[1]; José Gómez- Espinoza[2]; Mariana Quiroz González[1]; Anabel Flores- Lee[1]

[1]Tecnologico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Abasolo. Blvd. Cuitzeo de los Naranjos #401, Col. Cuitzeo de los naranjos. C.P. 36976, Abasolo, Gto. [2] Tecnológico Nacional de México-Roque, Km 8 carretera J. Rosa-Celaya, C.P. 38110 Celaya, Gto. Autor de correspondencia: anabel.fl@abasolo.tecnm.mx

RESUMEN

El trigo es afectado por enfermedades fúngicas, siendo *Fusarium spp.* uno de los hongos más comunes que atacan a este cultivo. Son las diversas cepas de este patógeno el agente causal de pérdidas de hasta un 90%, por lo cual es de suma importancia buscar una alternativa para ello. El objetivo de esta investigación fue evaluar el nivel de antagonismo con el que contaron cuatro cepas de *Trichoderma yunnanense,* frente a cepas de *Fusarium spp*., las cuales fueron aisladas de plantas de trigo con síntomas característicos de la enfermedad. Se realizó la identificación morfológica de *Fusarium* spp. utilizando cámaras húmedas para poder llevar a cabo su identificación para su posterior confrontación. Se implementó un diseño experimental de cuadros completamente al azar, el cual estaba constituido de 20 bloques con 5 repeticiones cada uno, donde los tratamientos con mayor porcentaje de indivisión fueron para la cepa de *Trichoderma yunnanense* T3 la cual, para el día catorce, contaba con 64.54% y la cepa con menos porcentaje fue para la cepa T1 con 60.10%, el cual no mostró diferencias significativas hablando estadísticamente. Sin embargo, para las cepas del hongo patógeno se mostraron diferencias en el cual la cepa con mayor inhibición fue para la cepa de *Fusarium sp.* 1/M3-R2 con 39.48% y para la cepa con menor porcentaje fue para *Fusarium* 3/ M1-R2R con 32.41%, lo cual muestra que el uso de *Trichoderma yunnanense* es una alternativa viable para el control de hongos fitopatógenos.

Palabras clave: *patógenos, enfermedades fúngicas, control biológico, micoparasitismo.*

ABSTRACT

Wheat is highly susceptible to fungal diseases, being *Fusarium* spp. one of the most common fungi attacking this crop. Various of this pathogen strains are the losses causal agent up to 90%, making it crucial to find an alternative. The research objective was to evaluate the antagonism level exhibited by four *Trichoderma yunnanense* strains against Fusarium spp. strains, which were isolated from wheat plants exhibiting the disease characteristic symptoms. Fusarium spp. morphological identification was performed using humid chambers to

facilitate identification for subsequent comparison. A completely randomized square experimental design was implemented, consisting of 20 blocks with 5 replicates each. The treatments with the highest inhibition percentage were for *Trichoderma yunnanense* strain T3, which, by day fourteen, had 64.54% inhibition, while the strain with the lowest percentage was T1 with 60.10%, which did not show statistically significant differences. However, differences were observed for the pathogenic fungal strains, with the strain showing the highest inhibition being *Fusarium* sp. 1/M3-R2 at 39.48%, and the strain with the lowest percentage being *Fusarium* 3/M1-R2R at 32.41%. This shows that *Trichoderma yunnanens*e use is a viable alternative for the phytopathogenic fungi control.

Keywords: *pathogens, fungal diseases, biological control, mycoparasitism*

INTRODUCCIÓN

El trigo es un cereal originario del oeste de Asia que se cultiva desde hace más de 6000 años (Abbate, 2017). Es uno de los cultivos más sembrados a nivel global, en el hemisferio norte se siembra el 90% del trigo, se produce el 93% esto debido a que este cereal posee características que lo hacen único, ya que la harina posee gluten, sustancia gelatinosa que se forma a partir de las proteínas del grano (Abbate, 2023). La Secretaría de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP] reportó que, en 2024, México contó con una producción de 2,648,377.74 toneladas de trigo, donde el estado de Guanajuato aportó una cosecha de 200 678.20 toneladas y un valor de producción de 1 317 271.57 miles de pesos, ocupando el séptimo lugar nacional en producción de trigo (SIAP, 2024). Este cultivo es uno de los más afectados en todo el mundo debido a distintos microorganismos fitopatógenos, especialmente por hongos que afectan su productividad y rendimiento hasta un 89%. En este cereal, se han identificado diversos grupos de hongos que provocan problemas como la pudrición de la raíz, el tallo y la corona (PRC) (Suaste et al., 2020). Esta enfermedad ataca diferentes tipos de cereales, sin embargo, ha sido más común en áreas trigueras; su sintomatología consta de la aparición de manchas oscuras especialmente en los entrenudos en la corona y raíces, siendo asociados con diversos tipos de especies de *Fusarium* (Xiong et al., 2023). Estos son hongos saprófitos provocan diversas enfermedades, debido a su producción de micotoxinas, teniendo por huéspedes especialmente al cultivo del trigo, destacando este entre los cereales más afectados (Mokobi, 2021). Como medida sustentable en la protección de cultivos ante enfermedades, existen diversos hongos que son utilizados como control biológico, siendo el género *Trichoderma* spp., el tipo de agente biocontrolador más comúnmente utilizado contra algunos hongos fitopatógenos, ya que ha demostrado que cuenta con capacidad antagónica contra hongos causantes de la marchitez y pudrición en la zona radicular (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria [SENASICA], 2015). El uso de *Trichoderma spp.* resulta como una alternativa sostenible y eficaz para reducir el uso de fungicidas químicos. *Trichoderma yunnanense* actúa como promotor de crecimiento vegetal y aporta

actividades antagónicas contra hongos fitopatógenos (Karmakar et al., 2021). El propósito de esta investigación se enfocó en analizar y demostrar el efecto antagónico que pueden presentar cepas de *Trichoderma yunnanense* al confrontarse con cepas de *Fusarium* spp., para llegar a la conclusión y comprobación de la eficiencia con la que cuenta este tipo de hongos benéficos al ser utilizados como una alternativa sustentable en el control de enfermedades en el cuello y raíz del cultivo de trigo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto se estableció en el municipio de Abasolo Guanajuato, en el Instituto Tecnológico Superior de Abasolo (ITESA), en el área de laboratorio con coordenadas de 101° 32´ 39.65´´ O 20° 26´.22 13´´ N y una altitud sobre el nivel del mar de 1760m, con condiciones climáticas templado semicálido subhúmedo. En esta investigación se emplearon cuatro cepas de *Fusarium* spp., obtenidas de plantas enfermas de trigo y cuatro cepas de *Trichoderma yunnanense*, previamente aisladas e identificadas en un proyecto de investigación realizado previamente por Mendoza Martínez Laura Alejandra y Enríquez Salazar Suleyma Yamileth.

Se hizo uso de ocho cepas las cuales fueron, cuatro cepas de *Trichoderma yunnanense* y cuatro cepas de *Fusarium* spp., las cuales se cultivaron en cajas Petri con medio de cultivo agar papa y dextrosa (PDA), donde se realizaron confrontaciones para observar su interacción entre las cepas. El diseño experimental empleado fue un Diseño Completamente al Azar (DCA). Este diseño, fue organizado de manera aleatoria, el cual incluyo cuatro tratamientos, cada uno con cuatro repeticiones, resultando con un total de veinte bloques. Cada una de las unidades experimentales estuvo conformada por cuatro repeticiones de cada tratamiento. Estas fueron colocadas en el área de laboratorio a temperaturas de 28°- 30°.

Cuadro 1. Tratamientos.

Número de tratamientos	Tratamientos	Descripción
1	T1	*T* 2 / *Fusarium*
2	T2	*T3 / Fusarium*
3	T3	*T4 / Fusarium*
4	T4	*T testigo / Fusarium*
5	T	*Fusarium*

T3/R1 con un porcentaje de 53. 25 %, T4/A+C con 52.25 %, T1/Testigo con 51.02 % y T2/R4 con 50.97%.

Resiembra de cepas de *Trichoderma*, en cajas Petri con medio de cultivo estéril se, colocaron los cortes de 1 cm² de medio de cultivo con micelio de cada una de las ocho cepas aisladas en medio de cultivo PDA, las cuales se colocaron en el centro de cajas Petri con medio de cultivo PDA estéril. Luego, se sellaron con papel Parafilm y se incubaron a temperaturas de 25°C – 30°C hasta que se desarrollaron completamente.

Se realizó una visita a en una zona productora de San José de Peralta, Abasolo, Guanajuato, donde se recolectaron tres plantas de trigo enfermas seleccionadas por síntomas como enrollamiento foliar, marchitez y manchas marrones en la raíz las cuales fueron llevadas al área de laboratorio, donde se lavaron para eliminar el suelo esto para iniciar con el aislamiento del patógeno, posterior a eso se seleccionaron cortes de tejido de 5-10 mm del borde de la lesión infectada. Estos cortes se sometieron a un triple lavado: dos lavados con agua purificada y uno con solución de cloro al 10% durante un minuto. Luego, se secaron con papel estéril y se colocaron en medio de cultivo PDA (4 trozos por caja Petri). Se incubaron a 25°C – 28°C durante 2 – 3 hasta que se desarrollaron los patógenos para poder obtener las cepas más puras.

Para la purificación del patógeno aislado, se observaron las colonias de patógenos desarrolladas y se seleccionaron aquellas que estaban libres de contaminación y se encontraban individuales. Se marcaron las colonias seleccionadas y se verificó que el patógeno estuviera puro. Luego, con ayuda de pinzas esterilizadas, se tomó un trozo de medio PDA con la colonia y se transfirió a una caja Petri con agar estéril en un punto medio. Este proceso se repitió para todas las colonias seleccionadas.

Para la identificación sé empleó la metodología de Agrios (2005) para identificación del patógeno. Se prepararon cámaras húmedas, donde se utilizó papel estéril el cual se humedeció, donde colocaron portaobjetos estéril para posteriormente colocarle un trozo de agar con micelio del patógeno, colocándole un cubreobjetos estéril, después se selló la caja Petri con papel fil. Se incubaron en temperaturas de 25°C - 28°C durante dos semanas y se observaron con ayuda del microscopio para determinar la morfología del patógeno.

Se realizó un bioensayo en placas Petri con medio de cultivo PDA, colocando discos de agar con micelio de *Fusarium* spp*. y Trichoderma yunnanense* en extremos opuestos, esto para los tratamientos para el testigo solo se colocó de un extremo un disco con micelio de Fusarium spp. Los resultados se expresaron como porcentaje del área ocupada por *Trichoderma* sobre el área del patógeno (Pérez et al., 2020).

Se empleó la fórmula PICR= [(R1-R2) / R1] x100; donde:
R1 es el crecimiento radial del testigo
R2 el crecimiento radial del patógeno en los tratamientos

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con el análisis de varianza (cuadro 2), este mostró diferencias altamente significativas esto para la fuente de variación de los tratamientos, lo que muestra que el porcentaje de inhibición de *Fusarium* varía considerablemente según el tratamiento aplicado. Sin embargo, para el caso de la interacción Fus*Trat no fue

significativa. El Coeficiente de Variación (13.81%) lo cual demuestras que los resultados obtenidos del análisis demuestran que el ensayo realizado fue eficaz.

Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza.

Fuente de variación	Gl	% de inhibición
Fusarium (Fus)	3	1.8539467
Tratamientos (Trat)	4	188.8902165**
Fus*Trat	12	0.2915282
Error		0.6907375
C.V. (%)		13.81228

FV = Fuente de variación, gl = grados de libertad, ** = Diferencia altamente significativa (P ≤ 0.01), ** = Diferencia estadística significativa (P ≤ 0.05), ns = No existe diferencia significativa estadística (P ≥ 0.05), CV (%) = Coeficiente de variación; gl = grados de libertad.

Según los datos obtenidos del dìa 14, se obtuvieron los porcentajes de inhibiciòn con ayuda del progama SAS versión 9.4, la prueba de comparación de medias los tratamientos marcados con la letra **"**a", que en este caso fueron los cuatro tratamientos, son estadísticamente iguales entre sí. Sin embargo, se observó que el tratamiento con mayor porcentaje de inhibición fue para T3/R que cuenta con un 64.56% y el más bajo fue para T1/T3 con un 60.10% (Cuadro 3).

Estos datos coinciden con la investigación realizada por Zubieta et al. (2021), ya que destacan que los antagonismos evaluados enfrentando las cepas promisorias como biocontroladores, en un 66,5% fueron dominados por las cepas del hongo *Trichoderma* sp. y en el 23,2% por las cepas del hongo *Aspergillus* sp. De acuerdo con la literatura, esto puede explicarse por la cantidad de enzimas hidrolíticas tales como las lignocelulolíticas, quitinolíticas, proteolíticas, y glucanolíticas producidas por *Trichoderma* sp., las cuales son excretadas como complejos enzimáticos y están involucradas en procesos como autólisis, germinación de esporas, ramificación y desarrollo de micelios, crecimiento de hifas, nutrición, separación de células y micoparasitismo, procesos esenciales en el control biológico. Los datos coinciden con la investigación de Rubio et al. (2021) ya que muestran que en su en el análisis de covarianza de *T. asperellum* (TJ) y *T. harzianum* (TP) frente a *F. oxysporum* no hubo diferencias significativas. La confrontación de TJ presentó 70.5% de inhibición, no obstante, TP presentó y un 69.2 % de inhibición, los cuales observaron que ambos aislados cubrieron la mitad de la superficie de la caja Petri en el día tres de la evaluación, gracias a su rápido crecimiento, competencia por espacio y nutrientes. Así mismo, se clasifican como clase dos donde *Trichoderma* sp. crece dos terceras partes de la superficie del medio; es decir, que este hongo cubre el 65% de la caja Petri. Esto mostró que el uso de *Trichoderma* como agente de biocontrol representa una alternativa viable, por ser eficaz, fácil de producir a gran escala, la mayoría son especies cosmopolitas y presentan gran capacidad de parasitar; además compiten por nutrientes o producen compuestos que resultan antagónicos para una gran variedad de hongos fitopatógenos tales como los géneros *Rhizoctonia* spp., *Fusarium* spp., *Pythium* spp., entre otros (Rodríguez y Wang, 2020).

Cuadro 3. Tratamientos con su nivel de inhibición del día 14.

Tratamientos	% de inhibición
T3/R4	64.54035849 a
T4/AC	63.21457956 a
T2/R4	62.93121849 a
T1/testigo	60.10705241 a
Testigo	0 b

Los valores en la misma columna con la misma letra son estadísticamente iguales.

Para el caso de la inhibición de las cepas de *Fusarium* spp*.,* se realizó el mismo análisis como se muestra en el Cuadro 3, donde se mostró que estadísticamente hubo diferencias significativas, el porcentaje con mayor inhibició fue para *Fusariun* 1/M3-R2 con 39.48% y el más bajo fue para la cepa 2 / M2-R2R vcon 32.41%. Sin embargo, para el caso de 2/M1-R2B y 4/M2-R1, mostró que hay similitud entre estas cepas, ya que se presentaron porcentajdes de inhibición de *Fusarium 2* con un 35.06% y para *Fusaruium* 4 con un 34.02 %, siendo la 3/M1-R2R la cepa que obtuvo menor inhibición, contando con 32.41%. Lo anterior determina que el uso de *Trichoderma yunnanence* ayudó en control de las cepas de *Fusarium* spp*.,* demostrando que el uso de este género es una buena alternativa como agente de control biológico.

Cuadro 4. Cepas de Fusarium spp., y su porcentaje de inhibición del día 14.

Fusarium	% de inhibición
Fusarium 1/ M3- R2	39.4852238 a
Fusarium 2/ M1-R2B	35.0696336 ab
Fusarium 4/ M2-R1	34.029826 ab
Fusarium 3/ M1-R2R	32.4130242 b

CONCLUSIONES

Se demuestra que el uso de *Trichoderma yunnanense* es una alternativa biológica viable y efectiva para controlar el crecimiento de *Fusarium spp*. Los resultados obtenidos muestran que las cepas de *Trichoderma* con mayor efectividad T3/R4 ya que obtuvo un porcentaje mayor de 64.54%. En cuanto a la capacidad de inhibición, todas las cepas de *Trichoderma* mostraron ser estadísticamente similares en su capacidad de frenar al patógeno, superando el 60% en todos los tratamientos. Respecto al impacto en el patógeno, se observó que este hongo benéfico redujo significativamente el crecimiento de las diferentes cepas de *Fusarium* aisladas de plantas enfermas, logrando porcentajes de inhibición de hasta 39.48% en la cepa más sensible.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Tecnológico Nacional de México y al Instituto Tecnológico Superior de Abasolo, el apoyo brindado para llevar a cabo el presente proyecto de investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abbate, P. E. (2017). El trigo, su difusión, importancia como alimento y consumo. En *Manual del cultivo de trigo* (pp. 7-21). International Plant Nutrition Institute https://www.researchgate.net/publication/320465244_El_trigo_su_difusion_importancia_como_alimento_y_consumo

Abbate, P. E. (2023). Trigo como alimento: Su cultivo y producción en Latinoamérica. *Cultivos de Invierno - Informes Técnicos de INTA Balcarce*, *2*(1). Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce. ISSN 2953-5115https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12123/15210/INTA_CRBsAsSur_EEABalcarce_Abbate_PE_Trigo_alimento_cultivo_producci%C3%B3n.pdf?sequence=1

Agrios, N. G. (2005). *Plant Pathology*. 5 ed. Elsevier Academic Press.

Manayay, C. A. L., Córdova, L. M., García, J. W., & Vásquez, J. M. (2016). Efecto antagónico de una cepa de *Trichoderma sp.* sobre *Fusarium sp.* en planta de tomate Río Grande (*Solanum lycopersicum*). *UCV-HACER. Revista de Investigación y Cultura, 5*(1), 64-68. https://www.redalyc.org/journal/5217/521753139008/html/

Michel-Aceves, A. C., Hernández-Morales, J., Toledo-Aguilar, R., Sabino López, J. E., & Romero-Rosales, T. (2019). Capacidad antagónica de *Trichoderma spp.* nativa contra *Phytophthora parasitica* y *Fusarium oxysporum* aislados de cultivos de jamaica. *Revista Fitotecnia Mexicana, 42*(3), 235-241. https://scielo.org.mx/pdf/rfm/v42n3/0187-7380-rfm-42-03-00235.pdf

Mokobi. (25 de mayo, 2021). *Fusarium* spp. https://microbenotes.com/fusarium-spp/

Rodríguez. D., y Wang, W. A. (2020). Efectividad a nivel in vitro de *Trichoderma* spp. nativos e importados contra Fusarium oxysporum. (2), 43-55. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0377-94242020000200109#B35

Rubio,T. S., Osorio, H. E., Estrada,D. B., Silva, E. J. H. T., Rodríguez, M. D. L., y Nava,J. R. A. (2021). Biocontrol *in vitro* de *Fusarium oxysporum* y *Dickeya chrysanthemi* con antagonistas. *Revista Mexicana de Fitopatología*, *39*(3), 478-490. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092021000300515

SAS Institute (2022) SAS/STAT® User´s Guide. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP]. (2026). https://www.gob.mx/siap/articulos/trigo-grano- dando-de-comer-a-mexico

Suaste, F. M. del P., Iturriaga, D. G., Solís, M. E., Raya, P. J. C., Ramírez, P. J. G., y Mariscal, A. L. A. (2020). Resistencia a *Fusarium* causante de pudriciones en trigo: actualidad y perspectivas para su uso en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas, 11*(2), 1-10. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007093420200002004 05#B34

Xiong, Y., McCarthy, C., Humpal, J., y Percy, C. (2023). A review on common root rot of wheat and barley in Australia. *Plant Pathology*, 72(8), 1347-1364, 72(8),1347-1364. https://bsppjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ppa.13777

Zubieta, C. D. A., Echeverry, C. L. C., y Zafra, M. C. A. (2021). Antagonismo *in vitro* por consorcios *en* de *Trichoderma* sp. y *Aspergillus* sp. contra el fitopatógeno *Sclerotinia* sp. *Biotecnología el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, *19*(1), 16-31. http://scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612021000100016