

Efecto antagónico de microorganismos nativos de suelos agrícolas frente a hongos fitopatógenos.

Antagonistic effect of native microorganisms from agricultural soils against phytopathogenic fungi.

Roger Alberto Palomino Huarcaya^{1,a}, Maxima Sila Alca Quiroz^{1,b}, Estefani Andrea Arroyo Quispe^{1,b}, Rosa Augusto Alccacontor Abal^{1,b}, Nicol Bautista Navarro^{1,b}, Sdiones Alexei Menor Vásquez^{1,b}

RESUMEN

Objetivo: Este estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto antagónico de microorganismos nativos de suelos agrícolas contra hongos fitopatógenos asociados a cultivos representativos de la región. **Material y Métodos:** Se aislaron bacterias y hongos de muestras de suelo recolectadas de diferentes cultivos agrícolas, utilizando métodos microbiológicos convencionales. Posteriormente, se realizaron pruebas in vitro de confrontación directa para determinar la actividad antagonista de los microorganismos aislados. **Resultados:** Ninguna de las bacterias evaluadas presentó actividad antagonista contra los hongos fitopatógenos en los cultivos de tomate, pimentón, zanahoria, naranja y olluco. En contraste, algunos hongos, especialmente H-pap-11 y H-pap-15, mostraron inhibición de los fitopatógenos en tomate, pimentón y zanahoria, destacándose como posibles agentes biocontroladores. **Conclusiones:** Aunque no se detectó actividad antagonista en las bacterias, los resultados positivos obtenidos con ciertos hongos nativos sugieren su potencial como alternativa ecológica en el control biológico de enfermedades agrícolas, lo que abre nuevas perspectivas para el manejo sostenible de fitopatógenos.

Palabras clave: Antiinfecciosos, control biológico de vectores, agricultura sostenible, eucariontes.

¹ Universidad Privada de Huancayo Franklin Roosevelt. Huancayo, Perú.

^a Docente, Magister. ORCID: 0000-0003-0333-7269

^b Alumno.

INVESTIGACIÓN ORIGINAL / ORIGINAL RESEARCH

SUMMARY

Objective: This study aimed to evaluate the antagonistic effect of native microorganisms from agricultural soils against phytopathogenic fungi associated with representative crops in the region. **Material and Methods:** Bacteria and fungi were isolated from soil samples collected from various agricultural crops using conventional microbiological methods. Subsequently, in vitro direct confrontation tests were performed to determine the antagonistic activity of the isolated microorganisms. **Results:** None of the evaluated bacteria showed antagonistic activity against the phytopathogenic fungi in tomato, pepper, carrot, orange, and ulluco crops. In contrast, some fungi, particularly H-pap-11 and H-pap-15, showed significant inhibition of the phytopathogens in tomato, pepper, and carrot, highlighting their potential as biocontrol agents. **Conclusions:** Although no antagonistic activity was detected in the bacteria, the positive results obtained with certain native fungi suggest their potential as an ecological alternative in the biological control of agricultural diseases, opening new perspectives for the sustainable management of phytopathogens.

Keywords: Anti-Infective agents, pest control, biological, sustainable agriculture, eukaryota.

INTRODUCCIÓN

La interacción entre microorganismos del suelo y hongos fitopatógenos ha sido objeto de estudio durante décadas debido a su impacto en la agricultura y la seguridad alimentaria a nivel global (1). Los microorganismos nativos presentes en suelos agrícolas, incluidos bacterias, hongos y virus, desempeñan un papel crucial en la protección de las plantas contra los hongos fitopatógenos mediante una variedad de mecanismos (2). Entre estos mecanismos se destacan la competencia por nutrientes, la producción de compuestos antimicrobianos y la activación de respuestas de defensa en las plantas hospedadoras (3). Este antagonismo microbiano ha generado un gran interés como herramienta para el manejo sostenible de enfermedades agrícolas, con el potencial de reducir la dependencia de pesticidas químicos y mitigar sus impactos ambientales negativos (4).

Los hongos fitopatógenos representan una de las mayores amenazas para la producción agrícola mundial, causando pérdidas económicas significativas y afectando la seguridad alimentaria (5). Estos organismos son responsables de enfermedades que afectan una amplia gama de cultivos esenciales, como cereales, frutas,

hortalizas y plantas ornamentales, lo que provoca disminuciones en los rendimientos y la calidad de los productos agrícolas (6). A pesar de los avances en el desarrollo de fungicidas químicos, el uso intensivo de estos compuestos ha generado preocupación debido a sus efectos adversos sobre el medio ambiente, la salud pública y la aparición de cepas resistentes de patógenos (7).

En este contexto, los microorganismos antagonistas ofrecen una alternativa ecológica y sostenible para el manejo de enfermedades fitopatógenas (8). Estos microorganismos actúan restringiendo el desarrollo y la virulencia de los hongos fitopatógenos a través de diversos mecanismos, como la producción de metabolitos secundarios antimicrobianos, la competencia por recursos esenciales en el suelo y la inducción de simbiosis beneficiosas que fortalecen la salud de las plantas (9). Además de su capacidad para controlar enfermedades, algunos microorganismos antagonistas promueven el crecimiento vegetal, contribuyendo a una agricultura más eficiente y respetuosa con el medio ambiente (4).

En el Perú, los hongos fitopatógenos representan una amenaza considerable para la producción de alimentos y la seguridad alimentaria. Cultivos de gran relevancia económica, como la papa,

INVESTIGACIÓN ORIGINAL / ORIGINAL RESEARCH

el maíz, el arroz y el café, son particularmente vulnerables a enfermedades como la roya amarilla y la roya de la papa, que pueden reducir los rendimientos hasta en un 30% (10). Estas pérdidas tienen consecuencias económicas y sociales significativas, especialmente para los pequeños agricultores, que dependen de estos cultivos para su sustento.

La diversidad biológica de los suelos agrícolas peruanos ofrece un reservorio de microorganismos con un gran potencial para el desarrollo de estrategias de biocontrol de enfermedades (11). Investigar cómo estas comunidades microbianas interactúan con los hongos fitopatógenos y qué metabolitos producen para inhibir su crecimiento es esencial para aprovechar su potencial en el manejo de enfermedades agrícolas. El estudio del efecto antagónico de microorganismos nativos de suelos agrícolas frente a hongos fitopatógenos no solo contribuye al manejo sostenible de enfermedades, sino que también apoya el desarrollo de prácticas agrícolas más ecológicas con el medio ambiente, esenciales para garantizar la seguridad alimentaria y la sostenibilidad de los sistemas de producción.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto antagónico de diversos microorganismos nativos provenientes de suelos agrícolas frente a hongos fitopatógenos.

MATERIAL y MÉTODOS

Diseño experimental

Este estudio, de enfoque transversal y diseño experimental, tuvo como objetivo evaluar el efecto antagónico de microorganismos nativos del suelo frente a hongos fitopatógenos aislados de cultivos agrícolas representativos de la región de interés. La metodología incluyó el aislamiento de microorganismos del suelo mediante técnicas microbiológicas, como el método de vertido en placa (pour plate), seguido de su identificación y la realización de pruebas in vitro para determinar su capacidad antagonista frente a fitopatógenos específicos.

Aislamiento y cultivo de microorganismos

Las muestras de suelo agrícola se recolectaron en áreas representativas de diferentes cultivos ubicadas en la provincia de Huancayo, región Junín. Estas muestras se incluyeron múltiples sitios de muestreo dentro de la región geográfica en estudio, con el objetivo de capturar la diversidad de condiciones edafoclimáticas y prácticas agrícolas que podrían influir en la composición y actividad microbiana del suelo (12). Para el aislamiento de bacterias y hongos nativos, se realizó una dilución seriada de las muestras de suelo hasta 10^6 , inoculando 100 μ L de cada dilución en placas Petri estériles con medios de cultivo específicos: agar Sabouraud para hongos y agar TSA (Tryptic Soy Agar) para bacterias. Las inoculaciones se realizaron bajo condiciones asépticas en una cabina de bioseguridad tipo II utilizando micropipetas automáticas Eppendorf® de precisión. Las placas fueron incubadas en una estufa bacteriológica (marca Memmert®, 28–30 °C para hongos y 35–37 °C para bacterias) durante 3 a 7 días, según el tipo de microorganismo. Las colonias obtenidas fueron posteriormente subcultivadas y conservadas en refrigeración a 4 °C para su posterior identificación y análisis funcional.

Aislamiento de hongos fitopatógenos

Se seleccionaron tejidos vegetales (hojas, tallos, frutos y raíces) con síntomas visibles de infestación por hongos fitopatógenos. Estos tejidos se sometieron a una técnica de raspado o hisopado superficial y se inocularon en placas de agar Sabouraud suplementado con glucosa al 4%.

Rotulado de cepas

En cuanto al rotulado de las cepas, cada microorganismo aislado fue identificado de acuerdo con su origen y características específicas. Las cepas bacterianas se rotularon con el prefijo “B-”, seguido de la abreviatura del cultivo de origen, que incluye Cal (Calabaza), Rab (Rabanito), Cag (Caigua), y Hua (Huacatay), seguido de un número secuencial. De manera

INVESTIGACIÓN ORIGINAL / ORIGINAL RESEARCH

similar, los hongos fueron rotulados con el prefijo “H-” y las mismas abreviaturas para el origen de las cepas: Rab para Rabanito, Hua para Huacatay, Cag para Caigua, y Pap para Papa. A continuación, se presentan los detalles de las cepas bacterianas y de hongos aislados.

Determinación de actividad antagónica

Las pruebas de antagonismo se realizaron in vitro mediante la técnica de confrontación directa. En cada placa de cultivo, se colocó un disco de agar con el hongo fitopatógeno en un extremo y, en el extremo opuesto, un disco o suspensión del microorganismo nativo. Las placas se incubaron a 28 °C durante 7 días, observándose diariamente la interacción entre los organismos. La actividad antagónica se evaluó mediante la formación de halos de inhibición, midiendo el diámetro de las zonas claras en milímetros.

Análisis de datos

Los resultados obtenidos de las pruebas de confrontación se registraron en una matriz que incluyó el tipo de microorganismo, el cultivo de origen y la presencia o ausencia de inhibición del crecimiento fúngico (resultado positivo o negativo). El análisis se realizó de forma cualitativa, evaluando visualmente la formación de halos de inhibición para identificar posibles interacciones antagónicas entre los microorganismos nativos del suelo y los hongos fitopatógenos.

RESULTADOS

Pruebas de antagonismo: Bacterias vs. Hongos Fitopatógenos

En las pruebas realizadas para evaluar el efecto antagónico de bacterias aisladas contra hongos fitopatógenos, se observaron resultados negativos en todas las combinaciones evaluadas. Ninguna de las bacterias probadas, clasificadas como B-Cal, B-Rab, B-Cag o B-Hua, mostró inhibición del crecimiento de los hongos fitopatógenos en cultivos asociados a tomate, pimentón, zanahoria,

naranja y olluco. Estos resultados sugieren que las bacterias aisladas no presentan actividad antagónica bajo las condiciones evaluadas en este estudio.

Pruebas de antagonismo: Hongos vs. Hongos Fitopatógenos

En las pruebas realizadas para evaluar el efecto antagónico de hongos aislados contra hongos fitopatógenos, se observaron resultados variados, destacándose algunos casos positivos que sugieren potencial para su uso en estrategias de biocontrol (tabla 1); entre estos, el hongo identificado como H-pap-11 demostró actividad antagónica significativa frente a hongos fitopatógenos asociados a cultivos de tomate, pimentón y zanahoria, lo que resalta su capacidad para inhibir el crecimiento de estos patógenos y subraya su potencial como agente biocontrolador en sistemas agrícolas. Por otro lado, H-pap-15 mostró un efecto positivo más específico, restringido únicamente a hongos fitopatógenos asociados a zanahoria, sin evidencia de actividad en los demás cultivos analizados (figura 1). En contraste, los demás hongos aislados, incluyendo H-rab, H-hua, H-cag y otras cepas de H-pap, no exhibieron efectos antagonistas en ninguna de las pruebas realizadas, obteniéndose resultados negativos en todas las combinaciones evaluadas. Estos hallazgos destacan la necesidad de continuar explorando las características y mecanismos de acción de las cepas con resultados positivos, así como optimizar las condiciones experimentales para maximizar su potencial antagónico y determinar su aplicabilidad práctica en diferentes sistemas agrícolas.

Se identificaron resultados positivos en los aislamientos (A) H-pap-11 con actividad contra Hongo fitopatógeno de Zanahoria (B) H-pap-11 con actividad contra Hongo fitopatógeno de Tomate (C) H-pap-11 con actividad contra Hongo fitopatógeno de Pimentón, y (D) H-pap-15, con actividad contra Hongo fitopatógeno de Zanahoria(+), destacando su potencial para el control biológico de enfermedades en cultivos (figura 1).

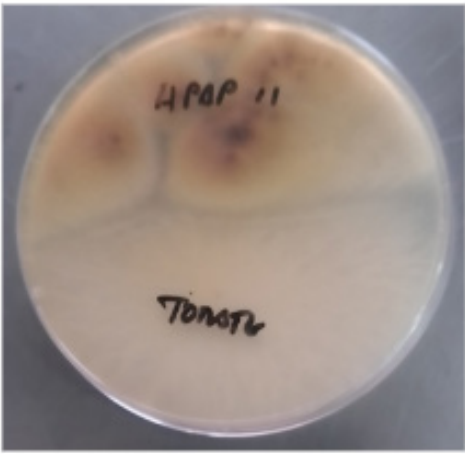
INVESTIGACIÓN ORIGINAL / ORIGINAL RESEARCH

Tabla 1. Resultado de Pruebas de antagonismo de hongos vs hongos fitopatogenos

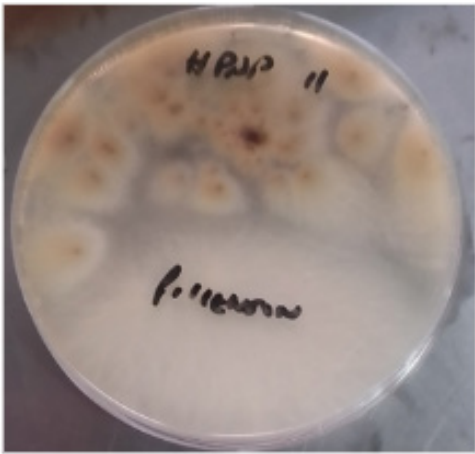
N°	Tomate	Pimentón	Zanahoria	Naranja	Olluco
H-rab-01	-	-	-	-	-
H-rab-02	-	-	-	-	-
H-hua-04	-	-	-	-	-
H-cag-09	-	-	-	-	-
H-cag-10	-	-	-	-	-
H-pap-11	+	+	+		
H-pap-12	-	-	-	-	-
H-pap-13	-	-	-	-	-
H-pap-14	-	-	-	-	-
H-pap-15	-	-	+	-	-



(A)



(B)



(C)



(D)

Figura 1. Evaluación de actividad antagonica de hongos positivos contra hongos fitopatogenos

INVESTIGACIÓN ORIGINAL / ORIGINAL RESEARCH

DISCUSIÓN

En este estudio, se evaluó el potencial antagonista de microorganismos nativos de suelos agrícolas frente a hongos fitopatógenos. Los resultados mostraron que ninguna de las bacterias aisladas presentó actividad inhibidora frente a los hongos evaluados, a pesar de haber sido recolectadas en suelos asociados a cultivos de tomate, pimentón, zanahoria, naranja y olluco. Este hallazgo coincide con lo reportado por Esikova et al., quienes señalaron que muchas cepas bacterianas aisladas del suelo muestran escasa o nula actividad antifúngica, lo que puede deberse a condiciones ambientales desfavorables o a la baja expresión de metabolitos secundarios bajo condiciones de laboratorio (13). Por otro lado, Imran et al., y Djebaili et al., documentaron la existencia de cepas de *Bacillus* y *Pseudomonas* con fuerte actividad antagonista frente a hongos como *Fusarium* y *Rhizoctonia*, especialmente cuando se utilizan medios optimizados y condiciones controladas de cultivo (14,15). Asimismo, Pliego et al., y Durairaj et al., enfatizan que la selección exitosa de bacterias biocontroladoras depende en gran medida del método de cribado utilizado, ya que las pruebas in vitro convencionales pueden excluir mecanismos como la colonización radicular o la inducción de resistencia sistémica en plantas (16,17). Estas discrepancias sugieren que la ausencia de actividad observada en este estudio no descarta el potencial biocontrolador de las bacterias nativas, sino que pone de manifiesto la necesidad de emplear enfoques más integradores y multifactoriales.

Por otro lado, se observó que algunos hongos filamentosos aislados de las plantas, como H-pap-11, H-pap-15, y H-cag-09, mostraron actividad antagonista contra ciertos fitopatógenos, lo cual es consistente con investigaciones previas que han destacado el potencial biocontrolador de especies fúngicas. Por ejemplo, en un estudio realizado por Landum, se demostró que especies como *Alternaria* sp., *E. nigrum*, y *Fusarium* sp. inhiben el crecimiento de *Colletotrichum acutatum* mediante la producción de compuestos volátiles (18), lo que refuerza la importancia

de los hongos como biocontroladores frente a fitopatógenos. De igual forma, Thambugala et al., y Attia et al., resaltan la relevancia de hongos como *Trichoderma*, *Alternaria*, y *Aspergillus* por su capacidad de inhibir una amplia gama de hongos patógenos (19,20), lo que sugiere que los hongos nativos podrían tener un papel similar en el control biológico en suelos agrícolas. A pesar de que no se encontraron bacterias con actividad antagonista en este estudio, varios trabajos previos indican que algunas cepas bacterianas, como *Pseudomonas chlororaphis* y *Bacillus* spp., pueden exhibir propiedades antifúngicas eficaces (13,21,22). Estos estudios indican que la búsqueda de cepas bacterianas con actividad biocontroladora podría requerir una selección más específica o el uso de métodos de aislamiento y pruebas más sensibles para detectar dicha actividad.

En cuanto a la potencialidad de los hongos como agentes biocontroladores, es evidente que aún hay un margen significativo para realizar investigaciones adicionales que profundicen en el aislamiento y caracterización de especies fúngicas con efectos antagonistas contra hongos fitopatógenos. La identificación de compuestos bioactivos, como los volátiles producidos por *Alternaria* y *Fusarium*, o la evaluación de mecanismos como la producción de enzimas celulolíticas y agentes quelantes (sideróforos) en hongos como *Trichoderma* y *Aspergillus*, podría ampliar nuestro conocimiento sobre los mecanismos subyacentes del antagonismo observado en este estudio (23).

CONCLUSIONES

En los suelos agrícolas evaluados no se detectaron bacterias con actividad antagonica frente a hongos fitopatogenos, lo que sugiere una posible ausencia de estos microorganismos o la falta de condiciones adecuadas para expresar dicha actividad. En contraste, se identificaron hongos con capacidad biocontroladora, lo que resalta su potencial como agentes efectivos en el manejo sostenible de enfermedades agrícolas. Estos hallazgos ponen en evidencia la importancia de

INVESTIGACIÓN ORIGINAL / ORIGINAL RESEARCH

explorar y aprovechar los hongos nativos del suelo, ya que representan una valiosa fuente de alternativas naturales para el control biológico y una herramienta prometedora dentro de las estrategias de producción agrícola sostenible.

Correspondencia:

Roger Alberto Palomino Huarcaya

Correo electrónico: rpalomino@uroosevelt.edu.pe

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Estrella AH, Chet I. Biocontrol of bacteria and phytopathogenic fungi. In: Altman A. *Agricultural Biotechnology*. New York: Marcel Dekker, Inc.; 1998.p. 263-282.
2. Pandit MA, Kumar J, Gulati S, et al. Major Biological Control Strategies for Plant Pathogens. *Pathogens*. 2022;11(2):273. doi:10.3390/pathogens11020273
3. Doughari, J. J. An Overview of Plant Immunity. *J Plant Pathol Microbiol*. 2015;6(11):2-11. doi:10.4172/2157-7471.1000322
4. Vishwakarma K, Kumar N, Shandilya C, Mohapatra S, Bhayana S, Varma A. Revisiting Plant-Microbe Interactions and Microbial Consortia Application for Enhancing Sustainable Agriculture: A Review. *Front Microbiol*. 2020;11: 560406. doi:10.3389/fmicb.2020.560406
5. Lucas JA. Chapter One - Fungi, Food Crops, and Biosecurity: Advances and Challenges. *Advances in Food Security and Sustainability*. 2017; 2: 1-40. doi:10.1016/bs.af2s.2017.09.007
6. Shuping DSS, Eloff JN. The use of plants to protect plants and food against fungal pathogens: a review. *Afr J Tradit Complement Altern Med*. 2017;14(4):120-127. doi:10.21010/ajtcam.v14i4.14
7. Hui ST, Gifford H, Rhodes J. Emerging Antifungal Resistance in Fungal Pathogens. *Curr Clin Microbiol Rep*. 2024;11(2):43-50. doi:10.1007/s40588-024-00219-8
8. Tariq M, Khan A, Asif M, et al. Biological control: a sustainable and practical approach for plant disease management. *Acta Agric Scand Sect B — Soil & Plant Sci*. 2020;70(6):507-524. doi:10.1080/09064710.2020.1784262
9. Harman G, Khadka R, Doni F, Uphoff N. Benefits to Plant Health and Productivity From Enhancing Plant Microbial Symbionts. *Front Plant Sci*. 2021;11. doi:10.3389/fpls.2020.610065
10. Huaman Y. Efectividad de *Trichoderma* spp como biocontrol de la muerte regresiva en el cultivo del palto (*Persea americana* Mill.) en CIFO-UNHEVAL Huánuco, 2022. Tesis de Grado. Huanuco, Perú: Universidad Nacional Hermilio Valdizán; 2023. (Citado el 25 de junio del 2024). Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.13080/9561>
11. Medina J, Urteaga J. Impacto de la aplicación móvil “Healthy Plant” para detectar enfermedades foliares en cultivos de aguaymanto haciendo uso de inteligencia artificial con Custom Vision en la ciudad de Cajamarca 2021 Cajamarca, Perú: Universidad Privada del Norte; 2021. (Citado el 25 de junio del 2024). Disponible en: <https://hdl.handle.net/11537/2825>
12. Morales-Mora LA, Andrade-Hoyos P, Valencia-de Ita MA, et al. Caracterización de hongos asociados al cultivo de fresa y efecto antagonista in vitro de *Trichoderma harzianum*. *Rev Mex Fitopatol*. 2020;38(3):434-449. doi:10.18781/r.mex.fit.2005-7
13. Esikova TZ, Anokhina TO, Abashina TN, Suzina NE, Solyanikova IP. Characterization of soil bacteria with potential to degrade benzoate and antagonistic to fungal and bacterial phytopathogens. *Microorganisms*. 2021;9(4):755. doi:10.3390/microorganisms9040755
14. Imran H, Darine TH, Mohamed EG. In vitro screening of soil bacteria for inhibiting phytopathogenic fungi. *African Journal of Biotechnology*. 2016; 11(81):14660 - 14670 DOI:10.5897/AJB10.2508
15. Djebaili R, Pellegrini M, Ercole C, Farda B, Kitouni M, Del Gallo M. Biocontrol of Soil-Borne Pathogens of *Solanum lycopersicum* L. and *Daucus carota* L. by Plant Growth-Promoting Actinomycetes: In Vitro and In Planta Antagonistic Activity. *Pathogens*. 2021; 10(10): 1305; <https://doi.org/10.3390/pathogens10101305>
16. Pliego C, Ramos C, De Vicente A, Cazorla FM. Screening for candidate bacterial biocontrol agents against soilborne fungal plant pathogens. *Plant Soil*. 2011;340(1-2):505-20.
17. Durairaj K, Velmurugan P, Park JH, et al. An investigation of biocontrol activity *Pseudomonas* and *Bacillus* strains against *Panax ginseng* root rot fungal phytopathogens. *Biological Control*. 2018;125:138-46. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2018.05.021
18. Landum MC, Félix M do R, Alho J, et al. Antagonistic activity of fungi of *Olea europaea* L. against *Colletotrichum acutatum*. *Microbiol Res*. 2016;183:100-108. doi:10.1016/j.micres.2015.12.001
19. Thambugala KM, Daranagama DA, Phillips AJL, Kannangara SD, Promputtha I. Fungi vs. Fungi in Biocontrol: An overview of fungal antagonists applied against fungal plant pathogens. *Front Cell Infect Microbiol*. 2020;10. doi:10.3389/fcimb.2020.604923
20. Attia MS, El-Wakil DA, Hashem AH, Abdelaziz AM. Antagonistic effect of plant growth-promoting fungi against fusarium wilt disease in tomato: In vitro and in vivo study. *Appl Biochem Biotechnol*.

INVESTIGACIÓN ORIGINAL / ORIGINAL RESEARCH

- 2022;194(11):5100-5118. doi:10.1007/s12010-022-03975-9
21. Lorenzini, M. Epiphytic bacteria from withered grapes and their antagonistic effects on grape-rotting fungi. *Int J Food Microbiol.* 2020; 319: 108505. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2019.108505
22. Landa BB, Hervás A, Bettiol W, Jiménez-Díaz RM. Antagonistic activity of Bacteria from the chickpea rhizosphere against *Fusarium Oxysporum* f. sp. *Ciceris*. *Phytoparasitica.* 1997; 25(4):305-318. doi:10.1007/BF02981094
23. García-Núñez HG, Martínez-Campos ÁR, Hermosa-Prieto MR, et al. Caracterización morfológica y molecular de cepas nativas de *Trichoderma* y su potencial de biocontrol sobre *Phytophthora infestans*. *Rev Mex Fitopatol.* 2017; 35(1): 58-79. doi: 10.18781/r.mex.fit.1605-4

Recibido: 12/07/2024

Aceptado: 22/11/2024