

Evaluación descriptiva del deterioro asociado a *Fusarium equiseti* en frutos de fresa tratados con *Trichoderma spp.*

Descriptive assessment of *Fusarium equiseti*-associated decay in strawberry fruits treated with *Trichoderma spp.*

Cristian Yasmani Masache-Segovia ^{1*}, Mercedes Susana Carranza-Patiño ², Juan Antonio Torres-Rodríguez ³, Carmen Victoria Marín-Cuevas ⁴ y Robinson J. Herrera-Feijoo ⁵

¹ Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Quevedo, Los Ríos, Ecuador; <https://orcid.org/0009-0004-6765-6626>

² Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Quevedo, Los Ríos, Ecuador; <https://orcid.org/0000-0002-0917-0415>; mcarranza@uteq.edu.ec

³ Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Quevedo, Los Ríos, Ecuador; <https://orcid.org/0000-0003-3326-4371>; jt Torres@uteq.edu.ec

⁴ Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Quevedo, Los Ríos, Ecuador; <https://orcid.org/0000-0002-8128-9170>; cmarin@uteq.edu.ec

⁵ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Chimborazo, Ecuador; <https://orcid.org/0000-0003-3205-2350>; robinson.herrera@espoch.edu.ec

* Correspondencia: cmasache@uteq.edu.ec

Cita: Masache-Segovia, C. Y., Carranza-Patiño, M. S., Torres-Rodríguez, J. A., Marín-Cuevas, C. V., & Herrera-Feijoo, R. J. (2026). Evaluación descriptiva del deterioro asociado a *Fusarium equiseti* en frutos de fresa tratados con *Trichoderma spp.* *Multidisciplinary Collaborative Journal*, 4(3), 136-152. <https://doi.org/10.70881/mcj/v4/n3/173>

Recibido: 04/06/2026

Revisado: 25/07/2026

Aceptado: 30/07/2026

Publicado: 04/08/2026



Copyright: © 2026 por los autores. Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional. (CC BY-NC)**.

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

<https://doi.org/10.70881/mcj/v4/n3/173>

Resumen: La pudrición asociada a *Fusarium equiseti* limita la calidad poscosecha de la fresa (*Fragaria × ananassa*) y exige alternativas de manejo biológico. En consecuencia, el objetivo del estudio fue evaluar, de forma descriptiva, la progresión macroscópica del deterioro asociado a un aislamiento de *F. equiseti* identificado molecularmente mediante el marcador TEF (factor de elongación de la traducción) y su interacción con una formulación comercial de *Trichoderma spp.* en frutos de fresa bajo condiciones controladas. Para ello, el ensayo se organizó con cinco tratamientos: aplicación curativa, aplicación preventiva, control positivo con *F. equiseti*, control antagonista con *Trichoderma spp.* y control de microclima. La severidad se registró a los 0, 1, 2, 3 y 6 días después de la primera inoculación mediante una escala ordinal de cero a cuatro basada en cobertura micelial visible y deterioro estructural. Debido a que la matriz disponible corresponde a valores consolidados por tratamiento y tiempo de evaluación, los resultados se analizaron mediante indicadores descriptivos y no mediante pruebas inferenciales. El control positivo con *F. equiseti* presentó la mayor área bajo la curva de severidad visual ordinal (ASCPE = 22,0; 91,7 % relativa) y alcanzó nivel cuatro a 2 DDPI. La aplicación curativa registró ASCPE = 21,0 (87,5 % relativa) y alcanzó nivel 4 a 3 DDPI, mientras que la aplicación preventiva registró ASCPE = 17,5 (72,9 % relativa) y alcanzó nivel cuatro a 6 DDPI. Estos resultados sugieren que el establecimiento previo de *Trichoderma spp.* retrasó visualmente la

progresión del deterioro; no obstante, la evidencia debe interpretarse como preliminar y descriptiva.

Palabras clave: antagonismo fúngico; control biológico; *Fusarium equiseti*; identificación molecular; severidad ordinal; *TEF*.

Abstract: *Fusarium equiseti*-associated decay limits the postharvest quality of strawberry (*Fragaria × ananassa*) and requires biological management alternatives. Accordingly, this study aimed to descriptively assess the macroscopic progression of decay associated with a *F. equiseti* isolate molecularly identified using the *TEF* marker and its interaction with a commercial *Trichoderma spp.* formulation in strawberry fruits under controlled conditions. The assay included five treatments: curative application, preventive application, *F. equiseti* positive control, *Trichoderma spp.* antagonist control, and microclimate control. Severity was recorded at 0, 1, 2, 3, and 6 days after the first inoculation using a zero–four ordinal scale based on visible mycelial coverage and structural deterioration. Because the available dataset consisted of consolidated values by treatment and evaluation time, the results were analyzed using descriptive indicators rather than inferential statistics. The *F. equiseti* positive control showed the highest ordinal area under the visual severity curve (ASCPE = 22.0; 91.7% relative) and reached level 4 at 2 DDPI. The curative treatment recorded ASCPE = 21.0 (87.5% relative) and reached level 4 at 3 DDPI, whereas the preventive treatment recorded ASCPE = 17.5 (72.9% relative) and reached level 4 at 6 DDPI. Thus, these findings suggest that previous establishment of *Trichoderma spp.* visually delayed decay progression; however, the evidence should be interpreted as preliminary and descriptive.

Keywords: biological control; *Fusarium equiseti*; fungal antagonism; molecular identification; ordinal severity; *TEF*.

1. Introducción

El cultivo de fresa (*Fragaria × ananassa*) constituye un sistema hortofrutícola de alto valor económico, nutricional y comercial. Su naturaleza altamente perecedera y su elevado contenido de agua la hacen especialmente susceptible al deterioro poscosecha causado por hongos fitopatógenos que colonizan tejidos vegetales bajo condiciones favorables de humedad y temperatura (Ramírez-Díaz & Villa-Ruano, 2024; Rajestary et al., 2023). Especies del género *Fusarium* adquieren relevancia por su capacidad de persistencia y adaptación en estructuras vegetales y por su potencial de inducir pudriciones bajo condiciones de inoculación artificial o poscosecha, con impacto negativo sobre la vida útil, la inocuidad y la aceptación del producto en el mercado (Ayoubi & Soleimani, 2016; Dwiastuti et al., 2021). Se requiere el desarrollo de estrategias de manejo sostenibles e integradas que reduzcan la dependencia de fungicidas sintéticos e incluyan medidas de prevención y control en poscosecha, como el uso de compuestos naturales, agentes de biocontrol y tecnologías de conservación que limiten la colonización y el desarrollo de hongos fitopatógenos en frutos de fresa (Kumar et al., 2021; Ramírez-Díaz & Villa-Ruano, 2024; Yao et al., 2023). En condiciones poscosecha, estos patógenos pueden generar pérdidas relevantes y comprometer la calidad comercial del fruto (Dwiastuti et al., 2021; Rajestary et al., 2023).

El género *Trichoderma* ha sido ampliamente estudiado como agente de control biológico (ACB) debido a su capacidad de competir por espacio y nutrientes, producir metabolitos antifúngicos, secretar enzimas hidrolíticas y ejercer micoparasitismo sobre hongos fitopatógenos (Dennis & Webster, 1971; Harman et al., 2004; Howell, 2003; Kottb et al., 2015; Vinale et al., 2008). En particular, *Trichoderma* se ha relacionado con mecanismos de antagonismo frente a *Fusarium* spp. y otros patógenos, lo que sustenta su uso potencial en sistemas agrícolas y hortícolas (Hussein et al., 2022; Mohiddin et al., 2021; Tyśkiewicz et al., 2022).

Asimismo, la eficacia de *Trichoderma* spp. depende de factores biológicos y ambientales, entre ellos la presión de inóculo del patógeno, la viabilidad del antagonista, la concentración aplicada, el tipo de tejido vegetal y el momento de aplicación (Poudel et al., 2023; Rahman et al., 2009). En este sentido, la aplicación preventiva puede favorecer el establecimiento previo del antagonista en el nicho disponible, mientras que una aplicación posterior a la colonización del patógeno puede reducir la capacidad competitiva del biocontrolador (Naglot et al., 2015; Pastrana et al., 2016).

En el caso particular de la fresa, gran parte de la investigación sobre control biológico se ha concentrado en suelo, raíz, corona o plántula. Estudios recientes han demostrado que *Trichoderma* spp. puede contribuir a reducir enfermedades radicales y mejorar parámetros fisiológicos del cultivo (Li et al., 2024; Liu et al., 2024; Lombardi et al., 2020). No obstante, existe menor información sobre modelos descriptivos poscosecha que evalúen la progresión visible del deterioro en frutos inoculados artificialmente, pese a que la aplicación de antagonistas y sus compuestos volátiles ha mostrado potencial frente a patógenos poscosecha en otros frutos (Intana et al., 2021).

En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar descriptivamente la progresión macroscópica de la severidad asociada a un aislamiento de *Fusarium equiseti* con afinidad molecular a *Fusarium equiseti* (identificación mediante barcoding TEF) y su interacción con una formulación comercial de *Trichoderma* spp. en frutos de fresa bajo condiciones controladas de laboratorio. Por consiguiente, se planteó como hipótesis de trabajo que la aplicación preventiva del antagonista retrasaría visualmente la progresión del deterioro en comparación con la aplicación curativa y el control positivo con *F. equiseti*.

2. Materiales y Métodos

Diseño del estudio

La investigación se desarrolló bajo un enfoque experimental descriptivo-comparativo en condiciones controladas de laboratorio. El ensayo se estructuró con cinco tratamientos y una planificación de cinco repeticiones por tratamiento; cada repetición correspondió a una bandeja con cinco frutos de fresa de calibre homogéneo y madurez comercial uniforme. Para evitar la pseudorreplicación, la bandeja se consideró la unidad experimental planificada y los frutos dentro de cada bandeja se consideraron subunidades de observación macroscópica.

Para la presente versión del análisis, la matriz disponible corresponde a una clasificación ordinal consolidada por tratamiento y tiempo de evaluación, y no a valores individuales por

repetición. En consecuencia, el análisis se limitó a indicadores descriptivos de progresión temporal y no se aplicaron pruebas inferenciales. De esta manera, se evita atribuir significancia estadística a datos que no contienen variabilidad experimental verificable.

Área experimental y condiciones de incubación

El experimento se realizó en el Laboratorio de Biotecnología del campus universitario La María de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, ubicado en Los Ríos, Ecuador.

Posteriormente, los frutos inoculados se mantuvieron en cámaras húmedas bajo condiciones controladas de temperatura de 25 ± 1 °C y humedad relativa de 90–95 %. De esta forma, dichas condiciones favorecieron el desarrollo micelial y permitieron simular un microclima propicio para la infección fúngica poscosecha.

Material biológico

Se utilizó un aislamiento activo de *Fusarium equiseti*, previamente reactivado en agar papa dextrosa (PDA) durante 7–10 días a 25–27 °C, hasta obtener crecimiento micelial vigoroso y producción visible de conidios. El aislamiento fue utilizado en este estudio como patógeno experimental para evaluar la progresión del deterioro bajo inoculación artificial en frutos de fresa.

Como antagonista, se empleó una formulación comercial de *Trichoderma spp.*, registrada comercialmente como TRICHODERMA y comercializada por ANEC TJ, Quevedo, Los Ríos, Ecuador. De acuerdo con la ficha técnica del producto, la formulación contiene *Trichoderma spp.* a una concentración declarada de 1×10^8 UFC mL⁻¹, con pureza microbiológica ≥ 99 % y viabilidad ≥ 99 %. El producto se utilizó operativamente como formulación líquida o suspensión comercial, se conservó a temperatura menor de 22 °C y se preparó bajo sombra antes de su aplicación experimental, conforme a las recomendaciones del proveedor. La ficha técnica no reporta especie, cepa, lote, fecha de caducidad ni origen del aislamiento; por tanto, el antagonista se reporta en este estudio como una formulación comercial de *Trichoderma spp.* Esta ausencia de información específica se reconoce como una limitación de trazabilidad biológica y reproducibilidad experimental.

Aislamiento e identificación molecular del patógeno

El patógeno utilizado correspondió a un aislamiento fúngico obtenido originalmente de hojas infectadas de tomate con síntomas compatibles con infección por *Fusarium*. El material vegetal se desinfectó superficialmente con hipoclorito de sodio al 0,5 %, se lavó con agua destilada estéril, se secó sobre papel absorbente estéril y se fragmentó en secciones de aproximadamente 3 mm tomadas de la zona de transición entre tejido sano y enfermo. Los fragmentos se sembraron en PDA y, tras 7 a 10 días de incubación, el aislamiento emergente se purificó hasta obtener un cultivo homogéneo. La identificación molecular se realizó mediante barcoding del marcador TEF, con extracción de ADN, PCR usando los cebadores EF1-983F/EF1-2218R, secuenciación Sanger, ensamblaje bioinformático y comparación con GenBank del NCBI. El aislamiento presentó 98,10 % de identidad con *Fusarium equiseti* (accesión MK278902), una secuencia ensamblada de

1098 pb y calidad 79. El producto de PCR mostró una banda aproximada de 1200 pb en gel de agarosa al 1 %. No se realizó un análisis filogenético formal; por tanto, el aislamiento se reporta como *Fusarium equiseti* identificado por barcoding TEF.

Estandarización de inóculos

El inóculo de *Fusarium equiseti* se obtuvo a partir de cultivos puros desarrollados en agar papa dextrosa durante 7–10 días a 25–27 °C. La superficie del cultivo se raspó suavemente con material estéril y los conidios se suspendieron en agua destilada estéril. La suspensión se homogeneizó mediante agitación manual y se filtró a través de gasa estéril para reducir la presencia de fragmentos miceliales. Posteriormente, la concentración conidial se ajustó mediante conteo directo en cámara de Neubauer hasta alcanzar 1×10^8 conidios mL^{-1} .

De forma análoga, el inóculo de la formulación comercial de *Trichoderma* spp. se preparó a partir del cultivo reactivado en PDA. La biomasa fúngica se suspendió en agua destilada estéril, se homogeneizó y se ajustó a 1×10^8 conidios mL^{-1} mediante cámara de Neubauer, con el propósito de mantener una concentración operativamente equivalente entre el patógeno y el antagonista. La viabilidad del antagonista se asumió a partir de la reactivación previa del producto y de la ficha técnica comercial, la cual declara viabilidad ≥ 99 %; no obstante, no se realizó una prueba independiente de germinación conidial antes de la inoculación, por lo que este aspecto se reconoce como una limitación metodológica.

Tratamientos experimentales

A continuación, se evaluaron cinco tratamientos experimentales, definidos según el orden de inoculación del patógeno y del antagonista.

Para evaluar la interacción entre *Fusarium equiseti* y *Trichoderma* spp. en frutos de fresa se establecieron cinco tratamientos. En el tratamiento curativo (postinoculación), los frutos se inocularon inicialmente con *F. equiseti* y, 48 h después, se aplicó la formulación comercial de *Trichoderma* spp. En el tratamiento preventivo, la aplicación de *Trichoderma* spp. se realizó antes de la inoculación con *F. equiseti*, con un intervalo de 48 h entre ambas aplicaciones. Además, se incluyeron un control positivo con inoculación exclusiva de *F. equiseti*, un control antagonista con inoculación exclusiva de *Trichoderma* spp. y un control de microclima con agua destilada estéril más Tween 20 al 0,02 % v/v.

Procedimiento de inoculación

En cada fruto se realizó una lesión superficial estandarizada de aproximadamente 0,5 mm de profundidad con material estéril, con el propósito de favorecer la entrada del inóculo y homogeneizar el sitio de infección. Posteriormente, se aplicó 1 mL de la suspensión correspondiente sobre la zona lesionada mediante micropipeta. La aplicación se efectuó de forma localizada y gradual para reducir el escurrimiento superficial. En los tratamientos secuenciales T1 y T2, la segunda aplicación se realizó 48 h después de la primera, de acuerdo con el esquema experimental previamente descrito.

Dado que el volumen aplicado pudo resultar elevado para frutos de fresa, este aspecto se reconoce como una limitación metodológica, especialmente ante la posibilidad de escurrimiento no cuantificado sobre la superficie del fruto o hacia la bandeja. En estudios posteriores se recomienda reducir el volumen de inoculación y documentar con mayor precisión la retención del inóculo en la zona lesionada.

Evaluación de severidad

La severidad macroscópica se evaluó a los 0, 1, 2, 3 y 6 días después de la primera inoculación (DDPI). Los cuatro primeros registros se realizaron en días consecutivos, mientras que el quinto se efectuó después de un intervalo extendido. Por esta razón, la progresión temporal se expresa en días después de la primera inoculación y no como una serie diaria continua hasta el final del ensayo.

En los tratamientos secuenciales T1 y T2, la segunda inoculación se realizó 48 h después de la primera. En T1, la primera inoculación correspondió a *Fusarium equiseti* y la segunda a la formulación comercial de *Trichoderma* spp.; en T2, la primera inoculación correspondió a *Trichoderma* spp. y la segunda a *F. equiseti*. Esta precisión permite interpretar la progresión de la severidad en función del inicio experimental de cada tratamiento.

En cada tiempo de evaluación se registraron fotografías estandarizadas de las unidades experimentales para documentar la progresión visual de la colonización fúngica y del deterioro estructural del fruto. La severidad se clasificó mediante una escala ordinal cualitativa de 0 a 4, adaptada de escalas empíricas utilizadas en estudios de deterioro poscosecha de frutos de fresa, las cuales estiman la severidad según el porcentaje de superficie afectada y la presencia de signos visibles de colonización fúngica. En este estudio, los niveles se definieron con base en la cobertura micelial visible y el deterioro estructural del fruto, debido a que la evaluación se realizó mediante observación macroscópica de fotografías experimentales (Tabla 1). Estudios previos en fresa han empleado escalas ordinales similares para clasificar la severidad de pudriciones poscosecha, aunque generalmente con seis niveles de severidad (Kahramanoğlu et al., 2022; Rajestary et al., 2023).

Tabla 1

Escala ordinal utilizada para clasificar la severidad visual de la colonización y el deterioro del fruto.

Nivel	Criterio de clasificación
0	Ausencia de colonización visible.
1	Colonización inicial localizada (< 25 % de la superficie).
2	Colonización moderada (25–50 %) sin colapso estructural.
3	Colonización extensa (50–75 %) con deterioro evidente.

Nivel	Criterio de clasificación
4	Cobertura total (> 75 %) y colapso estructural del fruto.

Nota. Los valores corresponden a una escala ordinal cualitativa de 0 a 4, adaptada de escalas empíricas empleadas para evaluar severidad de deterioro poscosecha en frutos de fresa mediante porcentaje de superficie afectada y presencia de esporulación visible (Kahramanoğlu et al., 2022; Rajestary et al., 2023). En este estudio, la escala se ajustó a cinco niveles con base en cobertura micelial visible y deterioro estructural del fruto. No representa una medición continua ni una escala diagramática validada específicamente para la interacción *Fusarium equiseti*–fresa.

Variables complementarias y análisis descriptivo

Además de la severidad ordinal, se registraron observaciones cualitativas sobre cambios cromáticos del micelio, presencia de exudado y pérdida aparente de firmeza. La variación de peso no se incorporó como resultado cuantitativo porque no se dispone de valores individuales por repetición.

El análisis descriptivo se basó en cuatro indicadores: severidad ordinal por tratamiento y tiempo de evaluación, área bajo la curva de severidad visual ordinal (ASCPE, equivalente ordinal del área bajo la curva de progreso de la enfermedad [AUDPC]), ASCPE relativa y primer tiempo en que cada tratamiento alcanzó severidad crítica (nivel ≥ 3) o severidad máxima (nivel 4). La ASCPE se calculó mediante integración trapezoidal a partir de los tiempos 0, 1, 2, 3 y 6 DDPI, con el fin de considerar el intervalo desigual entre las evaluaciones finales. Cabe precisar que estos indicadores no representan medias estadísticas ni sustituyen el análisis inferencial, pero permiten comparar descriptivamente la velocidad visual de deterioro entre tratamientos.

Para preservar la trazabilidad del análisis, las fotografías se utilizaron como soporte documental de la clasificación ordinal. La edición digital reportada se restringió a la limpieza del fondo externo y no modificó el contenido biológico de las bandejas; por tanto, las imágenes deben interpretarse como evidencia visual complementaria y no como medición cuantitativa automatizada.

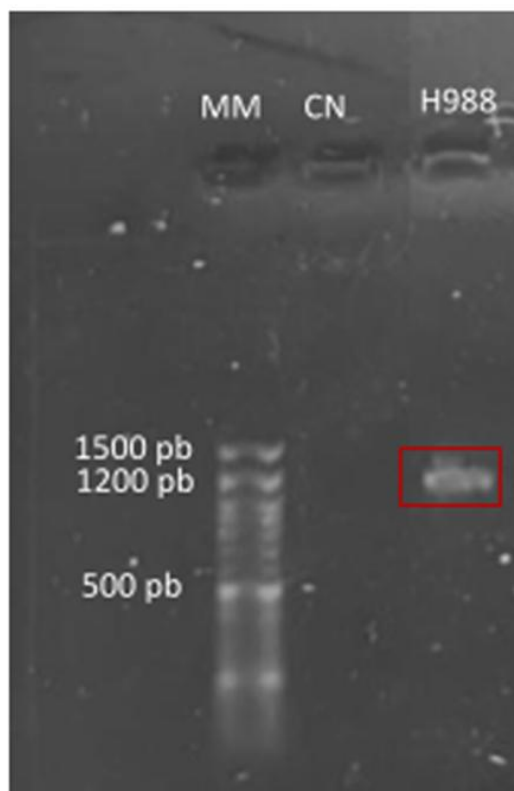
3. Resultados

Identificación molecular del aislamiento fúngico

El análisis molecular indicó afinidad taxonómica del aislamiento con *Fusarium equiseti* mediante el marcador TEF. La secuencia ensamblada presentó 1098 pb, calidad 79 y 98,10 % de identidad frente a la accesión MK278902 de GenBank. Asimismo, la amplificación por PCR generó una banda aproximada de 1200 pb en gel de agarosa al 1 %, con control negativo incluido, lo que respaldó la calidad del producto amplificado para la secuenciación (Figura 1).

Figura 1

Gel de agarosa al 1 % con productos de PCR para el fragmento TEF.



Nota. Se observa una banda de aproximadamente 1200 pb en la muestra H988. MM = marcador de peso molecular; CN = control negativo. Fuente: informe técnico externo A-909.

Progresión temporal de la severidad

La escala ordinal permitió describir patrones diferenciados de colonización visible y deterioro estructural entre tratamientos. En conjunto, la clasificación por tratamiento y tiempo de evaluación se resume en la Tabla 2, mientras que la progresión fotográfica y la tendencia temporal se presentan en las Figuras 2 y 3.

Tabla 2

Clasificación de severidad visual en frutos de fresa evaluados mediante escala ordinal 0–4.

Tratamiento	0 DDPI	1 DDPI	2 DDPI	3 DDPI	6 DDPI
T1 Curativo	2	3	3	4	4
T2 Preventivo	1	2	3	3	4
T3 <i>Fusarium equiseti</i>	2	3	4	4	4
T4 <i>Trichoderma</i> spp.	1	2	2	3	3

Tratamiento	0 DDPI	1 DDPI	2 DDPI	3 DDPI	6 DDPI
T5 Microclima	0	1	1	2	3

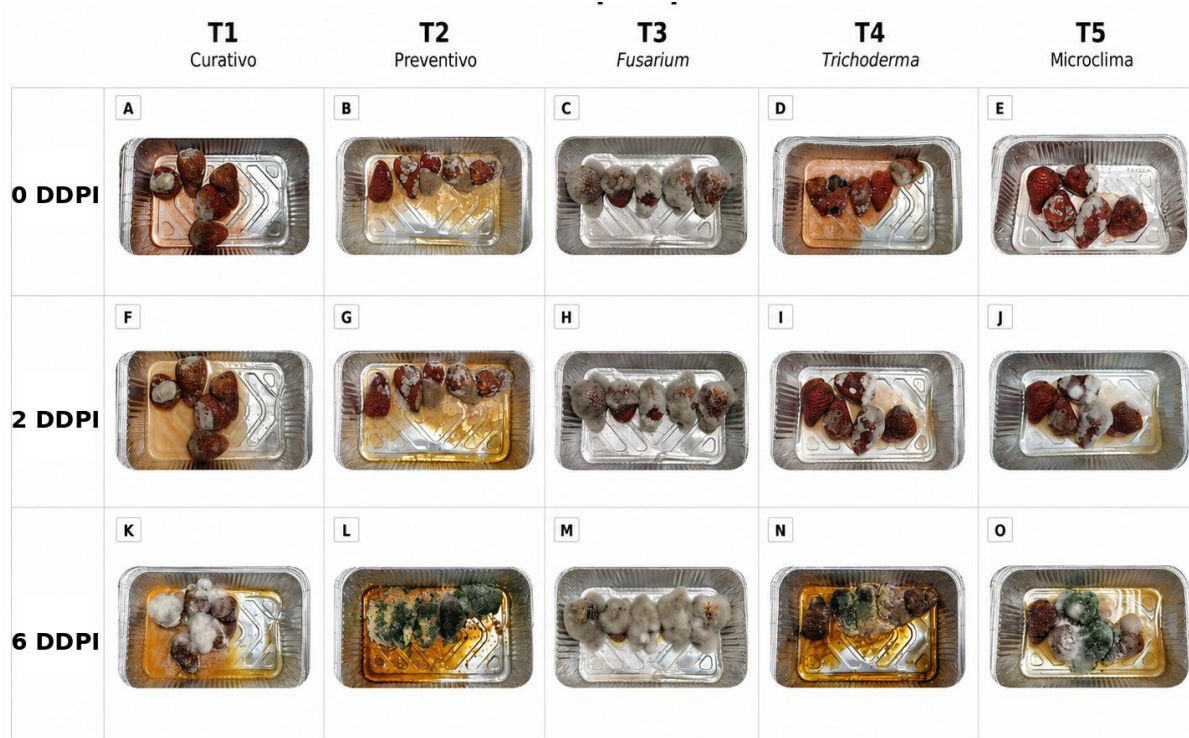
Nota. DDPI = días después de la primera inoculación. Los valores corresponden a una escala ordinal 0–4; no representan medias estadísticas ni resultados inferenciales.

En 0 DDPI, el control positivo con *Fusarium equiseti* y el tratamiento curativo presentaron severidad nivel 2. En contraste, el tratamiento preventivo y el control antagonista con *Trichoderma* spp. se ubicaron en nivel 1, mientras que el control de microclima permaneció en nivel 0. A 1 DDPI, el control positivo y el tratamiento curativo alcanzaron nivel 3, mientras que el tratamiento preventivo ascendió a nivel 2.

A 2 DDPI, el control positivo con *F. equiseti* alcanzó nivel 4, caracterizado por cobertura micelial superior al 75 % y colapso estructural. En cambio, los tratamientos curativo y preventivo permanecieron en nivel 3. A 3 DDPI, el tratamiento curativo alcanzó nivel 4, mientras que el tratamiento preventivo continuó en nivel 3. Finalmente, a 6 DDPI, los tratamientos curativo, preventivo y control positivo coincidieron en nivel 4, aunque la progresión fue más temprana en el control positivo y más retardada en el tratamiento preventivo.

Figura 2

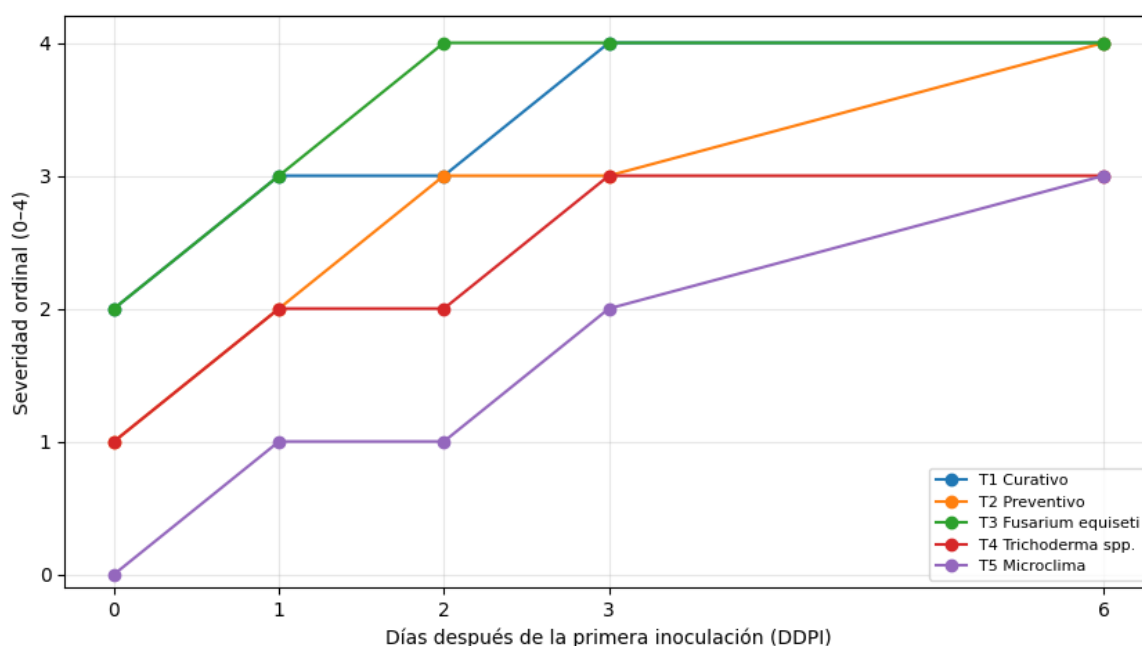
Evolución macroscópica por tratamiento en frutos de fresa.



Nota. Las imágenes corresponden a registros representativos de 0, 2 y 6 DDPI para los tratamientos T1 a T5. DDPI = días después de la primera inoculación. Los tiempos intermedios de 1 y 3 DDPI fueron revisados para verificar la secuencia, pero se omitieron por concisión visual. Fuente: elaboración propia.

Figura 3

Tendencia temporal descriptiva de la severidad visual en frutos de fresa inoculados con Fusarium equiseti y Trichoderma spp.



Nota. DDPI = días después de la primera inoculación. Los valores corresponden a una escala ordinal 0–4; no representan medias estadísticas ni resultados inferenciales. Elaboración propia.

Indicadores descriptivos de progresión

El área bajo la curva de severidad visual ordinal (ASCPE) permitió resumir la progresión del deterioro durante el periodo de observación y ponderar el intervalo desigual entre 3 y 6 DDPI. El control positivo con *F. equiseti* presentó la mayor ASCPE ordinal (22,0; 91,7 % relativa). La aplicación curativa registró una ASCPE de 21,0 (87,5 % relativa), mientras que la aplicación preventiva registró 17,5 (72,9 % relativa). En los controles, T4 *Trichoderma spp.* registró 15,0 (62,5 % relativa) y T5 microclima 10,5 (43,8 % relativa). Estos indicadores se sintetizan en la Tabla 3.

Tabla 3

Indicadores descriptivos de área bajo la curva de severidad visual ordinal y transición hacia niveles críticos.

Tratamiento	ASCPE ordinal	ASCPE relativa (%)	Primer DDPI con nivel ≥ 3	Primer DDPI con nivel 4	Interpretación
T1 Curativo	21,0	87,5	1	3	Deterioro rápido pese a la aplicación posterior del antagonista.
T2 Preventivo	17,5	72,9	2	6	Retraso visual relativo hacia severidad máxima.

T3 <i>F. equiseti</i>	22,0	91,7	1	2	Mayor progreso visual del deterioro.
T4 <i>Trichoderma</i> spp.	15,0	62,5	3	No alcanzó	Colonización visible sin nivel máximo.
T5 Microclima	10,5	43,8	6	No alcanzó	Deterioro progresivo asociado al microclima húmedo.

Nota. ASCPE = área bajo la curva de severidad visual ordinal. La ASCPE se calculó mediante integración trapezoidal a partir de los tiempos 0, 1, 2, 3 y 6 DDPI. La ASCPE relativa se estimó respecto al valor máximo posible de 24 unidades ordinales-día. Los valores son descriptivos y no representan inferencia estadística.

Comparación descriptiva entre aplicación preventiva y curativa

La comparación entre los tratamientos secuenciales mostró que la aplicación preventiva (T2) retrasó visualmente la transición hacia niveles críticos de severidad respecto a la aplicación curativa (T1). En concreto, T1 alcanzó el nivel 4 a 3 DDPI, mientras que T2 alcanzó dicho nivel a 6 DDPI. Frente al control positivo con *F. equiseti*, que alcanzó nivel 4 a 2 DDPI, la aplicación preventiva mostró un retraso visual relativo de cuatro días después de la primera inoculación.

Por su parte, el control antagonista con *Trichoderma spp.* alcanzó nivel 3 a 3 DDPI y no alcanzó nivel 4. Este patrón sugiere colonización del tejido por el antagonista bajo condiciones de alta humedad, pero sin el colapso máximo observado en los tratamientos que incluyeron *F. equiseti*. En cambio, el control de microclima alcanzó nivel 3 a 6 DDPI, lo que evidencia que las condiciones de incubación también favorecieron el deterioro natural del fruto.

Variables complementarias

Adicionalmente, la presencia de exudado, la pérdida aparente de firmeza y los cambios cromáticos del micelio acompañaron la progresión de severidad. En los tratamientos con *F. equiseti* predominó una colonización blanquecina inicial asociada con deterioro rápido del tejido, mientras que en el tratamiento con *Trichoderma spp.* se observó colonización verdosa a oscura, compatible con el crecimiento del antagonista.

Cabe señalar que estas observaciones deben interpretarse como complementarias, debido a que no se cuantificaron instrumentalmente la firmeza, la pérdida de peso, la carga conidial ni el crecimiento microbiano por repetición.

4. Discusión

Los resultados muestran que *Fusarium equiseti* colonizó rápidamente los frutos de fresa bajo condiciones de alta humedad relativa, dado que el control positivo alcanzó el nivel máximo de severidad a 2 DDPI. Esta respuesta es coherente con la capacidad de especies de *Fusarium* para desarrollarse bajo condiciones favorables de humedad, temperatura y disponibilidad de tejido susceptible (Kumar et al., 2021; Yao et al., 2023).

La capacidad de *Fusarium equiseti* para colonizar y deteriorar frutos de fresa encuentra respaldo en reportes previos específicos para este cultivo. Ayoubi y Soleimani (2016) identificaron *F. equiseti* entre aislamientos de *Fusarium* asociados a fresa en Irán y evaluaron su patogenicidad en plantas y frutos, por lo que dicho antecedente refuerza la interpretación de que esta especie puede comportarse como fitopatógeno oportunista en tejidos de *Fragaria* × *ananassa*. No obstante, la interpretación del presente ensayo debe conservar un enfoque prudente, ya que el aislamiento utilizado procedió de tomate y fue aplicado sobre frutos de fresa mediante inoculación artificial; por tanto, los resultados demuestran capacidad de deterioro bajo condiciones controladas, pero no prueban ocurrencia epidemiológica natural en sistemas comerciales de fresa.

Asimismo, la identificación molecular del aislamiento como *F. equiseti* fortalece la trazabilidad biológica del ensayo y reduce la incertidumbre taxonómica asociada al uso genérico de *Fusarium* spp. Este aspecto es relevante porque las especies del género pueden diferir en agresividad, capacidad de colonización, producción de metabolitos y comportamiento poscosecha. Sin embargo, dado que el aislamiento fue obtenido originalmente de tomate y evaluado experimentalmente sobre fresa, los resultados deben interpretarse como evidencia de capacidad de deterioro bajo inoculación artificial y no como demostración epidemiológica de ocurrencia natural de *F. equiseti* en frutos de fresa.

En cuanto a la aplicación curativa de *Trichoderma* spp., los frutos alcanzaron nivel 4 de severidad a 3 DDPI. Este patrón sugiere que, una vez iniciado el establecimiento visible del patógeno, el antagonista puede tener menor capacidad para desplazarlo o limitar su expansión macroscópica. En efecto, la literatura sobre control biológico indica que la eficacia de *Trichoderma* spp. puede depender del momento de aplicación y de la ocupación previa del nicho ecológico (Pastrana et al., 2016; Rahman et al., 2009).

En contraste, la aplicación preventiva de *Trichoderma* spp. retrasó visualmente la progresión hacia severidad máxima hasta 6 DDPI. Este comportamiento es compatible con la hipótesis de establecimiento previo del antagonista, que podría favorecer la competencia por espacio y nutrientes o la producción de metabolitos antifúngicos. No obstante, estos mecanismos no fueron medidos directamente en el presente ensayo; por tanto, deben discutirse como explicaciones plausibles y no como resultados demostrados experimentalmente (Harman et al., 2004; Howell, 2003; Vinale et al., 2008). De hecho, la liberación de compuestos orgánicos volátiles por especies de *Trichoderma* ha demostrado inhibir el crecimiento de *Fusarium* en frutos poscosecha (Intana et al., 2021), y formulaciones de *Trichoderma* han mostrado efectos de biocontrol y promoción de crecimiento en fresa (Li et al., 2024).

Por otro lado, el control antagonista alcanzó nivel 3 a 3 DDPI, lo que indica que *Trichoderma* spp. colonizó el tejido bajo condiciones de alta humedad. Esta observación no debe interpretarse como patogenicidad del antagonista, sino como crecimiento saprofítico sobre un sustrato altamente perecedero. Al respecto, *Trichoderma* spp. se caracteriza por su alta capacidad de colonización, producción de metabolitos y adaptación a diferentes nichos, rasgos que explican su comportamiento en sistemas de biocontrol (Khan et al., 2020; Tyśkiewicz et al., 2022).

Igualmente, el deterioro observado en el control de microclima evidencia que la humedad relativa elevada también favoreció cambios poscosecha naturales. Este resultado es metodológicamente relevante porque demuestra que la severidad visual no depende únicamente del microorganismo inoculado, sino también del estado fisiológico del fruto, la lesión previa y las condiciones de incubación. En estudios poscosecha, la humedad elevada puede favorecer el ablandamiento, el exudado y la proliferación microbiana oportunista (Batta, 2007; González-Estrada et al., 2018).

Desde una perspectiva aplicada, el resultado más relevante es el retraso temporal observado en el tratamiento preventivo. Aun así, el antagonista no evitó completamente el colapso estructural a 6 DDPI. Por ello, el uso de *Trichoderma spp.* en frutos de fresa debe considerarse una estrategia potencialmente complementaria dentro de programas de manejo integrado, más que una solución única bajo alta presión de inóculo o humedad relativa elevada (Dwiastuti et al., 2021; Liu et al., 2024; Lombardi et al., 2020; Poudel et al., 2023).

Limitaciones del estudio

El estudio presenta limitaciones que deben considerarse al interpretar los resultados. En primer lugar, la variable principal fue ordinal y cualitativa; además, la matriz disponible corresponde a valores consolidados por tratamiento y tiempo de evaluación, sin datos individuales por repetición. En consecuencia, no es adecuado afirmar diferencias significativas entre tratamientos ni realizar inferencias estadísticas.

Aunque el aislamiento utilizado fue con afinidad molecular a *Fusarium equiseti* (identificación mediante barcoding TEF) su origen fue hoja infectada de tomate y no fresa. Por tanto, el ensayo no permite afirmar que dicho aislamiento represente poblaciones naturales de *F. equiseti* asociadas a fresa en campo o poscosecha comercial. Además, no se incluyeron pruebas complementarias de patogenicidad comparativa entre aislamientos de distinto origen ni reaislamiento molecular desde los frutos inoculados al final del ensayo.

El ensayo se desarrolló bajo condiciones controladas de laboratorio y con un periodo corto de observación, por lo que los resultados no pueden extrapolarse directamente a campo, almacenamiento comercial o sistemas poscosecha con variaciones de temperatura y humedad. En este sentido, estudios posteriores deberían incorporar datos por repetición, reaislamiento microbiológico y molecular desde frutos inoculados, comparación con aislamientos de *Fusarium* obtenidos de fresa, mediciones instrumentales de calidad poscosecha y análisis estadístico apropiado para variables ordinales o cuantitativas.

5. Conclusiones

Bajo las condiciones controladas del ensayo, el control positivo con *Fusarium equiseti* presentó la progresión macroscópica más rápida de severidad en frutos de fresa, alcanzando el nivel máximo a 2 DDPI y registrando la mayor ASCPE ordinal. La aplicación preventiva de la formulación comercial de *Trichoderma spp.* retrasó la aparición de severidad máxima hasta 6 DDPI, mientras que la aplicación curativa alcanzó nivel 4 a 3 DDPI. Estos resultados sugieren que el momento de aplicación del antagonista influyó en

la progresión visual del deterioro; sin embargo, el efecto observado fue principalmente retardante, ya que la aplicación preventiva no evitó el deterioro avanzado al final del periodo evaluado.

El control de microclima presentó deterioro progresivo, lo que confirma la influencia de la humedad y del estado fisiológico del fruto sobre la severidad visual. Los hallazgos deben interpretarse como evidencia preliminar descriptiva. Se recomienda validar estos resultados mediante ensayos con matriz completa por repetición, reaislamiento microbiológico y molecular desde los frutos inoculados, comparación con aislamientos de *Fusarium* procedentes de fresa, verificación documental o molecular del antagonista, cuantificación microbiológica, mediciones instrumentales de calidad poscosecha y análisis estadístico apropiado para datos ordinales o cuantitativos.

Contribución de los autores: CYMS: Conceptualización, metodología, investigación, validación, aislamiento e identificación molecular del patógeno, análisis formal, visualización y redacción – revisión y edición. MSCP: Conceptualización, metodología, investigación, curación de datos, redacción – borrador original y supervisión. JATR: Conceptualización, análisis formal, visualización y redacción – revisión y edición. CVMC: Investigación, validación experimental, revisión y edición. RYHF: Análisis formal, visualización y redacción – revisión y edición. Todos los autores han leído, revisado y aprobado la versión final del manuscrito.

Agradecimientos: Los autores agradecen al Laboratorio de Biotecnología de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo por el apoyo brindado para el desarrollo del ensayo experimental. De manera especial, expresan su reconocimiento a Gamarra Verá Norelys Mayli y Seme Zúñiga Jacinta Alexandra por su colaboración en las actividades vinculadas con la ejecución del estudio.

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Financiamiento: No se reportó financiamiento externo específico para la ejecución de este estudio.

Disponibilidad de datos: Los registros fotográficos, la matriz de severidad ordinal consolidada y el informe técnico externo de identificación molecular del aislamiento se encuentran disponibles a solicitud razonable al autor de correspondencia. La matriz individual por repetición no estuvo disponible para esta versión del análisis; por ello, los resultados se presentan como descriptivos y no inferenciales.

Referencias bibliográficas

Ayoubi, N., & Soleimani, M. J. (2016). Morphological and molecular identification of pathogenic *Fusarium* spp. on strawberry in Iran. *Sydowia*, 68, 163–171. <https://doi.org/10.12905/0380.sydowia68-2016-0163>

- Batta, Y. A. (2007). Control of postharvest diseases of fruit with an invert emulsion formulation of *Trichoderma harzianum* Rifai. *Postharvest Biology and Technology*, 43(1), 143–150. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.07.010>
- Dennis, C., & Webster, J. (1971). Antagonistic properties of species-groups of *Trichoderma*. I. Production of non-volatile antibiotics. *Transactions of the British Mycological Society*, 57(1), 25–39. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(71\)80077-3](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(71)80077-3)
- Dwiastuti, M. E., Soesanto, L., Aji, T. G., Devy, N. F., & Hardiyanto. (2021). Biological control strategy for postharvest diseases of citrus, apples, grapes and strawberries fruits and application in Indonesia. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 31(1), 141. <https://doi.org/10.1186/s41938-021-00488-1>
- González-Estrada, R., Blancas-Benítez, F. J., Montañó-Leyva, B., Moreno-Hernández, C. L., Romero-Islas, L. C., Romero-Islas, J., Avila-Peña, R., Ramos-Guerrero, A., Fonseca-Cantabrana, A., & Gutiérrez-Martínez, P. (2018). A review study on the postharvest decay control of fruit by *Trichoderma*. En *Trichoderma: The most widely used fungicide*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.82784>
- Harman, G. E., Howell, C. R., Viterbo, A., Chet, I., & Lorito, M. (2004). *Trichoderma* species—opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology*, 2(1), 43–56. <https://doi.org/10.1038/nrmicro797>
- Howell, C. R. (2003). Mechanisms employed by *Trichoderma* species in the biological control of plant diseases: The history and evolution of current concepts. *Plant Disease*, 87(1), 4–10. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2003.87.1.4>
- Hussein, N. A., Al-Janabi, H. J. K., Al-Mashhady, F. R., Al-Janabi, J. K. A., & Al-Shujairi, A. R. S. (2022). Antagonistic activities of bioagent fungi *Trichoderma harzianum* and *Pleurotus ostreatus* against three species of *Fusarium* in cucumber plants. *Asia Pacific Journal of Molecular Biology and Biotechnology*, 30(1), 12–21. <https://doi.org/10.35118/apjmbb.2022.030.1.02>
- Intana, W., Kheawleng, S., & Sunpapao, A. (2021). *Trichoderma asperellum* T76-14 released volatile organic compounds against postharvest fruit rot in muskmelons (*Cucumis melo*) caused by *Fusarium incarnatum*. *Journal of Fungi*, 7(1), 46. <https://doi.org/10.3390/jof7010046>
- Kahramanoğlu, İ., Panfilova, O., Genç Kesimci, T., Usanmaz Bozhüyük, A., Gürbüz, R., & Alptekin, H. (2022). Control of postharvest gray mold at strawberry fruits caused by *Botrytis cinerea* and improving fruit storability through *Origanum onites* L. and *Ziziphora clinopodioides* L. volatile essential oils. *Agronomy*, 12(2), 389. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020389>

- Khan, R. A. A., Najeeb, S., Hussain, S., Xie, B., & Li, Y. (2020). Bioactive secondary metabolites from *Trichoderma* spp. against phytopathogenic fungi. *Microorganisms*, 8(6), 817. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8060817>
- Kottb, M., Gigolashvili, T., Großkinsky, D. K., & Piechulla, B. (2015). *Trichoderma* volatiles effecting *Arabidopsis*: From inhibition to protection against phytopathogenic fungi. *Frontiers in Microbiology*, 6, 995. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00995>
- Kumar, J., Kumar, M., Tomar, A., Vaishali, Kumar, P., & Chand, P. (2021). Morphological and molecular characterization of *Trichoderma* spp. from rhizosphere soil and their antagonistic activity against *Fusarium* spp. *International Journal of Plant & Soil Science*, 33(19), 100–112. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2021/v33i1930605>
- Li, W., Fu, Y., Jiang, Y., Hu, J., Wei, Y., Li, H., Li, J., Yang, H., & Wu, Y. (2024). Synergistic biocontrol and growth promotion in strawberries by co-cultured *Trichoderma harzianum* TW21990 and *Burkholderia vietnamiensis* B418. *Journal of Fungi*, 10(8), 551. <https://doi.org/10.3390/jof10080551>
- Liu, P., Yang, R., Wang, Z., Ma, Y., Ren, W., Wei, D., & Ye, W. (2024). Biocontrol potential of *Trichoderma asperellum* CMT10 against strawberry root rot disease. *Horticulturae*, 10(3), 246. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10030246>
- Lombardi, N., Caira, S., Troise, A. D., Scaloni, A., Vitaglione, P., Vinale, F., Marra, R., Salzano, A. M., Lorito, M., & Woo, S. L. (2020). *Trichoderma* applications on strawberry plants modulate the physiological processes positively affecting fruit production and quality. *Frontiers in Microbiology*, 11, 1364. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01364>
- Mohiddin, F. A., Padder, S. A., Bhat, A. H., Ahanger, M. A., Shikari, A. B., Wani, S. H., Bhat, F. A., Nabi, S. U., Hamid, A., Bhat, N. A., & Abdel Latef, A. A. H. (2021). Phylogeny and optimization of *Trichoderma harzianum* for chitinase production: Evaluation of their antifungal behaviour against the prominent soil-borne phytopathogens of temperate India. *Microorganisms*, 9(9), 1962. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9091962>
- Naglot, A., Goswami, S., Rahman, I., Shrimali, D. D., Yadav, K. K., Gupta, V. K., Rabha, A. J., Gogoi, H. K., & Veer, V. (2015). Antagonistic potential of native *Trichoderma viride* strain against potent tea fungal pathogens in North East India. *The Plant Pathology Journal*, 31(3), 278–289. <https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.01.2015.0004>
- Pastrana, A. M., Basallote-Ureba, M. J., Aguado, A., Akdi, K., & Capote, N. (2016). Biological control of strawberry soil-borne pathogens *Macrophomina phaseolina* and *Fusarium solani*, using *Trichoderma asperellum* and *Bacillus* spp. *Phytopathologia Mediterranea*, 55(1), 109–120. https://doi.org/10.14601/Phytopathol_Mediterr-16363

- Poudel, S., Khanal, P., C, B. K., Pokharel, S., & Gauli, S. (2023). Biological control of fungal phytopathogens with *Trichoderma harzianum* and its fungicidal compatibility. *International Journal of Applied Biology*, 7(1), 47–58. <https://doi.org/10.20956/ijab.v7i1.26502>
- Rahman, M. A., Begum, M. F., & Alam, M. F. (2009). Screening of *Trichoderma* isolates as a biological control agent against *Ceratocystis paradoxa* causing pineapple disease of sugarcane. *Mycobiology*, 37(4), 277–285. <https://doi.org/10.4489/MYCO.2009.37.4.277>
- Rajestary, R., Landi, L., & Romanazzi, G. (2023). Effects of commercial natural compounds on postharvest decay of strawberry fruit. *Coatings*, 13(9), 1515. <https://doi.org/10.3390/coatings13091515>
- Ramírez-Díaz, C., & Villa-Ruano, N. (2024). Impacto del cultivo de la fresa (*Fragaria × ananassa*) en el sector agroalimentario y su manejo sostenible. *Alianzas y Tendencias BUAP*, 9(36), 51–75. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14545422>
- Tyśkiewicz, R., Nowak, A., Ozimek, E., & Jaroszuć-Ściś, J. (2022). *Trichoderma*: The current status of its application in agriculture for the biocontrol of fungal phytopathogens and stimulation of plant growth. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(4), 2329. <https://doi.org/10.3390/ijms23042329>
- Vinale, F., Sivasithamparam, K., Ghisalberti, E. L., Marra, R., Woo, S. L., & Lorito, M. (2008). *Trichoderma*–plant–pathogen interactions. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.07.002>
- Yao, X., Guo, H., Zhang, K., Zhao, M., Ruan, J., & Chen, J. (2023). *Trichoderma* and its role in biological control of plant fungal and nematode disease. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1160551. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1160551>