

Infectividad de *Fusarium* spp., agentes causales de la pudrición seca de la papa, y su control biológico



<https://cu-id.com/2247/v39e13>

Infectivity of *Fusarium* spp., causal agents of potato dry rot, and their biological control

✉ Yanisia Duarte*, ✉ Benedito Martínez Coca, ✉ Danay Infante Martínez, ✉ Jersys Arévalo Ortega, ✉ Ileana Miranda

¹Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA), Apartado 10, San José de las Lajas, CP 32 700, Mayabeque, Cuba

RESUMEN: El presente trabajo tuvo como objetivos comprobar la infectividad de dos aislamientos de *Fusarium* spp. (*Fp-1* y *Fp-2*) en papa (*Solanum tuberosum* L.) y seleccionar cepas promisorias de *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckfeldt & Nirenberg para su control. Las pruebas de infectividad se determinaron mediante dos ensayos: tubérculo-semillas de papa inoculados y suelo inoculado con los aislamientos de *Fusarium* spp. La actividad antagonista (antibiosis, competencia por espacio y micoparasitismo) de las cepas de *T. asperellum* se evaluó por el método del cultivo dual. En el experimento de los tubérculos inoculados, crecieron plántulas con afectaciones en los tallos, reducción del número de hojas, pudrición de las raíces y, finalmente, muerte de las plantas. En el suelo inoculado se observaron plántulas con afectaciones del tamaño y el diámetro de los tallos, cuyos síntomas progresaron diariamente. Todas las cepas del hongo antagonista analizadas provocaron la inhibición del desarrollo de los fitopatógenos a partir de las 48 h. Las cepas de *T. asperellum* se ubicaron en la clase 1 de la escala de Bell. La cepa *Ta. 79* sobresalió con el mayor porcentaje de inhibición del crecimiento de los hongos fitopatógenos, con valores máximos de 44,48 % y 36,84 % para *Fp-1* y *Fp-2*, respectivamente. Las cepas *Ta. 1* y *Ta. 78* se destacaron por su efecto micoparásitico frente al aislamiento de *Fp-1*, y *Ta. 79* sobre el aislado de *Fp-2*. Del análisis integral del antagonismo de las cepas de *T. asperellum* se concluye que las cepas *Ta. 1*, *Ta. 28*, *Ta. 78* y *Ta.79* fueron las más promisorias para el control de *Fusarium* spp. de papa.

Palabras clave: control biológico, *Fusarium*, mecanismos de acción, patogenicidad, *Solanum tuberosum*, *Trichoderma*.

ABSTRACT: The objectives of this work were to verify the infectivity of two isolates of *Fusarium* spp. (*Fp-1* and *Fp-2*) in potato (*Solanum tuberosum* L.) and select promising strains of *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckfeldt & Nirenberg for their control. Infectivity tests were determined by two assays: inoculated potato seed tubers and soil inoculated with *Fusarium* spp isolates. The antagonistic activity (antibiosis, competition for space, and mycoparasitism) of the *T. asperellum* strains was evaluated by the dual culture method. In the experiment with inoculated tubers, seedlings with damaged stems, reduced leaf numbers, and rotten roots, which finally died, were observed. In the inoculated soil, seedlings with reduced size and reduced stem diameter were observed with symptoms progressing daily. All strains of the antagonist fungus tested inhibited the development of the phytopathogenic fungi after 48 h. The *T. asperellum* strains were located in class 1 of the Bell scale. The strain *Ta. 79* stood out with the highest percentage of growth inhibition of the phytopathogenic fungi, with maximum values of 44.48% and 36.84% for *Fp-1* and *Fp-2*, respectively. The strains *Ta. 1* and *Ta. 78* stood out for their mycoparasitic effect against the isolate *Fp-1*, and *Ta. 79* did on the isolate *Fp-2*. From the comprehensive analysis of the antagonism of the *T. asperellum* strains, it was concluded that *Ta. 1*, *Ta. 28*, *Ta. 78*, and *Ta.79* were the most promising strains to control *Fusarium* spp. in potato.

Keys word: biological control, pathogenicity, *Solanum tuberosum*, *Fusarium*, *Trichoderma*, action mechanisms.

INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum* L.) forma parte fundamental de la alimentación de la población mundial (1). En Cuba en el 2021 se produjeron 97 292 t del tubérculo, considerada como la tercera cifra más baja desde 1985, después de las cosechas de 2014 y 2016, con 53 308 y 95 663 t, respectivamente (2). Esto podría estar asociado a deficiencias en el manejo de las enfermedades del cultivo en campo y almacenamiento, sumado a la elevada humedad ocasionada por los cambios en las condiciones ambientales (3).

El inóculo presente en el suelo y en el tubérculo-semilla afecta a las plantas en el campo, pero el daño más importante ocurre durante el almacenamiento, por las condiciones que allí se establecen. La podredumbre seca afecta la permanencia del cultivo en campo al inhibir el desarrollo de los brotes de papa, y causar pérdidas de hasta un 25 % con una infección de hasta un 60 % durante el almacenamiento (3).

Las pudriciones dañan intensamente la superficie del tubérculo y se clasifican, principalmente, como blandas (ocasionada por bacterias) o secas (por hongos). La pudrición seca de la papa (PDR) o pudrición seca por *Fusarium* (FDR) es una enfermedad fúngica devastadora en todo el mundo (3).

*Correspondencia a: Yanisia Duarte Leal. E-mail: yduarteleal@gmail.com

Recibido: 13/12/2023

Aceptado: 21/05/2024

La FDR es ocasionada por alrededor de 13 especies del hongo, entre las más importantes están: *Fusarium solani* (Martius) Appel & Wollenweber emend. Snyder & Hansen, *Fusarium sambucinum* Fückel, *Fusarium avenaceum* (Fries) Saccardo, *Fusarium graminearum* Schwabe, y *Fusarium oxysporum* Schlechtendapl emend. Snyder & Hansen, que causan la pudrición del tubérculo post cosecha y la desintegración del tubérculo-semilla después de la plantación. Estos hongos patógenos son transmitidos por el suelo y el agua, y perduran como esporas resistentes, o dentro de los tejidos de las plantas en descomposición. A partir de pequeñas lesiones marrones que aparecen en las heridas de los tubérculos después de la cosecha, estos hongos se desarrollan durante el almacenamiento (4).

F. sambucinum, teleomorfo de *Gibberella pulicaris* (Fries) Saccardo var. *pulicaris*, es considerado el hongo patógeno más agresivo causante de la pudrición seca en las principales áreas de producción de papa en el mundo (5). Esta especie es productora de varias micotoxinas, tales como: tricotecenos, ácido fusárico, fumonisinas, beauvericina, zearalenon, diacetoxiscirpenol y sambutoxina (6).

En Cuba estos hongos patógenos están ampliamente distribuidos y pueden causar daños de consideración cuando se les proporcionan las vías de penetración en la planta, como los daños mecánicos (7).

El control de la FDR incluye una adecuada rotación de cultivos, el uso de tubérculos-semillas de calidad, certificadas y tratadas, cultivares resistentes, esperar el calendario óptimo de plantación, correcta preparación y nivelación de suelo, eliminación de restos de tubérculos de almacenamiento, evitar lesiones en los tubérculos durante la cosecha y mantener las condiciones necesarias de humedad y temperatura para su almacenamiento (5, 7).

Entre los métodos de control de enfermedades fúngicas en plantas se encuentra el uso de microorganismos antagonistas, se destaca el uso de especies pertenecientes al género *Trichoderma*. El laboratorio de Micología Vegetal del Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA) posee un grupo de cepas de *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckfeldt & Nirenberg. Estas cepas se identificaron y caracterizaron morfofisiológica, patogénica y molecularmente, y sobresalen por su efecto biocontrolador frente a diferentes hongos fitopatógenos (8, 9, 10).

El presente trabajo tuvo como objetivos, comprobar la infectividad de dos aislamientos de *Fusarium* spp. en papa (*Solanum tuberosum* L.), y seleccionar cepas promisorias de *Trichoderma asperellum* para su control.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se desarrollaron en el Laboratorio de Micología Vegetal (LMV) del Centro Nacional

de Sanidad Agropecuaria (CENSA). Los dos aislamientos de *Fusarium* spp. (*Fp-1* y *Fp-2*) utilizados para el estudio, pertenecían a la colección de cultivos microbianos del Laboratorio de Micología Vegetal (CLMV) del CENSA, obtenidos a partir de muestras de tubérculos-semillas de papa.

Prueba de infectividad con los aislamientos de *Fusarium* spp.

Se sembraron los aislamientos de *Fusarium* spp. (*Fp-1* y *Fp-2*) en placas Petri de 90 mm de diámetro (\emptyset) con medio de cultivo Papa Dextrosa Agar (PDA) (BIOCEN), y se incubaron a $28\pm 1^\circ\text{C}$, durante siete días.

Bajo condiciones asépticas, se tomaron 30 tubérculos-semilla de calibre entre 35 a 49 mm del cultivar americano 'Paroli', se lavaron con agua corriente (por 20 min), se desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio al 1 % (1 min) y, posteriormente, tres enjuagues sucesivos con agua destilada estéril. Se colocaron sobre papel absorbente estéril para eliminar el exceso de agua. Para la inoculación, cada tubérculo-semilla de papa se perforó con un horador de cuatro mm de \emptyset por cuatro mm de profundidad, y los orificios (cuatro por cada tubérculo-semilla) realizados se inocularon con un disco (cuatro mm de \emptyset) de micelio de cada aislamiento de *Fusarium* spp., separadamente. Los tubérculos-semilla se incubaron a $20\pm 1^\circ\text{C}$ y oscuridad constante, durante tres semanas. Los controles se trataron de igual forma, solo que se inocularon con un disco de agar sin el hongo.

Ensayos para evaluar la infectividad de *Fusarium* spp. en papa inoculado al suelo:

- Tubérculos-semilla inoculados con *Fusarium* ssp. plantados en suelo estéril

Para el experimento se utilizaron macetas plásticas, previamente desinfectadas, con una solución de hipoclorito de sodio (2 %), y se les añadió 5 kg de suelo Ferralítico Rojo estéril, enriquecido con materia orgánica (estiércol vacuno) descompuesta (estéril a 121°C , 1 h, dos días seguidos) a una proporción de 3:1, respectivamente. Seguidamente, bajo condiciones asépticas, en el suelo estéril se plantaron, por cada maceta, tres tubérculos-semilla inoculados previamente con los aislados de *Fusarium* spp., a cinco centímetros de profundidad. A continuación, se le aplicó al suelo, con ayuda de una probeta estéril, 200 ml de agua destilada estéril. Se realizaron tres réplicas por tratamiento. Los controles fueron tubérculos-semilla desinfectados y perforados sin la inoculación del hongo patógeno, con la adición de 200 ml de agua destilada estéril, procesado de la misma forma que los tratamientos con los aislados de *Fusarium* spp.

- Tubérculos-semilla sanos plantados en suelo inoculado con *Fusarium* spp.

El inóculo se preparó bajo condiciones asépticas, a partir del cultivo de los aislamientos de *Fusarium* spp. en tubos con medio de cultivo PDA, incubados a 28±1°C y oscuridad constante, durante siete días. A los tubos con los cultivos se les añadieron 15 ml de agua destilada estéril y se homogenizaron en agitador Vortex durante un min. Las suspensiones se ajustaron independientemente con la adición de agua destilada estéril hasta la concentración de 10⁶ UFC.ml⁻¹, determinada en una cámara de Thomas para cada aislado.

La suspensión de cada aislado se aplicó al suelo estéril un día antes de realizar la plantación de los tubérculos-semilla, a razón de 200 ml por maceta. El control fue suelo estéril con la adición de 200 ml de agua destilada estéril.

Posteriormente, se cubrió el suelo de cada maceta con un papel Kraft estéril, y se incubaron a temperatura ambiente (~25°C) durante 24 h. Transcurrido este tiempo, se desinfectaron los tubérculos-semilla, como se describió previamente, y se plantaron tres por cada maceta por tratamiento y en el control. Se establecieron tres réplicas en todos los tratamientos.

Las macetas se colocaron a temperatura ambiente (~25°C) en condiciones de luz blanca constante y humedad del 60-70 %, con riegos en días alternos con 250 ml de agua destilada estéril por maceta.

Para la evaluación del experimento se seleccionaron tres plantas al azar por cada tratamiento, se marcaron en cada maceta para conocer el comportamiento de las variables agronómicas. En ambos tratamientos (tubérculos-semilla inoculados y suelo inoculado), las evaluaciones se realizaron a los 18, 21 y 24 días después de la plantación (DDP). La altura de las plantas (cm) se midió desde la superficie del suelo o base del tallo hasta la yema terminal de la planta. También se determinó, la marchitez, los tubérculos afectados y el número de hojas por planta.

Los datos se registraron en hojas de cálculo Microsoft Excel 2016, y se sometieron a prueba de normalidad Shapiro-Wilks. Las medias se compararon según la Prueba de Kruskal-Wallis, con el uso del paquete estadístico INFOSTAT Profesional ver. 2016 (11).

Efecto antagónico de las cepas de *T. asperellum* frente a dos aislamientos de *Fusarium* spp. de papa

Se evaluaron los modos de acción (antibiosis, competencia por espacio y micoparasitismo) de las cepas de *T. asperellum* frente a *Fusarium* spp. (*Fp-1* y *Fp-2*), utilizando el método de cultivo dual (CD) (12). Para ello se emplearon doce cepas de *T. asperellum* (denominados *Ta. 1*, *Ta. 12*, *Ta. 13*, *Ta. 17*, *Ta. 25*, *Ta. 28*, *Ta. 56*, *Ta. 75*, *Ta. 78*, *Ta. 79*, *Ta. 85* y *Ta. 90*, respectivamente).

Los aislados de *Fusarium* spp. se mantuvieron en medio de cultivo PDA a 25±2°C por siete días, y *T. asperellum* en agar malta a 28±2°C por tres días y oscuridad constante. El antagonismo se evaluó en placas Petri de 90 mm de diámetro contentivas de medio de cultivo PDA. Se incluyó un control del hongo fitopatógeno sin el antagonista. Todos los hongos en los tratamientos se incubaron a 28±2°C.

Para el ensayo se sembraron, diametralmente opuestos, discos de las cepas de *T. asperellum* y de los aislados de *Fusarium*, independientemente, a cinco mm del borde de la placa Petri (9 cm de Ø), contentiva de 15 ml de PDA, incubadas a 25±2°C y oscuridad. Se realizaron tres réplicas por cada cepa de *T. asperellum* y se incluyó un control de cada aislamiento de *Fusarium* spp., sembrado en la misma posición que en el CD, pero sin el antagonista.

Antibiosis

Se evaluó por el crecimiento micelial de los aislados de *Fusarium* spp. (*Fp-1* y *Fp-2*) en el CD antes del momento de contacto entre ambos hongos (*T. asperellum*- *Fusarium* spp.) a las 48 h, respecto a los controles (*Fp-1* y *Fp-2*).

Competencia por espacio

Las evaluaciones se llevaron a cabo a las 24, 48, 72 y 96 horas, y la clasificación como antagonista de los aislamientos se realizó según la escala descrita por Bell *et al.* (13). Se determinó el Porcentaje de Inhibición del Crecimiento Radial (PICR) según la fórmula:

$$PICR = [(R1 - R2)/R1] * 100$$

Donde:

R1- Crecimiento radial de la colonia en el control.
R2- Crecimiento radial del aislamiento del hongo patógeno enfrentado al antagonista.

Micoparasitismo

Se realizaron preparaciones (tres por tratamiento) con lactofenol-azul de algodón de la zona de contacto entre ambos hongos (*T. asperellum* - *Fusarium* spp.) a las 144 h. Las preparaciones se observaron al microscopio óptico, modelo N-800M (400x) para determinar el tipo de interacción hifal (granulación, vacuolización, enrollamiento, penetración y/o lisis) según los criterios de Chet *et al.* (14).

Los datos se analizaron por un Análisis de Varianza (ANOVA), y las medias se compararon según la Dócima de Rangos Múltiples de Duncan ($p \leq 0,05$), utilizando el paquete estadístico INFOSTAT Profesional ver. 2016 (11).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pruebas de infectividad con los aislamientos de *Fusarium* spp.

- Tubérculos-semilla de papa inoculados con *Fusarium* spp. plantados en suelo estéril

En el experimento, a los 18 DDP ambos aislamientos de *Fusarium* spp. ocasionaron síntomas en todas las plantas que brotaron. En el control absoluto, las plantas presentaron un desarrollo del cultivo normal; mientras que, en los restantes tratamientos brotaron plantas enanas, con tallos de menor diámetro y escasa foliación (Fig. 1B y C), observándose pudrición ascendente en la base del tallo de algunas plantas, en comparación con el control (Fig. 1A).

En el control absoluto, el número de hojas en todos los momentos de evaluación fue mayor que en los tratamientos (Fig. 2). Las plantas de papa de los tratamientos inoculados (*Fp-1* y *Fp-2*) presentaron diferencias entre ellas, de entre cuatro y siete hojas por planta; mientras que, las del control mostraron 11 hojas por cada planta (Fig. 2A). Las plantas de papa desarrolladas a partir de tubérculos-semilla inoculados con el aislamiento *Fp-1* presentaron menor cantidad de hojas que las infectadas con *Fp-2*, con respecto al control (Fig. 2A).

La distribución de la enfermedad en todos los momentos de evaluación fue mayor en

los tratamientos en comparación con el control, aumentando su severidad en el transcurso del tiempo. La altura de las plantas afectadas por los aislados de *Fusarium* spp. fue menor con respecto al control. A medida que transcurrieron los DDP la estatura de las plantas de papa disminuyó considerablemente, en comparación con el control (Fig. 2B). Las plantas de papa crecidas de tubérculos-semillas infectados con el aislado de *Fp-1* presentaron una menor altura que las inoculadas con el aislado de *Fp-2*, lo cual pudiera estar relacionado con la variabilidad patogénica.

Entre los 21 a 24 DDP se observó un incremento de los síntomas en las plantas inoculadas con los aislados de *Fusarium* spp. (*Fp-1* y *Fp-2*), se constató la aparición de amarillamiento, marchitez foliar, caída de las hojas, pudrición y, finalmente, la muerte de las plantas (Fig. 3B y C) en poco tiempo, con respecto al control (Fig. 3A) que continuó su crecimiento normal sin afectaciones. A medida que transcurrieron los DDP el número de hojas en las plantas de papa de los tratamientos inoculados con los aislados de *Fp-1* y *Fp-2* se redujo considerablemente, en comparación con el control con 13 hojas por planta (Fig. 3A). También se observó disminución de la altura de las plantas de los tratamientos inoculados con los aislados de *Fp-1* y *Fp-2*, con valores entre dos a siete centímetros, respectivamente, en comparación con el control, que presentó plantas con 37 centímetros de altura (Fig. 3B). No se observaron tubérculos-semilla afectados en los tratamientos.

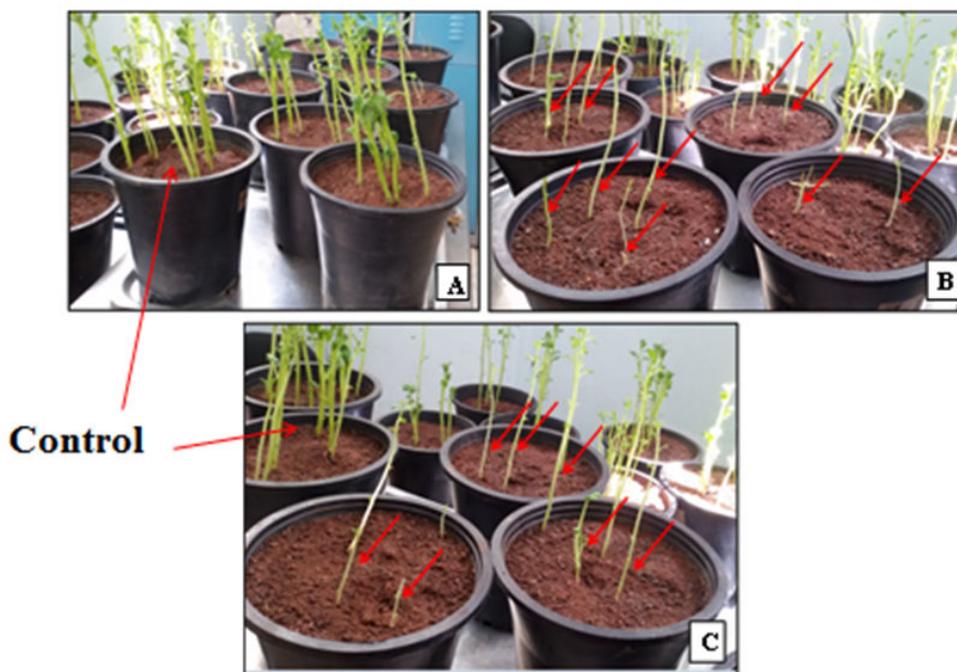


Figura 1. Plantas crecidas de tubérculos-semilla inoculados con los aislamientos *Fp-1* y *Fp-2* plantados en suelo estéril a los 18 días después de la plantación (DDP). Flechas rojas indican plantas enfermas crecidas de los tubérculos-semilla inoculados. A_ Control absoluto, B_ *Fp-1* y C_ *Fp-2* / Plants grown from seed tubers inoculated with the isolates *Fp-1* and *Fp-2* in sterile soil at 18 days after planting. Red arrows indicate diseased plants grown from seed tubers inoculated. A_ Absolute control, B_ *Fp-1* and C_ *Fp-2*.

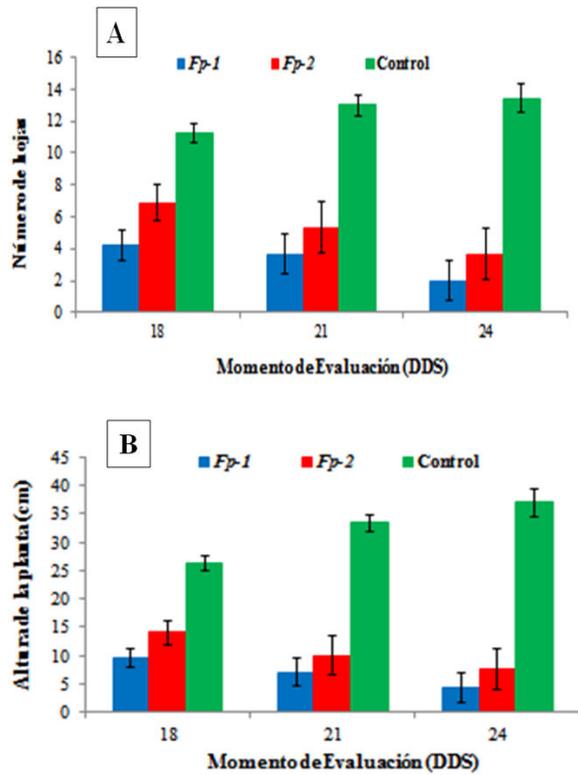


Figura 2. Tubérculos-semilla inoculados con los aislamientos de *Fusarium* spp. (*Fp-1* y *Fp-2*) plantados en suelo estéril. Número de hojas por planta (A) y altura de las plantas (B) en cada tratamiento / *Seed tubers inoculated with isolates of Fusarium spp. (Fp-1 and Fp-2) planted in sterile soil. Number of leaves per plant (A) and height of plants (B) in each treatment.*

- Tubérculos-semilla de papa sanos plantados en suelo inoculado con *Fusarium* spp.

En este ensayo, las yemas de los tubérculos-semillas demoraron en brotar 12 días. A los 18 DDP las macetas tratadas con el aislamiento *Fp-1* presentaron plantas con reducción del crecimiento y diámetro del tallo (Fig. 4B), en comparación con el control (Fig. 4A). En las macetas que contenían suelo inoculado con el aislamiento de *Fusarium* (*Fp-2*) crecieron plántulas con tamaños menores y tallos de menor diámetro (Fig. 4C), en comparación con el control (Fig. 4A).

En las plantas de papa crecidas a partir de los tubérculos-semilla sanos, plantados en suelo inoculado con los aislados *Fp-1* y *Fp-2*, se observó una disminución del número de sus hojas a partir de los 18, 21 y 24 DDP en comparación con el control (Fig. 5A), excepto para *Fp-2*, que aumentó.

En las plantas crecidas de los tubérculos-semilla sanos, plantados en suelo inoculado con los aislados de *Fusarium* spp., se observaron diferencias significativas al evaluar la altura de las plantas entre los tratamientos, comparada con la del control absoluto. Las plantas de papa desarrolladas en suelo inoculado con el aislado de *Fp-2* mostraron una altura mayor que las inoculadas con *Fp-1*; sin embargo, su tamaño fue menor en comparación con el control (Fig. 5B).

Entre los 21 y 24 días después de siembra (DDS) las plantas que crecieron con afectaciones no desarrollaron un mayor tamaño, sino que continuaron sin variación (Fig. 6) en comparación con el



Figura 3. Pruebas de infectividad en papa inoculada con *Fusarium* spp. a los 24 DDP. (A)_ Control absoluto, (B) plantas inoculadas con *Fp-1* y (C) plantas inoculadas con *Fp-2*. / *Infectivity tests in inoculated potato with Fusarium at 24 DDP. (A) Absolute control, (B) plants inoculated with Fp-1, and (C) plants inoculated with Fp-2.*



Figura 4. Plantas crecidas de tubérculos-semilla sanos plantados en suelo inoculado con los aislamientos *Fp-1* y *Fp-2*. (A) Control absoluto, (B) *Fp-1* y (C) *Fp-2*. Flechas rojas indican plantas enfermas crecidas de los tubérculos-semilla sanos. / Plants grown from healthy seed tubers in inoculated soil with the isolates *Fp-1* and *Fp-2*. (A) Absolute control, (B) *Fp-1*, and (C) *Fp-2*. Red arrows indicate diseased plants grown from healthy seed tubers.

control (Fig. 6A). Con el transcurso de los días las plantas comenzaron a mostrar síntomas de marchitez, amarillamiento, que progresaron en el tiempo. La necrosis se extendió y ascendió hasta abarcar la parte superior del tallo y las ramas (Fig. 6B y C).

En el experimento de plantas crecidas a partir de tubérculos-semilla inoculados con los aislamientos *Fp-1* y *Fp-2* plantados en suelo estéril, la altura de las plantas fue menor que las del segundo ensayo en el suelo inoculado, lo cual podría estar relacionado con una mayor penetración de los hongos fitopatógenos en los tubérculos-semilla, limitando el crecimiento normal de las plantas. Este aspecto incidió en la evaluación del número de hojas, variable afectada, mayoritariamente, debido a la aparición de los síntomas de marchitez y amarillamiento. El aislamiento de *Fp-1*, fue más agresivo que el de *Fp-2*.

Estos resultados permitirán desarrollar un manejo más eficiente, teniendo en cuenta que hay que evitar la infección de los tubérculos-semilla de papa con este hongo patógeno, ya que en los tubérculos-semilla infectados se producen síntomas más intensos que los tubérculos sanos que se desarrollaron en suelo infectado.

Efecto antagónico de las cepas de *T. asperellum* frente a dos aislamientos de *Fusarium* spp. de papa

Las 11 cepas de *T. asperellum* evaluadas mostraron elevado antagonismo frente a los dos aislamientos de *Fusarium* spp. de papa.

Antibiosis

Todas las cepas de *T. asperellum* inhibieron, significativamente, el crecimiento de los hongos fitopatógenos desde las 48 h antes del contacto físico entre ambos hongos, en comparación con el control. La cepa *Ta. 78* provocó la mayor inhibición del desarrollo del aislado de *Fp-1*, sin diferencias con *Ta. 28*, *Ta. 56* y *Ta. 85*, pero sí con las restantes cepas (Fig. 7A). El crecimiento del aislamiento de *Fp-2*, fue mayormente inhibido por la cepa *Ta. 75*, aunque solo mostró diferencias con las cepas *Ta. 17*, *Ta. 25* y *Ta. 90* (Fig. 7B).

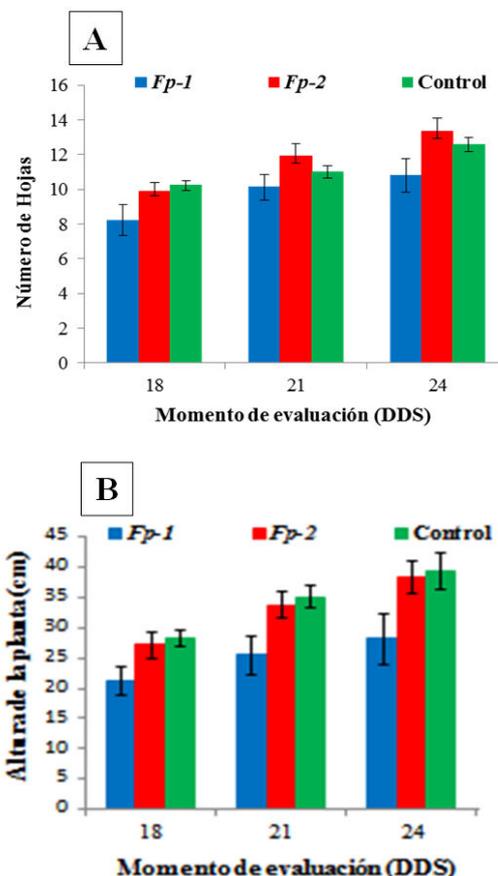


Figura 5. Tubérculos-semilla de papa sanos plantados en suelo inoculado con los aislamientos *Fp-1* y *Fp-2*. (A) Número de hojas por planta y (B) Altura de las plantas en cada tratamiento / Healthy potato seed tubers planted in soil inoculated with the isolates *Fp-1* and *Fp-2*. Number of leaves per plant (A) and height of the plants (B) in each treatment

Numerosos autores confirmaron la existencia de compuestos volátiles y no volátiles producidos por *Trichoderma* spp. con acción inhibitoria sobre el crecimiento de hongos fitopatógenos (15, 16).

Los resultados obtenidos en este estudio tienen similitud con lo notificado por Martínez *et al.* (17), quienes informaron la acción inhibitoria ocasionada por la cepa de *T. asperellum* (*Ta. 78*) frente al aislado de *Fusarium nygamai* Burgess & Trimboli patógeno de garbanzo (*Cicer arietinum* L.). Dugassa *et al.* (16)

confirmaron el elevado efecto inhibitorio ejercido por las cepas de *Trichoderma viride* Pers., *Trichoderma harzianum* Rifai, *Trichoderma hamatum* (Bonord.) Bainier y *Trichoderma reesei* Simmons al enfrentarlas con *Fusarium solani* ((Martius) Appel & Wollenweber emend. Snyder & Hansen) AAUF51, aislado de frijol faba (*Vicia faba* L.) de Etiopía. De igual forma, Ghazanfar *et al.* (18), comunicaron la reducción

del crecimiento micelial de *Fusarium oxysporum* Schlechtend.: Fr. f. sp. *ciceri* (Padwik) Matuo & K. Sato, al ser enfrentado con una cepa de *T. harzianum*. Por otra parte, Win *et al.* (15), notificaron la acción provocada por los metabolitos excretados por las cepas de *T. asperellum* al reducir el crecimiento de las colonias de *F. oxysporum*, *Fusarium fujikuroi* Nirenberg y *Fusarium cantenulatum* F. J. Chen.

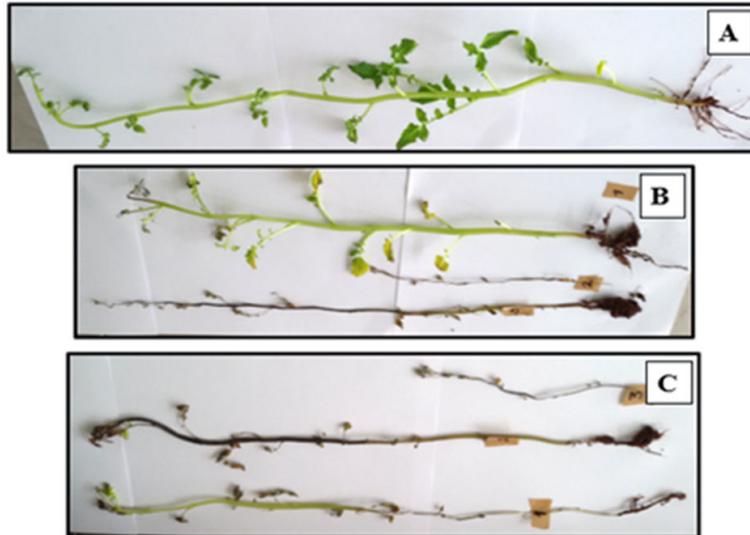
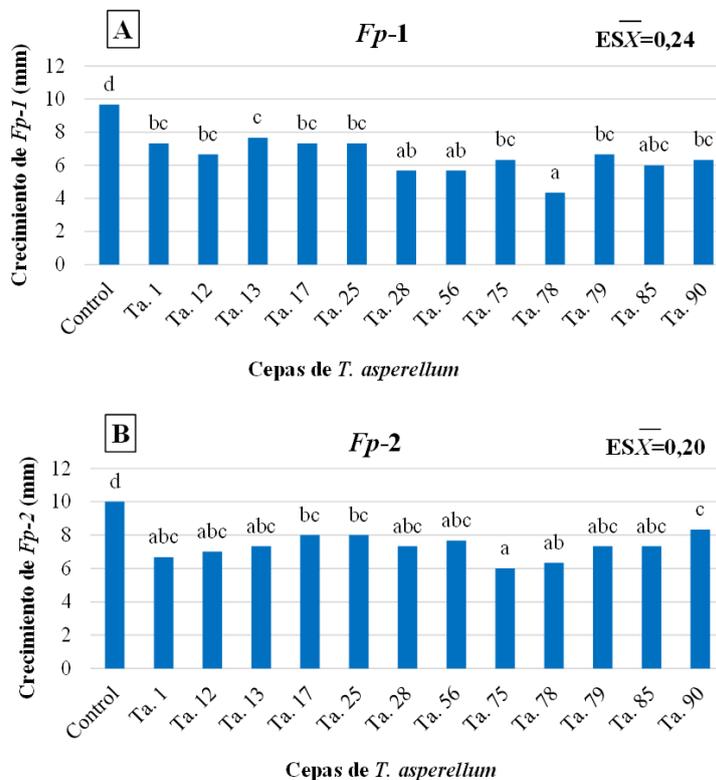


Figura 6. Pruebas de infectividad en papa plantada en suelo inoculado con *Fusarium* spp. a los 24 DDP. (A) Control, (B) Fp-1, (C) Fp-2 / *Infectivity tests in potatoes planted in soil inoculated with Fusarium spp. at 24 DDP. (A) Control, (B) Fp-1, (C) Fp-2.*



Medias con letras diferentes difieren significativamente, según Duncan ($p \leq 0,05$)

Figura 7. Crecimiento radial de los aislados Fp-1 (A) y Fp-2 (B) de *Fusarium* spp. frente a *T. asperellum* en cultivo dual a las 48 horas / *Radial growth of the isolates Fp-1(A) and Fp-2 (B) of Fusarium spp. against T. asperellum in dual culture at 48 hours*

El análisis integral del efecto de las cepas de *T. asperellum* frente a los dos aislados de *Fusarium* spp. en las primeras 48 h, indicó que las cepas que ocasionaron mayor inhibición del desarrollo micelial de los hongos fitopatógenos fueron *Ta.* 28, *Ta.* 56, *Ta.* 75, *Ta.* 78 y *Ta.* 85.

Competencia por espacio

Todas las cepas de *T. asperellum* evaluadas mostraron una mayor velocidad de crecimiento que los aislados *Fp*-1 y *Fp*-2 de papa (Fig. 8), por lo que se ubicaron en la clase 1 de la escala de Bell *et al.* (13). Esta capacidad de crecer con mayor rapidez les brinda a las cepas de *Trichoderma* spp. una ventaja valiosa en la competencia por el espacio y los nutrientes frente a los hongos fitopatógenos.

Resultados similares obtuvieron Duarte *et al.* (19), al enfrentar cepas de *T. asperellum* con un crecimiento más rápido que los aislados de *Fusarium* spp. (*Fs*.1 y *Fs.* 2), procedentes de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Por su parte Larran *et al.* (20), anunciaron el crecimiento acelerado de las colonias de *T. harzianum* frente a *Fusarium sudanense* S.A. Ahmed, Al-Hatmi & de Hoog, aislado de trigo (*Triticum* spp.) en Argentina. Amira *et al.* (21), demostraron el crecimiento rápido de *T. harzianum* (*Ths97*) frente a *F. solani* (*Fso14*), aislado del árbol de olivo (*Olea europaea* L.).

Los mayores PICR de los hongos fitopatógenos se obtuvieron con la cepa *Ta.* 79, con valores de 44,48 y 36,84 para *Fp*-1 y *Fp*-2, respectivamente, con diferencias significativas respecto a las demás, con excepción de *Ta.* 1, *Ta.* 13, *Ta.* 17, *Ta.* 25 y *Ta.* 28 que no tienen diferencias con *Ta.* 79 (*Fp*-2). (Fig. 9)

Los resultados coinciden con los informados por Corallo *et al.* (22), quienes al enfrentar cepas de *Trichoderma virens* (J. H. Mill., Giddens & A. A. Foster) Arx. (T49) con *F. nygamai* (F4) en cultivo dual, obtuvieron un 39 % de inhibición del crecimiento del fitopatógeno de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). Estudios realizados por Martínez *et al.* (17), notificaron resultados similares al obtener un PICR por encima del 40 % con la cepa de *T. asperellum* (*Ta.* 79) frente a *F. oxysporum* (*F.* 51) aislado de *C. arietinum*.

Micoparasitismo

Todas las cepas de *T. asperellum* produjeron granulación y vacuolización del contenido citoplasmático en el micelio de los aislados de *Fusarium* spp. (*Fp*-1 y *Fp*-2) (Fig. 10). Las mejores cepas de *T. asperellum* con actividad parasítica (lisis y penetración) sobre los aislados de *Fusarium* fueron *Ta.* 1 y *Ta.* 78 frente a *Fp*-1, y frente a *Fp*-2 se destacó *Ta.*79. (Fig. 10)

Las cepas de *T. asperellum* tienen la capacidad de producir enzimas (glucanasa y/o quitinasa) excretadas externamente, que degradan la pared celular de los hongos fitopatógenos ocasionando la reducción de su crecimiento (23). Javeria *et al.* (24), notificaron el efecto ocasionado por la interacción entre *T. harzianum* y *F. oxysporum* f. sp. *lentis* (*Fol*), al observar la actividad de las enzimas quitinasa y β -1,3 glucanasa. La producción de las enzimas secretadas por el antagonista fue mayor en presencia del fitopatógeno, lo que propició un mayor enrollamiento de las hifas de *T. harzianum* con la consecuente reducción del crecimiento de *Fol*.

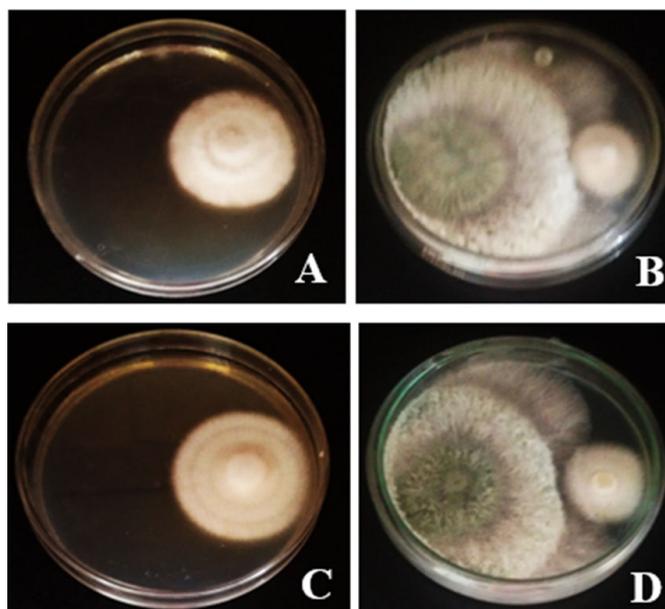
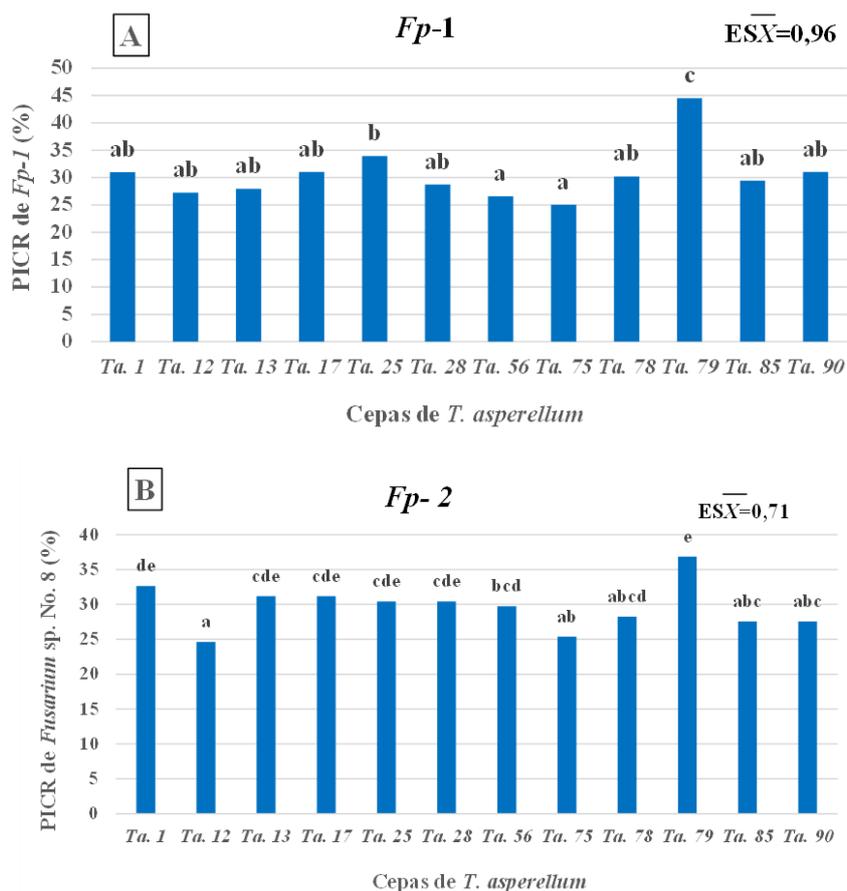


Figura 8. Competencia por espacio de *T. asperellum* frente a *Fusarium* spp. (*Fp*-1 y *Fp*-2) a las 96h. **A**-control de *Fp*-1, **B**-*Ta.* 79 frente a *Fp*-1, **C**-control de *Fp*-2, **D**- *Ta.* 79 frente a *Fp*-2. / Competition for space of *T. asperellum* against *Fusarium* spp. (*Fp*-1 and *Fp*-2) at 96h. (A) *Fp*-1 control, (B) *Ta.* 79 against *Fp*-1, (C) *Fp*-2 control, (D) *Ta.* 79 against *Fp*-2



Medias con letras diferentes difieren significativamente, según Duncan ($p \leq 0,05$)

Figura 9. Porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PICR) de aislamientos de *Fusarium* spp. por cepas de *T. asperellum* a las 96 horas. (A) Aislado de Fp-1 y (B) Aislado de Fp-2. / Percentage of inhibition of radial growth (PICR) of isolates of *Fusarium* spp. by strains of *T. asperellum* at 96 h. (A) isolate Fp-1 and (B) isolate Fp-2.

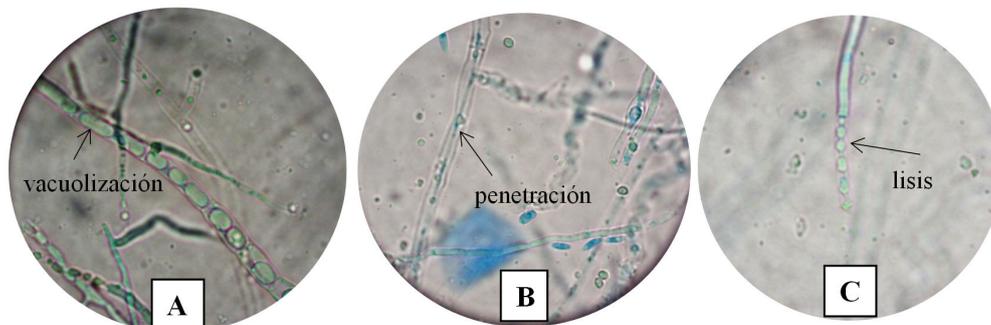


Figura 10. Micoparasitismo de las cepas de *T. asperellum* sobre los aislamientos de *Fusarium* spp. A- Ta. 78 frente a Fp-1, B- Ta. 1 frente a Fp-1, C-Ta. 79 frente a Fp-2. / Mycoparasitism of strains *T. asperellum* on isolates of *Fusarium* spp. (A) Ta. 78 on Fp-2, (B) Ta. 1 on Fp-1, (C) Ta. 79 on Fp-2.

Al integrar los resultados obtenidos de esta investigación, las cepas Ta.1, Ta. 28, Ta. 78 y Ta. 79 sobresalen como promisorias para el control de los aislados de *Fusarium* spp.

REFERENCIAS

1. FAOSTAT. 2020. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Consulta: 04.11.2023.
2. ONEI (Oficina Nacional de Estadística e Información). Anuario Estadístico de Cuba 2022. Agricultura, Ganadería, Silvicultura y Pesca. Edición 2023. [Consulta: 10 julio 2024].
3. Tiwari R, Kumar R, Sharma S, Sagar V, Aggarwal R, Naga K, et al. Potato dry rot disease: current status, pathogenomics and management. 3 Biotech. 2020; 10:503. <https://doi.org/10.1007/s13205-020-02496-8>

4. Falert S, Akarapisan A. Identification of *Fusarium* spp. causing dry rot of seed potato tubers in northern, Thailand. International Journal of Agricultural Technology. 2019; 15(4): 567-578.
5. Elsherbiny A, Dawood H, Elsebai M, Mira A, Taher M. Control of dry rot and resistance induction in potato tubers against *Fusarium sambucinum* using red onion peel extract. Postharvest Biology and Technology. 2023; 195: 112119.
6. Liu J, Sun Z, Zou Y, Li W, He F, Huang X, et al. Pre-and postharvest measures used to control decay and mycotoxigenic fungi in potato (*Solanum tuberosum* L.) during storage. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 2022; 62(2): 415-428.
7. Ministerio de la Agricultura (MINAG) de la República de Cuba. Dirección de Agricultura del MINAG. Instructivo técnico para la producción de papa en Cuba; 2019.
8. Duarte-Leal Y, Lamz-Piedra A, Martínez-Coca B. Antagonismo *in vitro* de aislamientos de *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckfeldt & Nirenberg frente a *Sclerotium rolfsii* Sacc. Rev. Protección Veg. 2017; 32(3):1-11. Cu-ID: <https://cu-id.com/2247/ojs925>.
9. Martínez B, Pérez J, Infante D, Duarte Y, Moreno M. Antagonismo de aislamientos de *Trichoderma* spp. frente a *Didymella bryoniae* (Fuckel) Rehm. Rev. Protección Veg. 2013; 28(3):192-198. Cu-ID: <https://cu-id.com/2247/ojs347>.
10. Cruz A, Rivero D, Echevarría A, Infante D, Martínez B. *Trichoderma asperellum* en el manejo de hongos fitopatógenos en los cultivos de arroz (*Oryza sativa* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y soya (*Glycine max* L.). Rev. Protección Veg. 2015;30 (suppl.1):87. Cu-ID: <https://cu-id.com/2247/ojs696>.
11. Di Rienzo J, Balzarini M, González L, Tablada M, Guzmán W, Robledo C, et al. InfoStat Profesional versión 2.1. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina. 2016.
12. Martínez B, Solano T. Antagonismo de *Trichoderma* spp. frente a *Alternaria solani* (Ellis y Martin) Jones y Grout. Rev. Protección Veg. 1995; 10(3):221-225
13. Bell K, Wells D, Markham R. *In vitro* antagonism of *Trichoderma* species against six fungal plant pathogens. Phytopathology. 1982; 72:379-382.
14. Chet I, Harman G, Baker R. *Trichoderma hamatum*: its hyphal interactions with *Rhizoctonia solani* and *Pythium* spp. Microbiol. Ecol. 1981; 7(1): 29-38.
15. Win TT, Bo Bo, Malec P, Khan S, Fu P. Newly isolated strain of *Trichoderma asperellum* from disease suppressive soil is a potential bio-control agent to suppress *Fusarium* soil borne fungal phytopathogens. Jour. Plant Pathol. 2021; 103:549-561.
16. Dugassa A, Alemu T, Woldehawariat Y. *In-vitro* compatibility assay of indigenous *Trichoderma* and *Pseudomonas* species and their antagonistic activities against black root rot disease (*Fusarium solani*) of faba bean (*Vicia faba* L.). BMC Microbiology. 2021; 21:115.
17. Martínez-Coca B, Infante B, Caraballo W, Duarte-Leal Y, Echevarría-Hernández A. Antagonismo de cepas de *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckfeldt & Nirenberg frente a aislamientos de *Fusarium* spp. procedentes de garbanzo. Rev. Protección Veg. 2018; 33(2):1-13. Cu-ID: <https://cu-id.com/2247/ojs962>.
18. Ghazanfar MU, Hamid MI, Raza M, Raza W, Qamar MI. Suppressiveness of Late Blight and *Fusarium* wilt of Tomato with *Trichoderma* Fortified Composts. Sarhad Journal of Agriculture. 2019; 35(3): 823-833.
19. Duarte-Leal Y, Pozo-Martínez L, Martínez-Coca B. Antagonismo *in vitro* de cepas de *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckfeldt & Nirenberg frente a aislados de *Fusarium* spp. Rev. Protección Veg. 2021; 33 (1): 1-10. Cu-ID: <https://cu-id.com/2247/ojs951>.
20. Larran S, Santamarina MP, Roselló J, Simón MR, Perelló A. *In Vitro* Antagonistic Activity of *Trichoderma harzianum* against *Fusarium sudanense* causing seedling blight and seed rot on wheat. ACS Omega. 2020; 5: 23276–23283.
21. Amira MB, Lopeza D, Triki A, Khouajab A, Chaard H, Fumanala B, et al. Beneficial effect of *Trichoderma harzianum* strain Ths97 in biocontrolling *Fusarium solani* causal agent of root rot disease in olive trees. Biological Control. 2017; 110: 70-78.
22. Corallo AB, Bettucci LJ, Tiscornia SM. Selección de cepas de *Trichoderma* para el control biológico de *Fusarium nygamai* en sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales. 2021; 8 (1):11-22.
23. Taha M, Abdel-Fattah A, Al-Askar AA, Sayed SRM, Mostafa A. Antagonistic activity of *Trichoderma harzianum* and *Trichoderma viride* strains against some fusarial pathogens causing stalk rot disease of maize, *in vitro*, Journal of King Saud University - Science. 2021; doi: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101363>
24. Javeria S, Kumar A, Chandra A, Varma A, Srinivasa N, Sharma P. Evaluation of rhizospheric *Trichoderma* species strains for producing cell wall-degrading and defense related enzymes in response to *Fusarium oxysporum* f. sp. *lentis*. Indian Phytopathology. 2020; 1-7.

Declaración de conflicto de intereses: Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Contribución de los autores: Yanisia Duarte Leal: **Análisis formal. Investigación. Metodología. Visualización. Escritura - borrador original. Redacción (revisión y edición).** Benedicto Martínez Coca: **Análisis formal. Metodología. Redacción (revisión y edición).** Ileana Miranda: **Metodología. Recursos. Redacción (revisión y edición).** Danay Ynfante: **Investigación.**

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](#)