



Reporte Fitopatológico

Nivel de fusariosis (*Fusarium oxysporum*) en plantas de jitomate (*Solanum lycopersicum*) tratadas con *Trichoderma asperellum* Jc01 y *Bacillus subtilis* ANT01

Miguel Salvador-Figueroa¹, José Fernando Gómez-López¹, Miguel Salvador-Adriano¹, María de Lourdes Adriano-Anaya¹, Isidro Ovando-Medina¹, Benjamín Moreno-Castillo^{1*}. ¹Instituto de Biociencias, Universidad Autónoma de Chiapas. Boulevard Príncipe Akishino s/n. Colonia Solidaridad 2000, C. P. 30798, Tapachula, Chiapas, México.

*Autor de correspondencia:
Benjamín Moreno-Castillo
benjamin.moreno@unach.mx

Sección:
Edición periódica

Revisado:
26 Agosto, 2025
Aceptado:
24 Febrero, 2026
Publicado:
11 Marzo, 2026

Cita:
Salvador-Figueroa M, Gómez-López JF, Salvador-Adriano M, Adriano-Anaya ML, Ovando-Medina I y Moreno-Castillo B. 2026. Nivel de fusariosis (*Fusarium oxysporum*) en plantas de jitomate (*Solanum lycopersicum*) tratadas con *Trichoderma asperellum* Jc01 y *Bacillus subtilis* ANT01. Revista Mexicana de Fitopatología 44(2): 119. <https://doi.org/10.18781/R.ME.X.FIT.2408-4>

RESUMEN

Antecedentes/Objetivo. La producción y calidad del cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum*) se ven fuertemente reducidas por el hongo *Fusarium oxysporum*, agente causal de la fusariosis. Convencionalmente se aplican fungicidas químicos, aunque ante infecciones severas las cosechas se pierden en su totalidad. Las condiciones ambientales favorables incrementan los niveles de incidencia, capacidad de infección y de diseminación. El control biológico es una estrategia útil para combatir este tipo de patógenos. El objetivo de esta investigación consistió en determinar la incidencia de fusariosis (*Fusarium oxysporum*) en plantas de tomate cultivadas en campo y tratadas con *Trichoderma asperellum* Jc01 y *Bacillus subtilis* ANT01.

Desarrollo experimental. *Trichoderma asperellum* Jc01 y *Bacillus subtilis* ANT01 de manera individual y en combinación, fueron aplicados semanalmente a la zona de goteo de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*). Periódicamente se muestreó la incidencia de la enfermedad tanto en las plantas tratadas y no tratadas para monitorear la evolución de la incidencia de la enfermedad durante 15 semanas. Adicionalmente se registró el número de flores y frutos producidos en las plantas experimentales.

Resultados. Al final del ensayo de campo, las plantas tratadas con *B. subtilis* ANT01 mostraron 60 % menos incidencia con respecto al testigo y un total de 47.9 frutos producidos planta⁻¹, mientras que las plantas tratadas con *Trichoderma asperellum* Jc01 o la combinación de ambos microorganismos mostraron 16 y 28 % menos incidencia que el testigo, y 18.0 y 27.3 frutos producidos planta⁻¹, respectivamente.

Conclusión. Los resultados muestran evidencia parcial del potencial de la cepa ANT01 como agente de biocontrol de *F. oxysporum* en plantas de tomate.

Palabras clave: Biocontrol, Incidencia, Fitopatógeno, Microorganismos



INTRODUCCIÓN

En todos los estados que conforman la república mexicana, el jitomate o tomate (*Solanum lycopersicum*) es cultivado en alrededor de 49 000 ha con rendimiento promedio de más de 70 t ha⁻¹. México ocupa el primer lugar como exportador de este fruto, con una participación superior al 19 % en el mercado mundial (Montaño *et al.*, 2021). De la superficie total cultivada con jitomate Chiapas aportó el 3.3 % (1 638 ha) y 2.4 % (82 729 t) de la producción, ubicándose en el octavo y decimocuarto lugar en estos rubros, respectivamente (SIAP, 2023). El control convencional de plagas y enfermedades del jitomate es realizado con formulaciones de síntesis química (McGovern, 2015).

Las bacterias como *Bacillus subtilis* y hongos como *Trichoderma* spp., son considerados agentes de control biológico de enfermedades con un amplio potencial en la agricultura moderna (Prabhakaran *et al.*, 2015). Ambos pueden ser empleados como células vivas o latentes y ser aplicados al suelo, follaje o la semilla (Minchev *et al.*, 2021). *Trichoderma* spp. es ubicuo en el ambiente, fácil de aislar y cultivar, crece en diferentes sustratos y controla una amplia gama de microorganismos fitopatógenos. En plantas de jitomate, se ha reportado que *Trichoderma* spp. reduce entre 85 y 90 % la incidencia de fusariosis causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Alshammari *et al.*, 2022). Por su parte *Bacillus* sp. reduce 75 % el marchitamiento causado por *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* raza 2 (Qi *et al.*, 2016). Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue determinar el nivel de fusariosis (*Fusarium oxysporum*) del tomate (*Solanum lycopersicum*) con el empleo de *Trichoderma asperellum* Jc01 y *Bacillus subtilis* ANT01, dos microorganismos con potencial de biocontrol.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Sitio de trabajo. El trabajo fue realizado en la Estancia Agroecológica “Ayol” del Municipio de Tapachula Chiapas, México (14°49'46" N; 92°17'42" O; precipitación pluvial promedio 2 600 mm; humedad relativa 80 %; temperatura promedio anual de 26 °C).

Crecimientos de *T. asperellum* Jc01 y *B. subtilis* ANT01. Las cepas fueron proporcionadas por el cepario del Instituto de Biociencias de la Universidad Autónoma de Chiapas. *T. asperellum* Jc01 fue cultivado, hasta esporulación, en placas de Petri con medio de cultivo Papa Dextrosa Agar (PDA) a pH 5.6 ± 0.2 y 25 - 28 °C. Para la producción masiva de esporas, un disco de micelio en crecimiento activo (1 cm de diámetro) fue suspendido en 10 mL de solución isotónica y 150 µL de la suspensión fue dispersada sobre PDA contenido en botellas tipo Roux de 500 mL. El crecimiento del microorganismo fue realizado en las condiciones previamente mencionadas hasta la esporulación. Para la extracción (“colecta”) de esporas fueron utilizados 10 mL de solución isotónica con Tween 80 al 0.5 %. La concentración de esporas fue determinada mediante conteo directo en cámara de Neubauer. El crecimiento de *B. subtilis* ANT01 fue realizado en caldo de Papa-Dextrosa (CPD). Primeramente, una colonia con las características propias de la cepa fue tomada con un asa bacteriológica y se inoculó en 5 mL de CPD contenidos en un tubo de ensaye de 16 x 100 y fue incubado con agitación rotatoria (150 rpm) a 25 °C por 24 h. Posteriormente, el contenido del tubo fue vertido en 100 mL de CPD y se incubó bajo las condiciones previamente mencionadas. La concentración de bacterias fue determinada utilizando diluciones seriadas y la técnica del número más probable (NMP). Después de

incubar bajo las condiciones previamente descritas, el crecimiento microbiano fue determinado espectrofotométricamente a 560 nm contra el CPD no inoculado.

Material vegetal. Las plántulas de *S. lycopersicum* fueron desarrolladas sobre una mezcla de compost-vermicompost (4:1) en charolas de 70 cavidades. Las semillas fueron desinfectadas con hipoclorito de sodio (1.5 %) durante 10 min, y se hicieron tres lavados con agua estéril, para después secarse sobre papel absorbente. Las semillas fueron sembradas (tres por cavidad) a 1 cm de profundidad. Las plántulas germinadas y seleccionadas fueron mantenidas por 30 días a humedad constante mediante riego regular hasta alcanzar la altura de 10 a 12 cm.

Establecimiento del cultivo en campo. Para el cultivo a campo abierto primeramente se estructuraron cuatro surcos o camas de siembra de 12 m de largo, 45 cm de ancho, 30 cm de altura y 200 cm de separación entre ellos. Plántulas (30 por tratamiento) sanas, con hojas bien desarrolladas, de color verde, erectas y con sistema de raíces blancas y bien desarrollado, fueron trasplantadas con 30 cm de separación entre plantas.

Diseño de tratamientos. Se utilizó un diseño de tratamientos factorial completo 2^2 (Cuadro 1) con los factores *B. subtilis* ANT01 (1×10^6 UFC g^{-1} suelo) y *T. asperellum* Jc01 (1×10^4 esporas g^{-1} suelo) a niveles de ausencia (-1) y presencia (+1). La aplicación de los tratamientos fue realizada semanalmente sobre un radio de 30 cm alrededor de la planta x 30 cm de profundidad. Estas aplicaciones se realizaron desde el día de transplante hasta la cosecha de frutos (15 aplicaciones en total).

Manejo del cultivo. La fertilización de suelo fue realizada con la aplicación de 2 L de biol cada 7 días durante todo el ciclo de cultivo y 1 kg de compost más 2 kg de vermicompost cada 56 días. Los biofertilizantes fueron aplicados en la zona de goteo de la planta. El control de arvenses fue realizado manualmente y el control de plagas mediante la aspersión de extracto acuoso de hojas de neem (*Azadirachta indica*) al 10 % cada 7 días. Cuando fue requerido se aplicó riego a capacidad de campo y se colocaron “tutores” para guiar el crecimiento del vegetal.

Variables de respuesta. Las plantas de todos los tratamientos fueron revisadas semanalmente para detectar visualmente los síntomas característicos de la fusariosis (amarillamiento y marchitamiento de las hojas inferiores, oscurecimiento vascular en tallo), derivados de infección natural. La incidencia (I) de la fusariosis fue calculada en cada uno de los tratamientos empleando la formula siguiente: $I = (\text{número de plantas con síntomas de fusariosis}) / (\text{plantas totales})^{-1}$. Además, se determinó la cantidad total de flores y frutos producidos por cada una de las plantas de cada uno de los tratamientos.

Análisis de los resultados. Los resultados de incidencia, flores y frutos producidos fueron sometidos al análisis del efecto de los factores *B. subtilis* ANT01 y/o *T. asperellum* Jc01 y la significancia estadística del efecto sobre la incidencia de la fusariosis, fueron determinados en concordancia con los procedimientos establecidos para el diseño factorial completo.

Seis semanas después del trasplante (SDT) en campo, se empezaron a observar las primeras plantas con síntomas característicos de la fusariosis. Por su parte, en aquellas plantas tratadas con *B. subtilis* ANT01, las primeras plantas enfermas se observaron hasta la 9 SDT mientras que, en las plantas tratadas con *T. asperellum* Jc01 o con ambos microorganismos, se registraron a la 6 y 7 SDT, respectivamente. Conforme transcurrió el

tiempo de cultivo, la cantidad de plantas con síntomas siguió en aumento siendo las plantas del control las que alcanzaron la mayor incidencia (0.50), mientras que las plantas de los tratamientos con *B. subtilis* ANT01, *T. asperellum* Jc01 o con ambos microorganismos mostraron 60, 16 y 28 % menos incidencia a las 15 SDT, respectivamente, en comparación con el testigo (Figura 1).

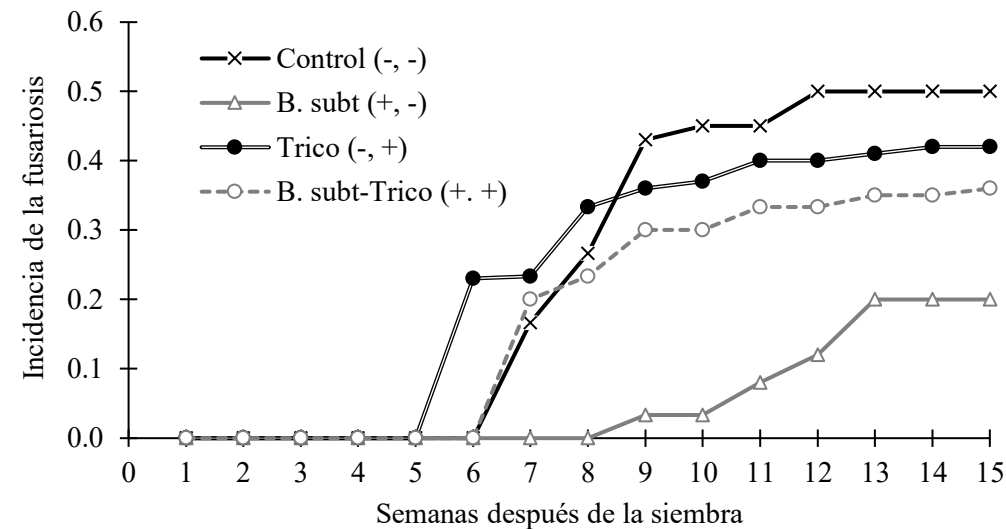


Figura 1. Incidencia (representada de 0-1) de síntomas asociados a fusariosis en plantas de tomate cultivadas en campo y sometidas a diferentes tratamientos de control biológico.

El análisis del efecto de *B. subtilis* ANT01 y *T. asperellum* Jc01 sobre la incidencia de la fusariosis mostró que *B. subtilis* ANT01 fue el único que tuvo valores negativos, mientras que, los valores para *T. asperellum* Jc01 o la interacción *B. subtilis* ANT01 + *T. asperellum* Jc01 fueron positivos (Cuadro 1).

El tratamiento con *B. subtilis* ANT01 produjo un promedio de 70 flores planta⁻¹, mientras que los tratamientos con *B. subtilis* ANT01 + *T. asperellum* Jc01, *T. asperellum* Jc01 y control produjeron, respectivamente, 42.1, 30.7 y 30.0 flores planta⁻¹. La cantidad de frutos producidos en el tratamiento con *B. subtilis* ANT01 fue de 47.9 frutos planta⁻¹, por su parte los tratamientos control, *T. asperellum* Jc01 y *B. subtilis* ANT01 x *T. asperellum* Jc01 produjeron un total de 7.6, 18.0 y 27.3 frutos planta⁻¹.

Cuadro 1. Efecto de *Bacillus subtilis* ANT01 y *Trichoderma asperellum* Jc01 sobre la incidencia de la fusariosis, producción de flores y frutos en el cultivo de tomate.

Efecto	Incidencia	Flores planta ⁻¹	Frutos planta ¹
Total	0.266	40.8	25.2
<i>B. subtilis</i> ANT01	-0.064	10.5	12.4
<i>T. asperellum</i> Jc01	0.025	-9.2	-2.6
<i>B. subtilis</i> ANT01+ <i>T. asperellum</i> Jc01	0.051	-9.5	-7.7

El análisis del efecto de *B. subtilis* ANT01 y *T. asperellum* Jc01 y su interacción, sobre la cantidad de flores y frutos producidas por las plantas de jitomate, mostró que el único factor que mejoró la producción de ambas variables fue *B. subtilis* ANT01 (Cuadro 1). Por su parte, la incidencia asociada a fusariosis en el cultivo de tomate de este trabajo (Figura 1) fue mejor a lo reportado (reducción del 55 %) en el cultivo de calabaza

(*Cucurbita maxima*) empleando como controlador a *B. subtilis* SQR 9 (Cao *et al.*, 2011). El control de fusariosis ejercido por *B. subtilis* ANT01 puede ser el resultado de una eficiente colonización de la raíz del jitomate, como sugirieron Cao *et al.* (2011) para la cepa de *B. subtilis* SQR 9 y Zhao *et al.* (2013) para la cepa de *B. subtilis* Y-IVI; o a la inducción de resistencia sistémica de la planta con las cepas de *B. subtilis* CBMT51, *B. subtilis* B2 y *B. subtilis* IAGS174 (Mejía-Bautista *et al.*, 2016; Corrales *et al.*, 2012; Akram *et al.*, 2014); por la producción de sustancias antibióticas en la cepa de *B. subtilis* B2 (Corrales *et al.*, 2012); o bien, por competencia de nutrientes o producción de enzimas líticas con la cepa *B. subtilis* TV-125 (Wang *et al.*, 2018; Senol *et al.*, 2014).

Por otro lado, la falta de control de la fusariosis con la cepa de *T. asperellum* Jc01 (Figura 1) solo es un indicador de que probablemente la cepa no produce metabolitos o enzimas capaces de inhibir el crecimiento de *F. oxysporum*, no muestra capacidad competidora ni muestra capacidad de inducción de resistencia vegetal. Sin embargo, la cepa de *T. asperellum* Jc01 parece tener un efecto negativo sobre la actividad de *B. subtilis* ANT01, que, aunque en la interacción en cuanto a la incidencia de la fusariosis se reduce, el nivel no fue estadísticamente significativo (Cuadro 1). Finalmente, la cantidad de frutos planta⁻¹ obtenidos en este trabajo se encuentra dentro del rango reportado para este vegetal, dependiendo de la variedad, la densidad de siembra, riego, cultivo en invernadero o en campo, entre otros factores (Márquez-Hernández *et al.*, 2013). Es importante realizar estudios del hongo asociado a la fusariosis (identificación morfológica y molecular) y conocer si presenta resistencia a los organismos estudiados en esta investigación.

CONCLUSIONES

Bacillus subtilis ANT01 redujo 60 % la incidencia de la fusariosis asociado a *Fusarium oxysporum* en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) cultivado bajo condiciones de campo, mientras que *Trichoderma asperellum* Jc01 y la combinación de ambos redujeron 16 y 28 % la incidencia, respectivamente. La menor incidencia y severidad de la fusariosis encontrada en las plantas del tomate tratadas con *Bacillus subtilis* ANT01 se tradujo en mayor producción de flores y frutos por planta, 70 y 48, respectivamente.

Limitaciones. En el presente reporte se muestra el potencial que tienen la cepa ANT01 como agentes de biocontrol del patógeno, sin embargo, más pruebas en campo y laboratorio deben hacerse para corroborar su efectividad. Adicionalmente, la identificación molecular de las cepas antagonicas no se ha publicado, únicamente están reportadas a nivel de tesis. Además, falta la identificación taxonómica molecular del patógeno, la cual únicamente se ha realizado por morfología y por la sintomatología en planta. Asimismo, aunque en el trabajo de campo se asumió que todas las plantas estuvieron sometidas a las mismas condiciones de densidad de inóculo en suelo y condiciones de siembra, en futuros trabajos deberán controlarse mejor estas condiciones.

Conflicto de interés. Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Financiamiento. No aplica

Agradecimientos. Agradecimientos al personal de apoyo de la Estancia Agroecológica Ayol por todas las facilidades otorgadas para la realización de esta investigación.

Contribución de los autores. Todos los autores contribuyeron activamente en el desarrollo del presente trabajo

Material Suplementario. No aplica

REFERENCIAS

- Akram W, Anjum T and Ali B. 2014. Searching ISR determinants from *Bacillus subtilis* IAGS174 against *Fusarium* wilt of tomato. *Biocontrol* 60: 271 – 280. <https://doi.org/10.1007/s10526-014-9636-1>
- Alshammari NI, Bairum RS, Sulieman AME, Jamal A, Alamoudi M, *et al.* 2022. Control of tomato wilt disease fungus *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersicon* by single or combine interaction of mycorrhiza, *Trichoderma harzianum*, and effective microorganisms (Microbial blend). *Journal of Pure and Applied Microbiology* 16: 1362-1369. <https://doi.org/10.22207/JPAM.16.2.64>
- Cao Y, Zhang Z, Ling N, Yuan Y, Zheng X, *et al.* 2011. *Bacillus subtilis* SQR 9 can control *Fusarium* wilt in cucumber by colonizing plant roots. *Biology and Fertility of Soils* 47:495-506. <http://dx.doi.org/10.1007/s00374-011-0556-2>
- Corrales LC, Sánchez LC, Cuervo J, Joya JA y Marquez K. 2012. Efecto biocontrolador de *Bacillus* spp., frente a *Fusarium* sp., bajo condiciones de invernadero en plantas de tomillo (*Thymus vulgaris* L.). *Nova* 10: 64-82. <http://dx.doi.org/10.22490/24629448.518>
- McGovern RJ. 2015. Management of tomato diseases caused by *Fusarium oxysporum*. *Crop Protection* 73: 78-92. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.02.021>
- Minchev Z, Kostenko O, Soler R and Pozo MJ. 2021. Microbial consortia for effective biocontrol of root and foliar diseases in tomato. *Frontiers in Plant Science* 12: 756368. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.756368>
- Márquez-Hernández C, Cano-Ríos P, Figueroa-Viramontes U, Avila-Diaz JA, Rodríguez-Dimas N, *et al.* Rendimiento y calidad del tomate con fuentes orgánicas de fertilización en invernadero. *Phyton* 82: 55-61. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-56572013000100008
- Mejía-Bautista MA, Reyes-Ramírez A, Cristóbal-Alejo J, Tun-Suárez JM y Borges-Gómez LC. 2016. *Bacillus* spp. en el control de la marchitez causada por *Fusarium* spp. en *Capsicum chinense*. *Revista Mexicana de Fitopatología* 34: 208-222. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1603-1>
- Montaño IE, Valenzuela IN y Villavicencio KV. 2021. Competitividad del tomate rojo de México en el mercado internacional: Análisis 2003-2017. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 12: 1185-1197. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i7.2531>
- Prabhakaran N, Prameeladevi T, Sathiyabama M and Kamil D. 2015. Screening of different *Trichoderma* species against agriculturally important foliar plant pathogens. *Journal of Environmental Biology* 36: 191-198. Disponible en: http://www.jeb.co.in/journal_issues/201501_jan15/paper_02.pdf
- Qi J, Aiuchi D, Tani M, Asano S and Koike M. 2016. Potential of entomopathogenic *Bacillus thuringiensis* as plant growth promoting rhizobacteria and biological control agents for tomato *Fusarium* Wilt. *International Journal of Environmental & Agriculture Research* 2: 55-63. Disponible en: https://ijoea.com/assets/articles_menuscripts/file/IJOEAR-JUN-2016-4.pdf
- Senol M, Nadaroglu H, Dikbas N and Kotan R. 2014. Purification of chitinase enzymes from *Bacillus subtilis* bacteria TV-125, investigation of kinetic properties and antifungal activity against *Fusarium culmorum*. *Annals of Clinical Microbiology and Antimicrobials* 13: 35. <https://doi.org/10.1186/s12941-014-0035-3>
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2023. Anuario estadístico de producción agrícola. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Consulta: junio, 2023.
- Wang XQ, Zhao DL, Shen LL, Jing CL and Zhang CS. 2018. Application and mechanisms of *Bacillus subtilis* in biological control of plant disease. In: V.S. Meena (ed.), *Role of Rhizospheric Microbes in Soil* (pp. 225-250). Springer Nature Singapore Pte. Ltd. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8402-7_9
- Zhao Q, Ran W, Wang H, Li X, Shen Q, *et al.* 2013. Biocontrol of *Fusarium* wilt disease in muskmelon with *Bacillus subtilis* Y-IVI. *BioControl* 58: 283-292. <http://dx.doi.org/10.1007/s10526-012-9496-5>