



Nota Fitopatológica

Uso de microorganismos endófitos para el manejo del *Tomato brown rugose fruit virus* en el cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum*)

Carlos D. Ramos-Villanueva, ¹Departamento de Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, Km 38.5 Carretera México-Texcoco, Estado de México, CP. 56230, México; **Guadalupe Carrillo-Benitez**, ²Humus y Derivados de Lombriz de México SPR DE RI, Carretera Federal Puebla-Tehuacan Km 42.2, El Empalme, Tepeaca, Puebla. CP. 75215; **Erika J. Zamora-Macorra***, ³Departamento de Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, Km 38.5 Carretera México-Texcoco, Estado de México, CP. 56230, México; **Eduardo Santiago-Elena**³, **Samuel Ramírez-Alarcón**¹, **Jezrael Jimenez-Vidals**¹, **Ricardo Ávila-López**².

*Autor de
correspondencia:

Erika J. Zamora-Macorra
erikazam@gmail.com

Sección:

Número Especial

Recibido: 31 Julio, 2023

Aceptado:

30 Noviembre, 2023

Publicado:

19 Diciembre, 2023

Cita:

Ramos-Villanueva
CD, Carrillo-Benitez
G, Zamora-Macorra
EJ, Santiago-Elena E,
Ramírez-Alarcón S,
Jimenez-Vidals J y Ávila
López R. 2023. Uso de
microorganismos endófitos
para el manejo del *Tomato
brown rugose fruit virus*
en cultivo de jitomate
(*Solanum lycopersicum*).

Revista Mexicana de
Fitopatología

41(4): 1.

DOI: [https://doi.
org/10.18781/R.MEX.](https://doi.org/10.18781/R.MEX. FIT.2023-1)

FIT.2023-1



RESUMEN

Antecedentes y objetivo: El *Tomato brown rugose fruit virus* (ToBRFV) es uno de los principales patógenos del cultivo de jitomate en México. A pesar de los esfuerzos para evitarlo, es casi imposible por el bajo porcentaje de transmisión que tiene en semilla y la gran facilidad para ser transmitido mediante las labores culturales; por lo tanto, se buscan alternativas de manejo. Esta investigación tuvo como objetivo determinar el efecto de microorganismos endófitos aplicados al suelo, en plantas de jitomate infectadas por el ToBRFV.

Materiales y métodos: Se utilizó una planta de jitomate como unidad experimental, con 13 repeticiones por tratamiento. Los tratamientos en plantas de jitomate infectadas con ToBRFV fueron *Beauveria peruvienis*, *Trichoderma longibrachiatum*, *Pseudomonas* sp. y agua como testigo enfermo; también se incluyó un tratamiento de plantas sanas tratadas con agua como testigo absoluto. Las variables respuesta fueron altura de la planta, peso fresco de la parte aérea y de la raíz y severidad (dos evaluaciones). Las mediciones se analizaron mediante pruebas HSD de Tukey-Kramer por cada par.

Resultados y conclusión: Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos: *Beauveria peruvienis*, *Trichoderma longibrachiatum*, *Pseudomonas* sp. y agua como testigo enfermo. El tratamiento que favoreció el desarrollo de las plantas infectadas (79 % más altas y 15 % con más peso que el testigo infectado) y disminuyó su severidad fue *B. peruvienis*, seguido de *Pseudomonas* sp. El tra-

tamiento que provocó menor desarrollo de la planta (31% menos que el testigo infectado) e inclusive aumentó la severidad fue *T. longichrachiatum*.

Palabras clave: *Beauveria*, *Pseudomonas*, *Trichoderma*, Severidad.

El cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum*) es uno de los más rentables y consumido por sus diversos productos, durante el 2021 se cosecharon 256 770 679.92 toneladas (FAO, 2023). Sin embargo, su producción se ha visto amenazada por el *Tomato brown rugose fruit virus* (ToBRFV), el cual fue reportado en 2014 en Israel y en 2015 en Jordania en plantas de jitomate (Luria *et al.*, 2017; Salem *et al.*, 2016). A partir de esa fecha, el ToBRFV ha sido detectado en 35 países de Europa, Asia, África y América del Norte, incluyendo México (Cambrón-Crisantos *et al.*, 2018; Menzel *et al.*, 2019; Fidan *et al.*, 2019; Skelton *et al.*, 2019; Yan *et al.*, 2019; Ling *et al.*, 2019; Panno *et al.*, 2019; Alkowni, 2019; Caruso *et al.*, 2022; EPPO, 2023).

El ToBRFV es un Tobamovirus con partículas de varilla rígida, genoma de ARN de cadena sencilla (+ssRNA) y se compone de cuatro marcos de lectura abiertos (ORFs) (Luria *et al.*, 2017). Este virus se transmite fácilmente de forma mecánica ya que sus partículas son muy estables, por lo que las actividades culturales son la principal forma de diseminación en los invernaderos (Levitzky *et al.*, 2019; Panno *et al.*, 2020); aunado a que puede transmitirse por semilla (Davino *et al.* 2020). En el caso del ToBRFV, se han reportado porcentajes de transmisión del 1.8 % en semilla de jitomate y menos del 1 % en semillas de tabaco (*Nicotiana rustica*) (Davino *et al.* 2020; Zamora-Macorra *et al.*, 2023); y se sabe que un porcentaje de transmisión tan bajo como 0.001 % tiene el potencial de iniciar con una epidemia (Mohan *et al.*, 2020). Por lo anterior, el ToBRFV se ha diseminado ampliamente en México y se están buscando continuamente estrategias para prevenirlo pues para este tipo de patógenos, las tácticas de control directas y efectivas son limitadas; no obstante, se han explorado estrategias como el uso de variedades resistentes y la inducción de defensas naturales en las plantas (Kloepper *et al.*, 2004).

La resistencia sistémica inducida en plantas es potenciada por microorganismo endófitos, epífitos y rizosféricos. Estos forman relaciones mutuas con las plantas, mejoran la asimilación de nutrientes, promueven el crecimiento, aumentan la tolerancia al estrés e induce las defensas contra microorganismos fitopatógenos (Umesha *et al.*, 2018; Yadav *et al.*, 2020). La mayoría de las bacterias que se han reportado como promotoras del crecimiento pertenecen a los géneros *Pseudomonas* y *Bacillus*, pero existen muchos otros (Vessey, 2003). Hay diversas investigaciones que demuestran que la inoculación de las cepas de microorganismos promotores del crecimiento en cultivos, incluyendo jitomate, mejora el desarrollo de las plantas

e inclusive reduce la incidencia y severidad de las enfermedades virales (Samaniego, 2017; Kandan *et al.*, 2005; Beris *et al.*, 2018; Murphy *et al.*, 2003; Dashti *et al.*, 2012). Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de microorganismos aplicados a la raíz de plantas de jitomate infectadas con el ToBRFV, utilizando variables respuesta como crecimiento aéreo y radicular de la planta y la severidad observada.

Los tratamientos evaluados fueron: 1) *Beauveria peruvienensis* en plantas enfermas, 2) *Trichoderma longibrachiatum* en plantas enfermas, 3) *Pseudomonas* sp. en plantas enfermas, 4) Agua en plantas sanas y 5) Agua en plantas enfermas. Las cepas de microorganismos utilizados fueron obtenidas de la colección del laboratorio de control biológico de la maestría en Protección Vegetal, de la Universidad Autónoma Chapingo. Se utilizaron cepas de 15 días de crecimiento en medio Agar Dextrosa Papa para *T. longibrachiatum* y Agar Dextrosa Saboraud para *B. peruvienensis*. Las cajas Petri de ambos hongos se incubaron a 27 °C. La bacteria (*Pseudomonas* sp.) se sembró en Agar Nutritivo, incubado a 27 °C por 24 horas y para obtener una concentración más alta, se realsó en medio líquido (Caldo Nutritivo) en agitación a 140 rpm, a temperatura ambiente. Posteriormente, los microorganismos se suspendieron en líquido para realizar conteos celulares con la cámara de Neubauer, usando diluciones seriadas. Las concentraciones utilizadas para los tratamientos fueron de 1×10^8 para los hongos y en el caso de la bacteria 1×10^9 .

Los experimentos se realizaron de febrero a junio de 2023 en el invernadero del departamento de parasitología agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo. En contenedores de 1 L, se sembraron plantas de jitomate saladette utilizando como sustrato peatmost previamente esterilizado. Cuando las plantas tuvieron dos folíolos verdaderos se les aplicaron 20 mL de los diversos tratamientos al suelo y dos días después se inocularon mecánicamente con el virus, para lo cual se provocó un daño subletal en las hojas con ayuda de carborundum 400 mallas e inmediatamente después se frotaron con un macerado de la fuente de inóculo en tampón de fosfatos pH 7.5. La fuente de inóculo del ToBRFV se obtuvo de la colección biológica del laboratorio de virus fitopatógenos del Colegio de Postgraduados. A los 41 días después de la inoculación mecánica (ddim), se volvió a aplicar 20 mL de la suspensión de los microorganismos al suelo de cada planta.

Se utilizó un diseño completamente al azar, la unidad experimental fue una planta de jitomate, y por tratamiento se tuvieron 13 repeticiones. A los 15 ddim y al finalizar el experimento se registró la altura de cada planta y su severidad, para lo cual se utilizó una escala progresiva, donde 1= sin síntomas, 2= ligera clorosis, 3= mosaico 4= reducción del crecimiento, 5= deformación de hojas y 6 = muerte. También se registró el peso fresco de la parte aérea y de la raíz de cada planta tratada al finalizar el experimento, que fue cuando inició la floración. A los 30 ddim, se tomaron muestras de las plantas enfermas tratadas para corroborar la infección

viral mediante RT-PCR, utilizando los iniciadores descritos por Dovas y colaboradores (2004), los cuales amplifican una región conservada de 400 pares de bases de la replicasa viral (RdRp); también se analizaron muestras compuestas de las plantas testigo (sanas).

Los datos obtenidos fueron analizados con una prueba no paramétrica de medias, una vez que se identificó aquellas con diferencias significativas ($\alpha=0.05$), se realizaron pruebas HSD de Tukey-Kramer por cada par.

Todas las plantas inoculadas con el virus mostraron síntomas sistémicos a los 15 días después de la inoculación (Figura 1); estos fueron similares a los reportados en plantas de jitomate, los cuales consistieron en mosaico clorótico y moteado de zonas verde oscuro, en hojas, ampollamiento e inclusive con estrechamiento de la lámina foliar (Fidan *et al.*, 2019; Alkowni *et al.*, 2019; Menzel *et al.*, 2019). Respecto a la RT-PCR, solo se obtuvieron los fragmentos del peso esperado en las plantas enfermas tratadas por lo que se corroboró la infección.

Las plantas con el tratamiento de Agua-Sanas (plantas sanas) tuvieron el mayor desarrollo radical y aéreo, y todas las variables respuesta fueron estadísticamente diferentes al resto ($p < .0001$) (Cuadro 1). Cuando se comparó el testigo enfermo

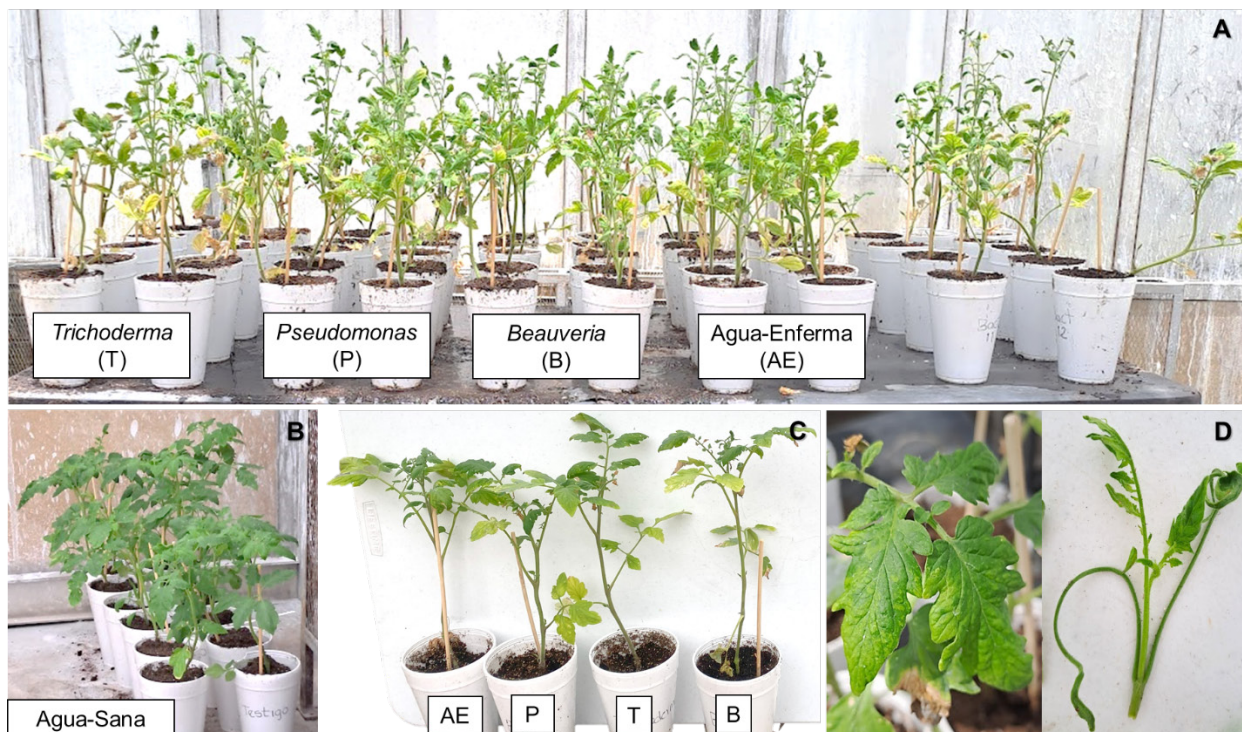


Figura 1. A: plantas enfermas con ToBRFV a las que se les aplicó diferentes microorganismos y el testigo enfermo al que se le aplicó solo agua. B: plantas sanas, utilizadas como testigo. C: comparación entre plantas enfermas con ToBRFV tratadas con diferentes microorganismos y D: síntomas ocasionados por el ToBRFV, donde se observa el mosaico en hojas a los 20 días después de la inoculación (ddi) y la deformación de brotes a los 35 ddi.

Cuadro 1. Comparación de medias de las variables respuesta (altura, severidad y peso de planta de jitomate) registradas por cada tratamiento evaluado, y letras de unión generadas mediante la prueba HSD de Tukey-Kramer.

Variable respuesta	Tratamiento	Media	Letras de unión ^z
Altura (cm)	Aguas-Sanas	55.5	A
	<i>Beauveria</i>	35.3	B
	<i>Pseudomonas</i>	32	B C
	<i>Trichoderma</i>	26.1	C D
	Aguas-Enfermas	19.7	D
Severidad	<i>Trichoderma</i>	4.6	A
	Aguas-Enfermas	4.3	A
	<i>Pseudomonas</i>	4.2	A
	<i>Beauveria</i>	4.1	A
	Aguas-Sanas	1	B
Peso aéreo (g)	Aguas-Sanas	26.1	A
	<i>Beauveria</i>	11.7	B
	<i>Pseudomonas</i>	11.45	B
	Agua-Enferma	10.88	B
	<i>Trichoderma</i>	7.8	B
Peso raíz (g)	Agua-Sanas	11.8	A
	<i>Beauveria</i>	9.4	A B
	Agua-Enferma	7.4	B C
	<i>Pseudomonas</i>	7	B C
	<i>Trichoderma</i>	4.6	C

^zLetras o conjuntos diferentes representan diferencias significativas ($P \leq 0.05$, $\alpha=0.05$).

(Agua-Enferma) con los tratamientos aplicados a las plantas infectadas, el que favoreció el crecimiento y desarrollo, y disminuyó la severidad fue *B. peruvienensis*, seguido de *Pseudomonas* sp. ($p < 0.0001$ y $p= 0.0016$); aunque la severidad fue estadísticamente similar (Cuadro 1). Las plantas enfermas tratadas con *T. longibrachiatum* tuvieron el menor peso (7.9 g de parte aérea y 4.7 g de raíz) y mayor severidad (4.6), inclusive que las que solo se trataron con agua (testigo) (Figura 2).

Existen diversas rizobacterias promotoras del crecimiento que se han probado en cultivos y han disminuido la incidencia y severidad de las enfermedades virales; varias especies de los géneros de *Pseudomonas*, *Bacillus* y *Azospirillum* han demostrado ser efectivas en plantas infectadas por *Cucumber mosaic virus* (CMV), *Tobacco mosaic virus*, *Tomato chlorotic spot virus*, *Tomato mottle virus* y *Tomato yellow leaf curl virus* (TYLCV) (Dashti *et al.*, 2007; Wang *et al.*, 2009; Choi *et al.*, 2014; Abdalla *et al.*, 2017; Li *et al.* 2016; Beris *et al.*, 2018). Por ejemplo,

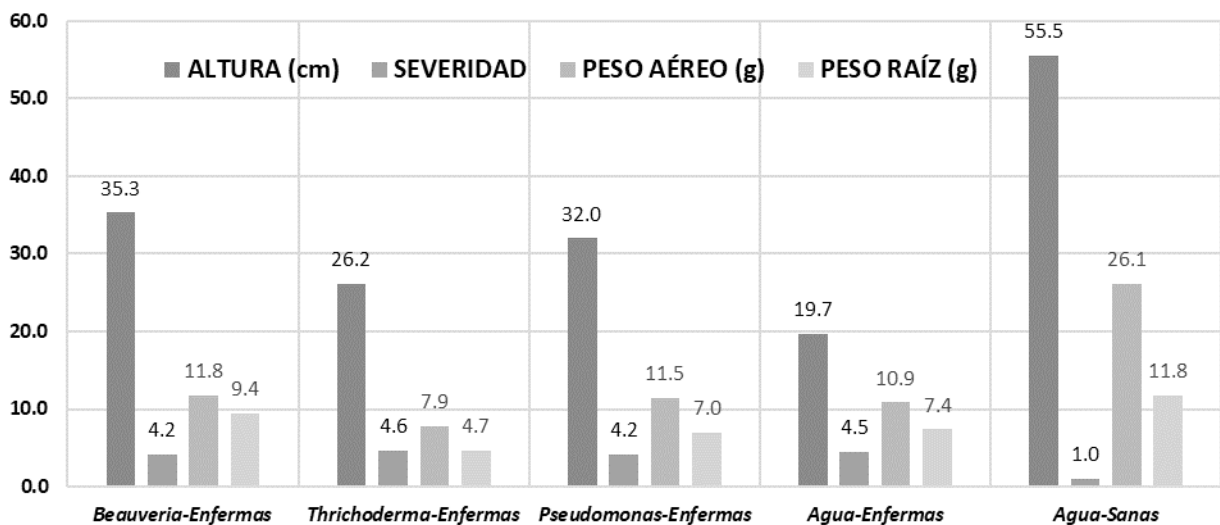


Figura 2. Media de las variables respuesta, obtenidas al finalizar el experimento, por cada tratamiento aplicado en las plantas de jitomate infectadas con ToBRFV (enfermas) y sanas.

las aplicaciones de *Pseudomonas fluorescens* en semillas, plántulas, hojas y suelo, aumentaron la actividad de la peroxidasa y la fenilalanina-amoniaco-liasa, acumulando compuestos fenólicos, estimulando los fenilpropanoides, lo que provocó una reducción significativa de la severidad e incidencia ocasionada por *Tomato spotted wilt virus* (Kandan *et al.*, 2005).

De igual manera, se ha observado que los hongos tienen también un efecto positivo en plantas infectadas por virus. Estudios realizados en plantas de peino con CMV demostraron que *Trichoderma asperellum* aumentó los niveles de transcripción de los genes relacionados con la resistencia (*pr1*, *pal1*, *etr1*, *sod*, *rip* y *lox1*), y enzimas (SOD, LOX1, POX, CAT) que inducen resistencia sistémica en la planta (Tamandegani *et al.*, 2021). En el caso de *T. longibrachiatum*, se ha reportado como patógeno en el cultivo de otros hongos, como champiñón y Ganoderma (Zhang *et al.*, 2018) e inclusive como agente de control biológico de *Sclerotinia cepivorum* en cebolla (*Allium cepa*) (Camacho-Luna *et al.*, 2023) y de *Thielaviopsis paradoxa* en agave (*Agave tequilana*) (Sánchez y Rebolledo, 2010), y hasta esta investigación, se desconocía su efecto como endófito. Lo que se observó en el presente experimento, fue que provocó una mayor severidad en las plantas infectadas con el virus y redujo en 31% el crecimiento de las plantas comparadas con el tratamiento Agua-Enfermas; para determinar los probables mecanismos involucrados y su efecto, es necesario mayor investigación con este hongo.

Por otro lado, se conoce que algunos hongos entomopatógenos son endófitos en plantas; se ha visto que *B. bassiana* pueden colonizar a varias especies vegetales,

como: trigo, soya (*Glycine max*), arroz (*Oryza sativa*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), cebolla (*Allium cepa*), jitomate (*S. lycopersicum*), palma (*Elaeis guineensis*), uva (*Vitis vinifera*), papa (*Solanum tuberosum*), algodón (*Gossypium hirsutum*) y maíz (*Zea mays*) (Vega, 2018; Liu *et al.*, 2022; Jaber y Ownley, 2018). Cuando estos hongos son inoculados en semilla, foliarmente o al suelo, invaden el tejido de la planta y promueven su crecimiento (Jaber y Enkerli, 2017). Para el manejo de virus, El-Deeb y colaboradores (2021) aplicaron *B. bassiana* para evaluar resistencia al TYLCV y a la población de *Bemisia tabaci*, y realizaron aplicaciones por inyección al tejido vegetal para colonizarlo, al final observaron un aumento en el contenido de fenoles, mayor altura de la planta y rendimiento de frutos, baja incidencia del TYLCV y una disminución de población de mosquita blanca (*B. tabaci*). El aislamiento de *B. peruvicensis* utilizado en el presente estudio se aisló de un picudo de las anonáceas (*Optatus palmaris*) (Hernández, 2023) y se desconocía su efecto como endófito en plantas. En la presente investigación, fue el tratamiento que favoreció más el desarrollo de plantas infectadas (79% más altas y 15% con mayor peso que el tratamiento Agua-Enfermas) y disminuyó la severidad, por lo que su potencial para futuras investigaciones es prometedor.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al programa de formación de nuevos investigadores (PROFONI) de la DGIP-Chapingo por el apoyo otorgado a Carlos D. Ramos-Villanueva y Jezrael Jimenez-Vidals.

LITERATURA CITADA

- Abdalla OA, Bibi S and Zhang S. 2017. Application of plant growth-promoting rhizobacteria to control Papaya ringspot virus and *Tomato chlorotic spot virus*. Archives of Phytopathology and Plant Protection 50: 584–597. <https://doi.org/10.1080/03235408.2017.1352248>
- Alkowni R, Alabdallah O and Fadda Z. 2019. Molecular identification of *Tomato brown rugose fruit virus* in tomato in Palestine. Journal of Plant Pathology 101:719–723. <https://doi.org/10.1007/s42161-019-00240-7>
- Beris D, Theologidis I, Skandalis, N and Vassilakos N. 2018. *Bacillus amyloliquefaciens* strain MBI600 induces salicylic acid dependent resistance in tomato plants against *Tomato spotted wilt virus* and *Potato virus Y*. Scientific Reports 8:10320. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-28677-3>
- Camacho-Luna V, Pizar-Quiroz AM, Rodríguez-Hernández AA, Rodríguez-Monroy M and Sepúlveda-Jiménez G. 2023. *Trichoderma longibrachiatum*, a biological control agent of *Sclerotium cepivorum* on onion plants under salt stress. Biological Control 180: 105168. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2023.105168>
- Cambrón-Crisantos JM, Rodríguez-Mendoza J, Valencia-Luna JB, Rangel SA, García-Ávila DJC and López-Buenfil JA. 2018. First report of *Tomato brown rugose fruit virus* (ToBRFV) in Michoacan, Mexico. Revista Mexicana de Fitopatología 37: 185–192. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1810-5>
- Caruso AG, Bertacca S, Parrella G, Rizzo R, Davino S and Panno S. 2022. *Tomato Brown rugose fruit virus*: A pathogen that is changing the tomato production worldwide. Annals of Applied Biology 181(3): 258-274. <https://doi.org/10.1111/aab.12788>

- Choi HK, Song GC, Yi HS and Ryu CM. 2014. Field Evaluation of the Bacterial volatile derivative 3-Pentanol in priming for induced resistance in Pepper. *Journal of Chemical Ecology* 40(8):882-92. <https://doi.org/10.1007/s10886-014-0488-z>
- Dashti NH, Ali NY, Cherian VM and Montasser MS. 2012. Application of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) in combination with a mild strain of *Cucumber mosaic virus* (CMV) associated with viral satellite RNAs to enhance growth and protection against a virulent strain of CMV in tomato. *Canadian Journal of Plant Pathology* 34:177–186. <https://doi.org/10.1080/07060661.2012.685495>
- Davino S, Caruso AG, Bertacca S, Barone S and Panno S. 2020. *Tomato Brown Rugose Fruit Virus*: Seed Transmission Rate and Efficacy of Different Seed Disinfection Treatments. *Plants* 9: 1615. <https://doi.org/10.3390/plants9111615>
- Dovas CI, Efthimiou K, Katis NI. 2004. Generic detection and differentiation of tobamoviruses by a spot nested RT-PCR-RFLP using dI-containing primers along with homologous dG-containing primers. *Journal of Virological Methods* 117: 137–144. <https://doi.org/10.1016/j.jviromet.2004.01.004>
- El-Deeb HM, Lashin SM and Al-S Y. 2012. Reaction of some tomato leaf curl virus and evaluation of the endophytic colonisation with *Beauveria bassiana* on the disease incidence and its vector, *Bemisia tabaci*. *Archives of Phytopathology and Plant Protection* 45(13): 1538-1545. <http://dx.doi.org/10.1080/03235408.2012.681246>
- EPPO. 2023. *Tomato brown rugose fruit virus* (ToBRFV). EPPO Global Database. <https://gd.eppo.int/> (Consulta, junio 2023).
- Fidan H, Sarikaya P and Calis O. 2019. First report of *Tomato brown rugose fruit virus* on tomato in Turkey. *New Disease Reports* 39:18. <https://doi.org/10.5197/j.2044-0588.2019.039.018>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2023. FAOSTAT. Crops and livestock products. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL> (Consulta, julio 2023).
- Hernández Medina, B. 2023. Aislamiento, análisis molecular y metabolitos de *Beauveria peruviana* con potencial entomopatógeno aislados del picudo de las anonáceas (*Optatus palmaris*) (coleoptera: curculionidae) (pascoe 1889). Universidad Autónoma Chapingo. Tesis de Maestría en Ciencias en Protección Vegetal. <https://repositorio.chapingo.edu.mx/handle/123456789/2347>
- Jaber LR and Enkerli J. 2017. Fungal entomopathogens as endophytes: Can they promote plant growth? *Biocontrol Sci Technol* 27: 28–41. <https://doi.org/10.1080/09583157.2016.1243227>
- Jaber LR and Ownley BH. 2018. Can we use entomopathogenic fungi as endophytes for dual biological control of insect pests and plant pathogens? *Biological Control* 116: 36–45. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.01.018>.
- Kandan A, Ramiah M, Vasanthi VJ, Radjacommar R, Nandakumar R, Ramanathan A and Samiyappan, R. 2005. Use of *Pseudomonas fluorescens*-based formulations for management of *Tomato spotted wilt virus* (TSWV) and enhanced yield in tomato. *Biocontrol Science and Technology*. 15:553–569. <https://doi.org/10.1080/09583150500088546>
- Klopper JW, Ryu CM and Zhang S. 2004. Induced systemic resistance and promotion of plant growth by *Bacillus* spp. *Phytopathology* 94:1259–1266. <https://doi.org/10.1094/phyto.2004.94.11.1259>
- Levitzky N, Smith E, Lachman O, Luria N, Mizrahi Y, Bakelman H, Sela N, Laskar O, Milrot E, Dombrovsky A. 2019. The bumblebee *Bombus terrestris* carries a primary inoculum of *Tomato brown rugose fruit virus* contributing to disease spread in tomatoes. *PLoS ONE* 14(1): e0210871. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210871>
- Li H, Ding X, Wang Ch, Ke H, Wu Z, Wang Y, Liu H and Guo J. 2016. Control of *Tomato yellow leaf curl virus* disease by *Enterobacter asburiae* BQ9 as a result of priming plant resistance in tomatoes. *Turkish Journal Biology* 40:150–159. <https://doi.org/10.3906/biy-1502-12>
- Ling KS, Tian T, Gurung S, Salati R and Gilliard A. 2019. First report of *Tomato brown rugose fruit virus* infecting greenhouse tomato in the United States. *Plant Disease* 103: 1439. <https://doi.org/10.1094/PDIS-11-18-1959-PDN>
- Liu Y, Yang Y and Wang B. 2022. Entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* play roles of maize (*Zea mays*) growth promoter. *Scientific reports* 12: 15706. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-19899-7>
- Luria N, Smith E, Reingold V, Bekelman I, Lapidot M, Levin I, Elad N, Tam Y, Sela N, Abu-Ras A, Ezra N, Haberman A, Yitzhak L, Lachman O, Dombrovsky A. 2017. A New Israeli Tobamovirus Isolate Infects Tomato Plants Harboring Tm-22 Resistance Genes. *PloS One* 12(1): e0170429. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0170429> PMID: 28107419
- Menzel W, Knierim D, Winter S, Hamacher J and Heupel M. 2019. First report of *Tomato brown rugose fruit virus* infecting tomato in Germany. *New Disease. Report* 39:1. <http://dx.doi.org/10.5197/j.2044-0588.2019.039.001>

- Mohan BG, Baruah G, Sen P, Deb NP and Kumar BB. 2020. Chapter 11. Host-Parasite Interaction During Development of Major Seed-Transmitted Viral Diseases. Pp: 265-289. In: R. Kumar, A. Gupta (eds). Seed-Borne Diseases of Agricultural Crops: Detection, Diagnosis & Management, Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9046-4_11.
- Murphy JF, Reddy MS, Ryu CM, Kloepper JW and Li R. 2003. Rhizobacteria-mediated growth promotion of tomato leads to protection against Cucumber mosaic virus. *Phytopathology* 93:1301–1307. <https://doi.org/10.1094/phyto.2003.93.10.1301>
- Panno S, Caruso GA, Stefano B, Lo Bosco GE and Salvatore D. 2020. Spread of *Tomato Brown Rugose Fruit Virus* in Sicily and Evaluation of the Spatiotemporal Dispersion in Experimental Conditions. *Agronomy* 10:834. <https://doi.org/10.3390/agronomy10060834>
- Panno S, Caruso AG and Davino S. 2019. First Report of *Tomato Brown Rugose Fruit Virus* on Tomato Crops in Italy. *Plant Disease* 103:1443. <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-18-2254-PDN>
- Salem N, Mansour A, Ciuo M, Falk BW and Turina M. 2016. A new tobamovirus infecting tomato crops in Jordan. *Archives of Virology* 161: 503–506. <https://doi.org/10.1007/s00705-015-2677-7>
- Samaniego GB, Reyes RA, Moreno VOA y Tun SJM. 2017. Resistencia sistémica inducida contra virus fitopatógenos mediada por la inoculación con la rizobacteria *Bacillus* spp. *La Revista de Protección Vegetal* 32(1): 10-22. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522017000100002
- Sánchez V y Rebolledo O. 2010. Especies de *Trichoderma* en suelos cultivados con *Agave tequilana* en la región de Los Altos Sur, Jalisco y valoración de su capacidad antagonista contra *Thielaviopsis paradoxa*. *Revista Mexicana de Micología* 32:11-18. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-31802010000200002 &lng=es&tlng=es
- Skelton A, Buxton-Kirk A, Ward R, Harju V, Frew L, Fowkes A, Long M, Negus A, Forde S, Adams IP, Pufal H, McGreig S, Weekes R and Fox A. 2019. First report of *Tomato brown rugose fruit virus* in tomato in the United Kingdom. *New Disease Report* 40: 12. <http://dx.doi.org/10.5197/j.2044-0588.2019.040.012>
- Tamandegani PR, Sharifnabi B, Massah A and Zahravi M. 2021. Induced reprogramming of oxidative stress responses in cucumber by *Trichoderma asperellum* (Iran 3062C) enhances defense against *Cucumber mosaic virus*. *Journal-Biological Control* 164: 104779. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104779>.
- Umesha S, Singh PK and Singh RP. 2018. Microbial Biotechnology and Sustainable Agriculture. Pp. 185–205. In: Ram Lakhan Singh, Sukanta Mondal (eds). *Biotechnology for Sustainable Agriculture*. Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812160-3.00006-4>
- Vega FE. 2018. The use of fungal entomopathogens as endophytes in biological control: A review. *Mycologia* 110: 4–30. <https://doi.org/10.1080/00275514.2017.1418578>.
- Vessey JK. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil* 255:571–586. <https://doi.org/10.1023/a:1026037216893>
- Wang S, Wu H, Qiao J, Ma L, Liu J, Xia Y and Gao X. 2009. Molecular mechanism of plant growth promotion and induced systemic resistance to *Tobacco mosaic virus* by *Bacillus* spp. *Journal of Microbiology and Biotechnology* 19:1250–1258. <https://doi.org/10.4014/jmb.0901.008>
- Yadav AN, Kour D, Kaur T, Devi R, Guleria G, Rana KL and Rastegari AA. 2020. Microbial biotechnology for sustainable agriculture: current research and future challenges. Pp. 331–344. In: Rastegari AA, Yadav AN, Yadav N. (eds.). *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820526-6.00020-8>
- Yan ZY, Ma HY, Han SL, Geng C, Tian YP and Li X. 2019. First report of *Tomato brown rugose fruit virus* infecting tomato in China. *Plant Disease* 103: 2973. <https://doi.org/10.1094/PDIS-11-18-1959-PDN>
- Zamora-Macorra EJ, Ochoa-Martínez DL, Chavarín-Camacho CY, Hammond RW and Aviña-Padilla K. 2023. ToBRFV Mexican Strain: Seed Transmission Rate, Efficacy of Seed Disinfection Treatment, and Rapid Sensitive Detection in Seed Lots. Preprints. <https://doi.org/10.20944/preprints202307.1387.v1>
- Zhang T, Lu MZ, Zhang CL and Xu JZ. 2018. First Report of *Trichoderma longibrachiatum* Causing Green Mold Disease on *Ganoderma lingzhi*. *Disease notes of the American Phytopathological Society*. <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-18-0818-PDN>.