



Artículo de Revisión

Virus y viroides en jitomate (*Solanum lycopersicum*) y rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal como alternativa de manejo

Erika Janet Zamora-Macorra, Departamento de Preparatoria Agrícola, *Norma Ávila-Alistac, Erika Lagunes-Fortiz, Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo, Km 38.5, carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México. C.P. 56230; Sergio de los Santos-Villalobos, Instituto Tecnológico de Sonora, 5 de Febrero 818 Sur, Colonia Centro, Ciudad Obregón, Sonora. C.P. 85000.

*Autor de
correspondencia:
Norma Ávila-Alistac
alixtac@gmail.com

Sección:
Número Especial

Recibido:
30 Agosto, 2023
Aceptado:
12 Diciembre, 2023
Publicado:
28 Diciembre, 2023

Cita:
Zamora-Macorra EJ,
Ávila-Alistac N, Lagunes-
Fortiz E y de los Santos-
Villalobos S. 2023. Virus
y viroides en jitomate
(*Solanum lycopersicum*) y
rizobacterias promotoras
de crecimiento vegetal
como alternativa de ma-
nejo. Revista Mexicana de
Fitopatología
41(4): 6.
DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2023-7>



RESUMEN

Los virus y viroides causan diversas enfermedades en jitomate (*Solanum lycopersicum*) en el mundo, generando pérdidas económicas importantes. Se han asociado alrededor de 312 virus y siete viroides, de los cuales más de 28 están presentes en México. Es necesaria la búsqueda de alternativas de manejo de estos fitopatógenos, ya que la clásica eliminación de las primeras sintomáticas genera pérdidas de rendimiento, aunado a ello, la dificultad de evitar su diseminación. Por ello, el uso de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV), puede ser una alternativa efectiva para el manejo de virus y viroides. Los géneros *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Azospirillum*, *Anabena* y *Stenotrophomonas*, se han implementado contra virus reportados en jitomate: *Cucumber mosaic virus* (CMV), *Tobacco mosaic virus* (TMV), *Tomato chlorotic spot virus* (TCSV), *Tomato mottle virus* (ToMoV), *Tomato spotted wilt virus* (TSWV), *Tomato yellow leaf curl virus* (TYLCV), *Potato virus Y* (PVY), *Groundnut bud necrosis virus* (GBNV), con beneficios en la disminución de incidencia y severidad hasta un 80 % y un aumento de rendimiento superior al 40 %. En México solo se ha utilizado *Bacillus*. Se vislumbra que el uso de RPCV es una estrategia que podría mitigar el impacto de enfermedades virales y viroidales, que se puede integrar a un manejo integrado.

Palabras clave: RSI, *Solanum lycopersicum*, RPCV, *Pseudomonas*, *Bacillus*, virus.

El jitomate (*Solanum lycopersicum*), originario del sur de América y actualmente distribuido en el mundo, está adaptado a condiciones tropicales y templadas (Hanssen y Lapidot, 2012). Es una de las hortalizas más cultivadas bajo condiciones de invernadero y a cielo abierto (Sánchez-del Castillo *et al.*, 2009); además, es uno de los cultivos más rentable y consumido mundialmente. En el 2021, se cosecharon 256 770 677 toneladas (FAO, 2023) en el mundo. En México, la producción de este cultivo es una actividad de importe en el ámbito social y económico por la captación de divisas y generación de empleos (Hernández-Martínez *et al.*, 2004). No obstante, los patógenos y plagas insectiles pueden reducir su rendimiento y calidad (Savary *et al.*, 2019). Por ejemplo, las enfermedades causadas por virus y viroides generan pérdidas económicas en el cultivo a nivel mundial (Ling y Zhang, 2009; Antignus *et al.*, 2002). En México, solo se tiene registro de pérdidas de hasta un 80 % de infecciones virales comparando el uso de agribón con el testigo (sin manejo) (Ramírez-Rojas, 2006), por lo que es importante tener información precisa del impacto económico de estos patógenos, ya que las detecciones son constantes (Figura 1) y son un riesgo latente para la producción nacional. Se ha estimado un impacto económico global mayor a \$30 billones de dólares anuales por enfermedades virales en cultivos de importancia económica (Sastry, 2013a).

Tanto los virus como los viroides provocan pérdidas en la producción y calidad de cultivos, por ello, es primordial buscar alternativas de manejo, para que el control sea directo, efectivo y ecológicamente seguro (Rojas *et al.*, 2018). Desde hace décadas se han utilizado pesticidas químicos para el control de plagas insectiles y fitopatógenos en la agricultura mundial, con aplicaciones excesivas tanto al cultivo como al suelo (Karthika *et al.*, 2020) generando problemas de resistencia. En el caso particular del control de enfermedades causadas por virus y viroides, el uso de agroquímicos se ha limitado solo al control de insectos vectores; pero en los últimos años, las tácticas de manejo se han encausado en buscar alternativas compatibles con el medio ambiente, flora y fauna.

Por lo anterior, es importante conocer ampliamente estos agentes infecciosos y su interacción con su hospedante, para obtener mayor conocimiento y proponer alternativas de manejo. En los últimos años se han realizado investigaciones del papel de las Rizobacterias Promotoras de Crecimiento Vegetal (RPCV), para el manejo hongos fitopatógenos (Basit *et al.*, 2021); sin embargo, poco se ha incursionado del uso para el manejo de los virus y viroides, esto con el fin de reducir el impacto de agroquímicos para el control de los vectores, ya que, por su naturaleza, el mejor manejo son la implementación variedades resistentes y manejo preventivo. En consecuencia, el objetivo de esta revisión va encausado a conocer las rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal para el manejo de virus y viroides causantes de enfermedades en jitomate, así como la tendencia de las investigaciones en este tema en el país.

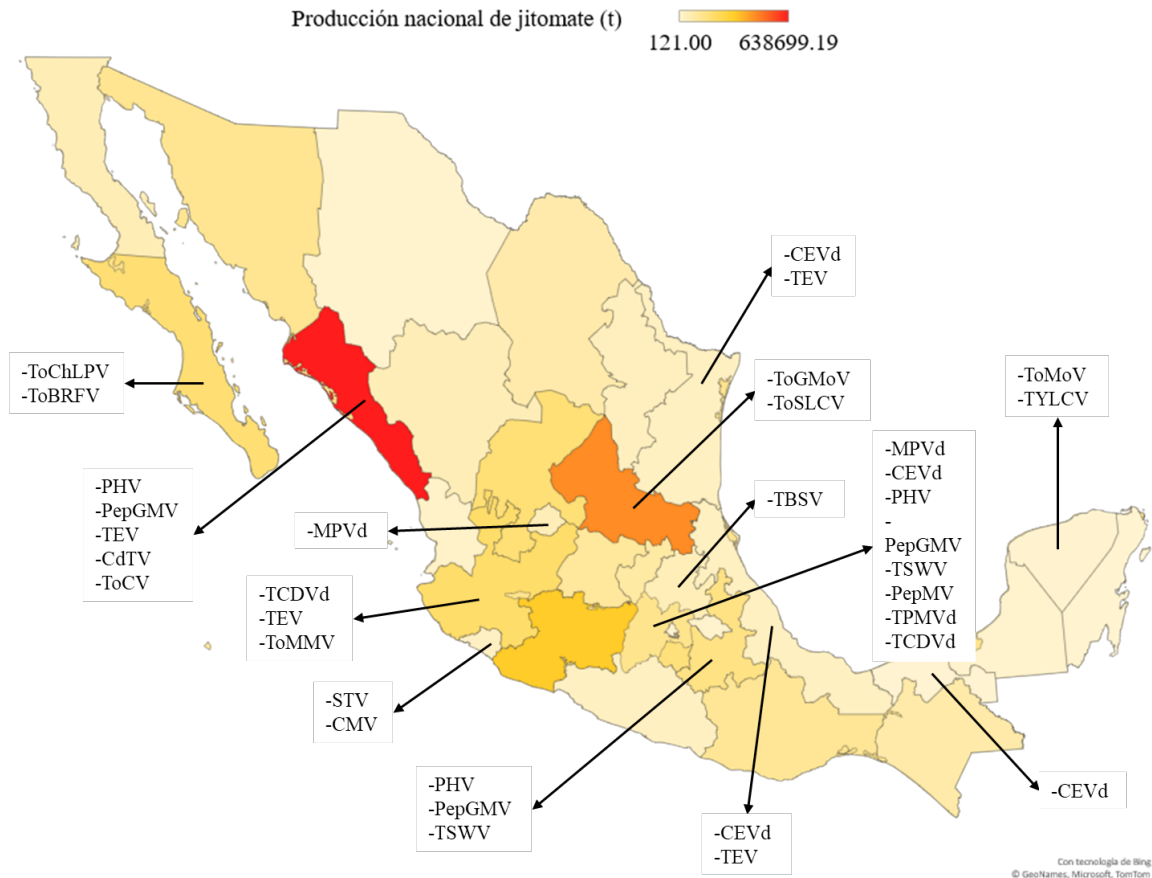


Figura 1. Estados de la República Mexicana donde se detectaron virus y viroides en jitomate (Ver Cuadro 1).

Virus en jitomate

Los virus son agentes infecciosos (parásitos obligados), constituidos de ácido nucleico (ARN y ADN) y envueltos de proteínas, capaces de replicarse dentro de células vivas (Hancinský *et al.*, 2020), dependientes exclusivamente de la maquinaria celular del hospedante (Sastry, 2013b). Estos pueden tener diversas formas como varilla rígida y flexible, bastones rígidos, bacilos, poliédricas, geminadas, entre otros (ICTV, 2021).

En el 2011, se publicaron los 10 principales virus de importancia internacional de acuerdo con la comunidad internacional en virología vegetal. Estos fueron *Tobacco mosaic virus* (TMV), *Tomato spotted wilt virus* (TSWV), *Tomato yellow leaf curl virus* (TYLCV), *Cucumber mosaic virus* (CMV), *Potato virus Y* (PVY), *Cauliflower mosaic virus* (CaMV), *African cassava mosaic virus* (ACMV), *Plum pox virus* (PPV), *Brome mosaic virus* (BMV) y *Potato virus X* (PVX); de los cua-

les, seis infectan al jitomate (Scholthof *et al.*, 2011). Mundialmente, los principales virus que han causado pérdidas en jitomate, incluyen al *Tomato leaf curl virus* (TYLCV), *Tobacco mosaic virus*, *Beet curly top virus* (BCTV), *Tomato bushy stunt virus* (TBSV) y *Tomato spotted wilt virus* (Sastry, 2013a). Desde el 2018, el *Tomato brown rugose fruit virus* (TBRFV) (Cambrón-Crisantos *et al.*, 2019) es una amenaza latente por la falta de variedades tolerantes y su distribución en las principales zonas productoras de México.

El Comité Internacional en Taxonomía de Virus (ICTV) clasificó a los virus dentro de 189 familias, 2,224 géneros y 9,110 especies (<https://talk.ictvonline.org/taxonomy/>) (ICTV, 2021). En jitomate se han asociado alrededor de 312 virus (Rivarez *et al.*, 2021), de estos más de 28 se han reportado en México (Cuadro 1). De los virus reportados en México, ToBRFV, TYLCV, TSWV, *Pepino mosaic virus* (PepMV) y *Tomato marchitez virus* (ToMarV) son de mayor importancia en jitomate, por las pérdidas económicas y prevalencia en campo e invernadero (García-Estrada *et al.*, 2022).

Cuadro 1. Principales virus reportados en jitomate (*Solanum lycopersicum*) en México y el mundo.

Familia / Género / Especie	Tipo de genoma	Referencia
<p>Geminiviridae: Begomovirus *<i>Pepper golden mosaic virus</i> (PepGMV), *<i>Tomato chino La Paz virus</i> (ToChLPV), *<i>Tomato golden mottle virus</i> (ToGMoV), <i>Tomato leaf curl Bangladesh virus</i> (ToLCBV), *<i>Tomato mottle virus</i> (ToMoV), *<i>Tomato severe leaf curl virus</i> (ToSLCV), *<i>Tomato yellow leaf curl virus</i> (TYLCV), <i>Tobacco leaf curl virus</i> (TLCV), <i>Tomato bright yellow mottle virus</i> (TBYMV), <i>Tomato enation leaf curl virus</i> (ToELCV), <i>Tomato common mosaic virus</i> (ToCmMV), <i>Tomato curly stunt virus</i> (ToCSV), <i>Tomato chlorotic leaf distortion virus</i> (ToCILDV), <i>Tomato chlorotic mottle Guyane virus</i> (ToCmGV), <i>Tomato dwarf leaf virus</i> (ToDLV), <i>Tomato golden mosaic virus</i> (TGMV), <i>Tomato golden vein virus</i> (TGVV), <i>Tomato interveinal chlorosis virus</i> (ToICV), <i>Tomato leaf curl New Delhi virus</i> (ToLCNDV), <i>Tomato leaf curl Palampur virus</i> (ToLCPaV), <i>Tomato leaf curl purple vein virus</i> (ToLCPVV), <i>Tomato mosaic Havana virus</i> (ToMHaV), <i>Tomato mottle leaf curl virus</i> (TOMLCV), <i>Tomato rugose yellow leaf curl virus</i> (TRYLCV), <i>Tomato yellow leaf curl Sardinia virus</i> (TYLCSV), <i>Tomato yellow mosaic virus</i> (ToYMV), <i>Tomato leaf curl virus Arusha virus</i> (ToLCArV), <i>Tomato leaf curl Ghana virus</i> (ToLCGV), *<i>Sinaloa tomato leaf curl virus</i> (SToLCV), *<i>Tomato leaf curl Sinaloa virus</i> (ToLCSinV), <i>Lisianthus enation leaf curl virus</i> (LELCV), *<i>Chino del tomate virus</i> (CdTV), *<i>Pepper huasteco yellow vein virus</i> (PHYVV), *<i>Squash leaf curl virus</i> (SLCV), *<i>Tomato apex necrosis virus</i> (ToANV)</p>	Bipartita, monopartita circular / ssDNA	Green <i>et al.</i> , 2007; Holguin-Peña <i>et al.</i> , 2004; Honguin-Peña <i>et al.</i> , 2007; Mauricio-Castillo <i>et al.</i> , 2007; CABI, 2020; Mauricio-Castillo <i>et al.</i> , 2007; Cardenas-Conejo <i>et al.</i> , 2010; Avedi <i>et al.</i> , 2021; Idris y Brown, 2007; Rojas <i>et al.</i> , 2005; Taniguchi <i>et al.</i> , 2023; Idris <i>et al.</i> , 1999; Lugo <i>et al.</i> , 2011; Barajas-Ortiz <i>et al.</i> , 2013; Zuñiga-Romano <i>et al.</i> , 2019
<p>Potyviridae: Potyvirus *<i>Tobacco etch virus</i> (TEV), <i>Potato virus Y</i> (PVY), <i>Pepper vein mottle virus</i> (PVMV), <i>Peru tomato mosaic virus</i> (PTMV); *<i>Tomato necrotic stunt virus</i> (ToNSV)</p>	Monopartita lineal / ssRNA +	CABI, 2020; Fernandez-Northcote y Fulton, 1980; Li <i>et al.</i> , 2012

Cuadro 1. Continúa...

Familia / Género / Especie	Tipo de genoma	Referencia
Amalgaviridae: <i>Amalgavirus</i> * <i>Southern tomato virus</i> (SToV)	Lineal / dsRNA	Sabanadzovic <i>et al.</i> , 2009
Virgoviridae: <i>Tobamovirus</i> * <i>Tobacco mosaic virus</i> (ToMV), * <i>Tomato brown rugose fruit virus</i> (ToBRFV), * <i>Tomato mottle mosaic virus</i> (ToMMV), * <i>Tomato mosaic virus</i> (ToMV)	Monopartita lineal ssRNA +	CABI, 2020; Cambrón-Crisantos <i>et al.</i> , 2019; Zuñiga-Romano <i>et al.</i> , 2019
Secoviridae: <i>Nepovirus</i> * <i>Tobacco ringspot virus</i> (TRSV), <i>Tomato black ring virus</i> (TBRV)	Bipartita lineal / ssRNA +	CABI, 2020; Perez-Moreno <i>et al.</i> , 2004
Secoviridae: <i>Torradovirus</i> * <i>Tomato torrado virus</i> (ToTV); <i>Tomato marchitez virus</i> (ToMarV), * <i>Tomato chocolate spot virus</i> (ToChSV), <i>Tomato chocolate virus</i> (ToChV)	Bipartita lineal / ssRNA +	CABI, 2020; Verbeek <i>et al.</i> , 2008
Tombusviridae: <i>Tombusvirus</i> * <i>Tomato bushy stunt virus</i> (TBSV)	Monopartita lineal / ssRNA +	CABI, 2020; De la Torre-Almaráz <i>et al.</i> , 2004
Closteroviridae: <i>Crinivirus</i> * <i>Tomato chlorosis virus</i> (ToCV), * <i>Tomato infectious chlorosis virus</i> (TICV)	Bipartita lineal / ssRNA +	CABI, 2020; Méndez-Lozano <i>et al.</i> , 2012
Tospoviridae: <i>Orthotospovirus</i> * <i>Tomato spotted wilt virus</i> (TSWV), <i>Chrysanthemum stem necrosis virus</i> (CSNV), <i>Pepper necrotic spot virus</i> (PNSV), <i>Tomato chlorotic spot virus</i> (TCSV), <i>Tomato necrotic ring virus</i> (TNRV) <i>Groundnut bud necrosis virus</i> (GBNV), * <i>Impatiens necrotic spot virus</i> (INSV)	ssRNA +	CABI, 2020; Nagata y de Ávila, 2000; Suganyadevi <i>et al.</i> , 2018; Zuñiga-Romano <i>et al.</i> , 2019; Honguin-Peña <i>et al.</i> , 2007
Betaflexiviridae: <i>Carlavirus</i> <i>Cowpea mild mottle virus</i> (CPMMV)	Lineal / ssRNA +	EPPO, 2023
Alphaflexiviridae: <i>Potexvirus</i> * <i>Pepino mosaic virus</i> (PepMV), <i>Potato virus X</i> (PVX)	Lineal / ssRNA +	EPPO, 2023; Zuñiga-Romano <i>et al.</i> , 2019
Tymoviridae: <i>Tymovirus</i> <i>Eggplant mosaic virus</i> (EMV)	Lineal / ssRNA +	EPPO, 2023
Secoviridae: <i>Fabavirus</i> <i>Broad bean wilt virus</i> (BBWV)	Bipartita lineal / ssRNA +	CABI, 2020
Bromoviridae: <i>Alfavirus</i> * <i>Alfalfa mosaic virus</i> (AMV)	Tripartita lineal / ssRNA	De la Torre-Almaráz <i>et al.</i> , 2003
Bromoviridae: <i>Cucumovirus</i> * <i>Cucumber mosaic virus</i> (CMV), <i>Peanut stunt virus</i> (PSV), <i>Tomato aspermy virus</i> (TAV)	Tripartita lineal / ssRNA +	EPPO, 2023; Lecoq y Desbiez, 2012; Zuñiga-Romano <i>et al.</i> , 2019
Bromoviridae: <i>Illavirus</i> <i>Tobacco streak virus</i> (TSV), <i>Parietaria mottle virus</i> (PMoV)	Tripartita lineal / ssRNA +	CABI, 2020
Geminiviridae: <i>Curtovirus</i> <i>Beet curly top virus</i> (BCTV)	Monopartita circular / ssDNA	Chen y Gilbertson, 2016

*Virus reportados en México.

De los principales virus que infectan al jitomate, más de 27 virus pertenecen al género *Begomovirus* (ssDNA) (Hogenhout *et al.*, 2008), y el resto en 18 géneros, donde *Orthotospovirus*, *Potyvirus*, *Tobamovirus* y *Cucumovirus* tienen mayor número de especies después del género *Begomovirus*. En algunos casos, los virus son transmitidos por insectos vectores (Figura 2), por ejemplo, los *Potyvirus* son transmitidos por áfidos; los *Orthotospovirus* por thrips (Aphidinae) (Gibbs *et al.*, 2008; Sastry, 2013b), y los *Begomovirus* por mosquitas blancas (*Bemisia tabaci*, *Trialeurodes vaporariorum*) (Hogenhout *et al.*, 2008), haciendo más complejo el manejo de estos fitopatógenos.

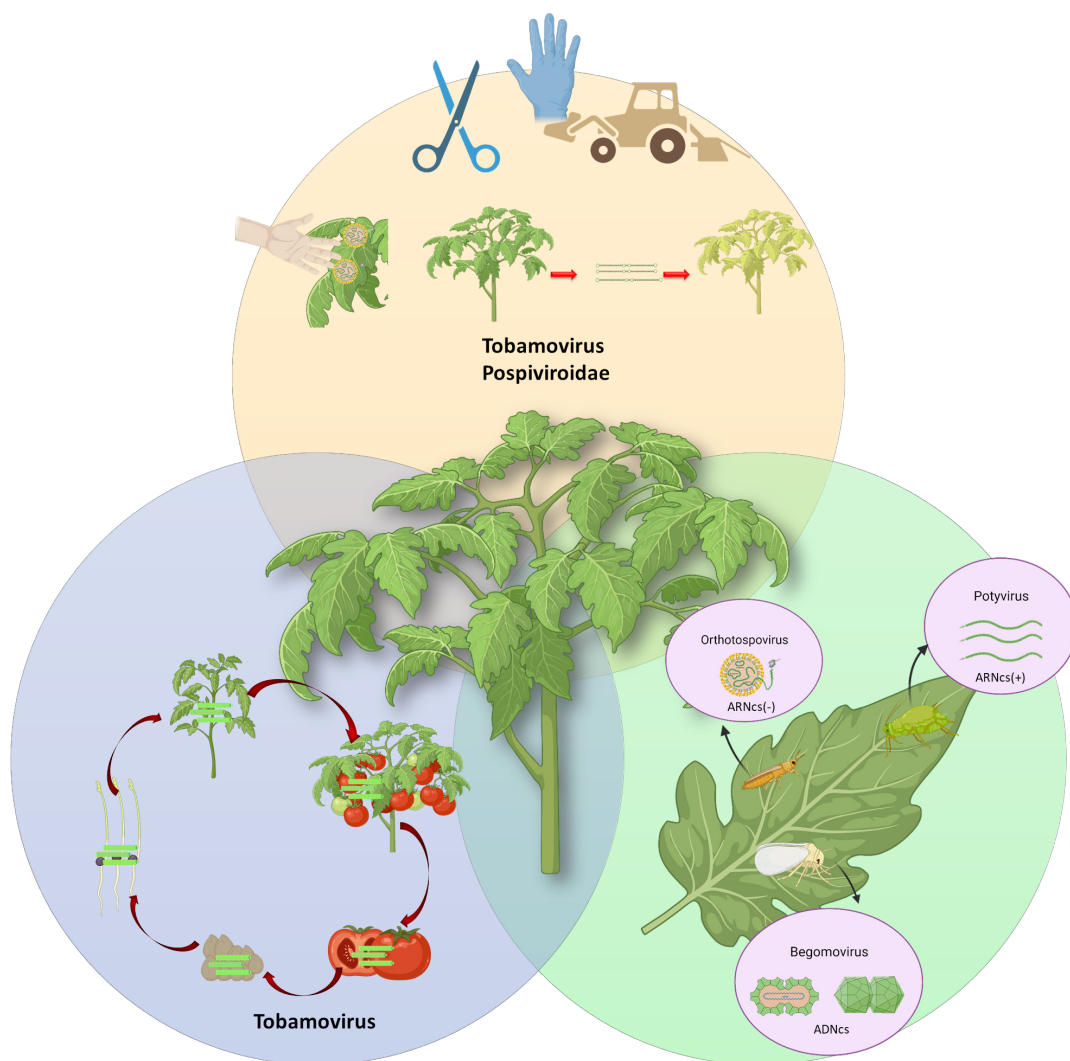


Figura 2. Principales formas de transmisión de los virus y viroides en jitomate. A) Transmisión por semilla; B) Transmisión mecánica, por uso de herramientas de trabajo, manipulación de las plantas; C) Transmisión por insectos vectores.

Por lo general, los síntomas causados por virus son difíciles de identificar por presentarse en mezclas de infecciones virales (Sastry, 2013a). Es claro que los síntomas reducen el vigor, calidad y rendimiento de los cultivos (Figura 3) (Sastry, 2013b). Las enfermedades causadas por estos fitopatógenos representan un gran desafío para la agricultura, además el cambio climático inminente y las prácticas agrícolas han favorecido brotes de enfermedades y su dispersión a otras áreas no reportadas o presentes (Jones y Naidu, 2019).

Viroides en jitomate

Los viroides son agentes infecciosos de menor complejidad estructural y genética, constituidos de una cadena circular de ARN desnudo, cerrada covalentemente y de bajo peso molecular (246 a 401 nucleótidos de longitud) (Flores *et al.*, 1998). Algunos son patogénicos y otros se replican sin generar síntomas en el hospedante (Flores *et al.*, 1998). La mayoría de los viroides conocidos fueron descubiertos por los daños causados en diversos cultivos de importancia económica (Flores y Randles, 2003).

Actualmente, se han descrito 33 viroides clasificados por el ICTV, agrupados en dos familias, dependiendo de la parte de la célula en la que se replican: Pospiviroidae (28 especies) y Avsunviroidae (cinco especies) (Di Serio y Flores, 2008). Cada familia está constituida por géneros y éstos por especies que pueden tener numerosas variantes de su secuencia, conocidas como cepas (Flores *et al.*, 1998; 2000). Una vez que ingresan a la célula del hospedante, los Pospiviroidae se mueven hacia el núcleo antes de iniciar su replicación, mientras que los Avsunviroidae se replican en los cloroplastos (Sastry, 2013b).

Desde 1988, en diversos países se han detectado enfermedades en jitomate infectadas naturalmente por viroides; todos de la familia Pospiviroidae como *Tomato planta macho viroid* (TPMVd) (Galindo *et al.*, 1982), *Mexican papita viroid* (MPVd) que podría considerarse variante del TPMVd (Verhoeven *et al.*, 2011), *Potato spindle tuber viroid* (PSTVd) (Puchta *et al.*, 1990), *Tomato apical stunt viroid* (TASVd) (Walter *et al.*, 1980; Walter, 1987), *Citrus exocortis viroid* (CEVd) (Mishra *et al.*, 1991; Fagoaga y Duran-Vila, 1996; Verhoeven *et al.*, 2004), *Indian tomato bunchy top viroid* (Mishra *et al.*, 1991) que se considera una cepa del CEVd (Singh *et al.*, 2003), *Tomato chlorotic dwarf viroid* (TCDVd) (Singh *et al.*, 1999) y *Columnea latent viroid* (CLVd) (Verhoeven *et al.*, 2004). En infecciones artificiales se logró infectar al jitomate con *Chrysanthemum stunt viroid* (CSVd) (Matsushita y Kumar, 2009) y *Pepper chat fruit viroid* (PCFVd) (Cuadro 2) (Verhoeven *et al.*, 2009).

Todos los viroides son transmitidos por inoculación mecánica (Sastry, 2013b) y por contacto (Figura 2); por ejemplo, con herramientas utilizadas en la poda, mediante la ropa, por la manipulación del cultivo y el contacto directo entre



Figura 3. Síntomas asociados a virus y viroides en jitomate. A y B) Mosaico, reducción foliar, y deformación foliar leve y severa asociado a *Tomato brown rugose fruit virus*; C y D) Achaparramiento, deformación de frutos y coloración púrpura en hojas ocasionados por *Mexican papita viroid*; E) Síntoma de mosaico amarillento asociados a *Pepino mosaic virus*; F) Síntomas de achaparramiento, deformación y mosaico severo asociado a Begomovirus; G y H) Síntomas de anillos concéntricos y ligera deformación en fruto asociado a *Tomato spotted wilt virus*; I) Mosaico en hojas ocasionado por *Tobacco mosaic virus*.

Cuadro 2. Viroides que afectan al jitomate (*Solanum lycopersicum*) en el mundo.

Especie	Detecciones	Síntomas ^z	Tipo de transmisión	Pérdidas e incidencia	Referencia
<i>Tomato planta macho viroid</i> = <i>Mexican papita viroid</i> (TPMVd=MPVd)	México (1982, 2008 y 2020) Canadá (2008)	Achaparramiento; clorosis en el ápice, hojas bronceadas o púrpuras, epinastia y deformación severa, reducción en el tamaño y número de frutos y aborto de flores.	Probable vector <i>Myzus persicae</i> Semilla por polen contaminado	Provoca pérdidas significativas en el rendimiento. Incidencias del 5 % en el cultivo.	Galindo <i>et al.</i> , 1982, 1986; Ling y Zhang, 2009; Mejorada-Cuellar, 2020; Ling y Bledsoe, 2009; Yanagisawa y Matsushita, 2017; Yanagisawa and Matsushita, 2018; Aviña-Padilla <i>et al.</i> , 2018; Matthews-Berry, 2010; Li y Ling, 2012
<i>Potato spindle tuber viroid</i> (PSTVd)	Descubierto en 1922 y con distribución mundial pero erradicado en la mayoría de los países. Australia (2011)	Epinastia, clorosis, coloración violácea con las nervaduras centrales de color verde brillante, deformación y reducción de tamaño, quebradizas y nervaduras centrales necróticas, internudos cortos, con brotes atrofiados y necrosis, aborto flores, frutos pequeños, duros, con manchas verdes oscuras y maduración irregular	Semilla Vector <i>M. persicae</i> (Transencapsidación con <i>Potato leaf roll virus</i>)	Reducción de biomasa del cultivo y el rendimiento hasta un 89 %. Incidencia del 3 % en tomate cherry (<i>S. lycopersicum</i> cv. Perino).	Owens, 2007; Matthews-Berry, 2010; van Brunschot <i>et al.</i> , 2014; Yanagisawa y Matsushita, 2017; Matsushita <i>et al.</i> , 2011; Diener, 1987; Singh <i>et al.</i> , 2003 NSW Government, 2012; Mackie <i>et al.</i> , 2019
<i>Tomato apical stunt viroid</i> (TASVd)	Israel (1999 y 2000), En algunos países de Asia y África, y en varios de Europa.	Internudos cortos, en hojas deformación, amarillamiento, quebradizas, reducción de tamaño de frutos y descoloridos (rojizo pálido)		Incidencia de casi 100 %	Antignus <i>et al.</i> , 2002, 2007; CABI, 2018; Matsuura <i>et al.</i> , 2010; Nielsen <i>et al.</i> , 2012
<i>Citrus exocortis viroid</i> (CEVd)	Distribución mundial, principalmente en cítricos	Clorosis, bronceado y distorsión, reducción del crecimiento.	Detectado en lotes de semillas comerciales	No hay reportes	Mishra <i>et al.</i> 1991; Matthews-Berry, 2010; Verhoeven <i>et al.</i> , 2004 Constable <i>et al.</i> , 2019
<i>Tomato chlorotic dwarf viroid</i> (TCDVd)	Canadá, Estados Unidos, México, Japón, Hawaii (2017)	Reducción del crecimiento y amarillamiento (clorosis) de brotes, deformación frutos, clorosis que se torna después color bronce, rojizo y/o púrpura, epinastia Muerte de plantas.	Por polinización activa de abejorros (<i>Bombus terrestris</i> y <i>B. ignites</i>)	100 % de incidencia en invernaderos	Matsushita <i>et al.</i> , 2008; Singh <i>et al.</i> , 1999; Ling y Zhang, 2009; Verhoeven <i>et al.</i> , 2004 y 2007; Singh y Teixeira, 2006; Olmedo-Velarde <i>et al.</i> , 2018; Nie, 2012; Matthews-Berry, 2010; Antignus <i>et al.</i> , 2007; Matsuura <i>et al.</i> , 2010; Singh y Dilworth, 2009

Cuadro 2. Continúa...

Especie	Detecciones	Síntomas ^z	Tipo de transmisión	Pérdidas e incidencia	Referencia
<i>Columnnea latent viroid</i> (CLVd)	Holanda y Bélgica En 2007 en el Reino Unido y en Francia y en 2011 en Mali.	Deformación severa, bronceado y quemado en hojas, epinastia, clorosis y necrosis en nervaduras, reducción de tamaño o retraso de desarrollo.	Detectado en lotes de semillas comerciales	Merms en producción en Reino Unido. Incidencia en campo de aproximadamente el 1.5%.	Nixon et al., 2010; Batuman y Gilbertson, 2013; Matthews-Berry, 2010; Steyer et al., 2010; Constable et al., 2019.
<i>Pepper chat fruit viroid</i> (PCFVd)	En el 2009 en plantas de pimiento y en 2013 en cargamentos de semillas de tomate	Necrosis en hojas jóvenes y necrosis en las nervaduras y peciolo, achaparramiento, reducción del tamaño del fruto.	Detectado en lotes de semillas comerciales	No hay reportes	Verhoeven et al., 2009; Chambers et al., 2013; Constable et al., 2019

^zLos síntomas descritos que puede ocasionar cada viroide pueden expresarse en conjunto o por separado en una planta infectada.

plantas cercanas (Hammond, 2017). En otros casos, también se transmiten por semillas, propagación vegetativa, injertos, polen e insectos (Figura 2) (Verhoeven et al., 2004). La eficiencia de los viroides en ser transmitidos o no por semilla varía entre especies vegetales y viroidales (Flores et al., 2011; Singh et al., 2003; Chung y Choi, 2008). Las infecciones de viroides en cultivos comerciales de jitomate han sido ligadas a la importación de semillas y de plantas ornamentales (Batuman y Gilbertson, 2013; Van Brunschot et al., 2014; Verhoeven et al., 2012). Por la diversidad de especies de viroides, incluyendo algunas endémicas y la presencia de infecciones mixtas en jitomate, México representa un centro de origen de viroides (Aviña-Padilla et al., 2022).

Los síntomas inducidos por los viroides en el jitomate dependen de la especie del viroide, el cultivar, la temperatura y la luz. La respuesta de las plantas está influenciada además por el silenciamiento del ARN, el cual juega un papel importante en el desarrollo de los síntomas, combinado con elementos estructurales de los viroides (Di Serio et al., 2013; Flores et al., 2015). La variabilidad de los síntomas es provocada por las diferentes formas de expresión génica. Además, la infección por viroides puede o no inducir síntomas, pero por lo general inducen clorosis, bronceado, distorsión de hojas, achaparramiento, aclaramiento y decoloración de venas, malformación de flores, frutos, reducción del rendimiento y fruta no comercial (Figura 1 C y D) (Singh et al., 2003; Kovalskaya y Hammond, 2014).

Manejo de enfermedades causadas por virus y viroides

Existe una tendencia mundial hacia el consumo de productos libres de plaguicidas. Independientemente del sistema agrícola y fitopatógeno, es idóneo tener un enfoque de Manejo Integrado de Plagas (MIP) que incluya medidas antes, durante y después del crecimiento del cultivo. Como primera instancia se recomienda el uso de cultivares resistentes a virus (Rojas *et al.*, 2018) y el saneamiento cultural, como prácticas de manejo de enfermedades (Karthika *et al.*, 2020).

El control efectivo de los virus y viroides incluye la detección temprana (diagnóstico), erradicación y métodos de control cultural (Kovalskaya y Hammond, 2014). La realización de medidas de control adecuadas permitirá evitar o aminorar la severidad de virus y/o viroides en plantas. Por lo que, el diagnóstico para la identificación del virus será importante para implementar estrategias de manejo. Las técnicas de diagnóstico pueden ser ELISA, inmunocromatografía o tira reactiva, hibridación de ácidos nucleicos, reacción en cadena polimerasa (PCR) y secuenciadores de siguiente generación (González-Garza, 2017).

Dada la importancia que tienen las enfermedades de índole viral y viroidal, se ha buscado otras alternativas, como el uso de microorganismos benéficos para proteger el cultivo y mejorar el crecimiento y productividad vegetal (Sofy *et al.*, 2019).

Como se mencionó con anterioridad, se ha implementado el uso de variedades tolerantes como parte del manejo de virus y/o viroides; sin embargo, en los últimos años ha tomado importancia en temas relacionados a la inducción de las defensas naturales en las plantas (Ryals *et al.*, 1994; Kloepper *et al.*, 2004). La demanda de productos biológicos para el control de plagas y enfermedades, así como el uso de las moléculas inductoras (elicitors) que son capaces de desencadenar respuestas de defensa en las plantas van en aumento (Nasir *et al.*, 2014). Para ello, se debe considerar que la magnitud y efectividad de la respuesta inducida dependerá del tipo de molécula, de la señal o su capacidad para inducir una señalización secundaria dentro del tejido (Eder y Cosio, 1994).

Por naturaleza, las plantas poseen la capacidad de defenderse de los fitopatógenos a través de la producción de sustancias que impiden o disminuyen el daño causado por los microorganismos. Esta respuesta se desencadena por el reconocimiento planta-patógeno, después de una infección local, donde las plantas activan respuestas de defensa de manera sistémica para incrementar la magnitud y la velocidad de respuesta contra el patógeno (Delgado-Oramas, 2020). La resistencia inducida es un estado en donde las plantas incrementan sus defensas contra el ataque de fitopatógenos y se desencadenan mediante el estímulo de inductores químicos y/o biológicos (Choudhary *et al.*, 2007). De manera general, la resistencia inducida puede funcionar para el control de un amplio espectro de fitopatógenos (Kloepper, 1993). Se conocen dos tipos de resistencia inducida por patógenos en plantas: Resistencia Sistémica Inducida (RSI) y la Resistencia Sistémica Adquirida (RSA) (Camarena-Gutiérrez y Torre-Almaráz, 2007).

Resistencia Sistémica Inducida (RSI). La activación de la RSI requiere la señalización del ácido salicílico (AS), ácido jasmónico (AJ) y el etileno (ET) (Beneduzi *et al.*, 2012; Pieterse *et al.*, 2014), cuyos productos transducen coordinadamente los estímulos extracelulares que son reconocidos por receptores de la célula del hospedante a un gran número de moléculas blanco que integran las respuestas intracelulares específicas al estímulo externo (Walters, 2009; Delgado-Oramas, 2020; Jankiewicz y Koltonowicz, 2012; Choi *et al.*, 2014). La RSI se ha observado en diversas especies vegetales en reacciones de defensa contra hongos, bacterias y virus (Camarena-Gutiérrez y de la Torre-Almaráz, 2007).

Vías de señalización mediadas por ET, AJ, AS y su interacción. Las vías de señalización mediadas por AS, AJ y ET no funcionan de manera independiente (Maldonado-Cruz *et al.*, 2008; Derksen *et al.*, 2013). A través de una cascada de señales de proteínas quinasas activadas por mitógenos (Mitogen-activated protein kinase-MAPKs) ocurre la activación de los genes insensitivos a etileno 1, 2 y 3 (*EIN1*, *EIN2* y *EIN3*) que regulan la expresión génica en respuesta a patógenos y heridas (Zhu *et al.*, 2011). En un estudio en mostaza (*Sinapis alba*) se demostró que el etileno, en interacción con la ruta de la oxidasa alternativa mitocondrial (AOX), induce resistencia sistémica al *Turnip mosaic virus* (TuMV), debido a la posible limitación de la infección sistémica del virus y su acumulación en la planta (Zhu *et al.*, 2011).

La señalización por jasmonatos resulta esencial para la expresión de genes de defensa en plantas contra las plagas (Garnica *et al.*, 2012). El gen de la proteína insensible a la coronatina (*COI1*) actúa como regulador central de la vía de señalización del AJ, ya que al unirse con el Jasmonil-Isoleucina (JA-Ile) promueve la liberación del factor de transcripción MYC2 y la transcripción de genes de respuesta a jasmonatos (Garnica *et al.*, 2012). Se tiene evidencia de que la expresión del gen *COI1* y del gen *N* en la interacción tabaco-TMV confiere resistencia al TMV (Liu *et al.*, 2004).

El ácido salicílico (SA) es una molécula de señalización clave en la transducción de señales intracelulares que además de contribuir a la liberación de H₂O₂ y oxígeno activo derivado de éste, puede inducir la expresión de genes relacionados con la defensa (Shirasu *et al.*, 1997).

Respuesta Sistémica Inducida en jitomate contra virus fitopatógenos mediada por RPCV. La necesidad de garantizar calidad y altos rendimientos de los cultivos (con bajo impacto ambiental) ha permitido el surgimiento de diferentes insumos formulados con microorganismos, dentro de ellos se puede encontrar el uso de Rizobacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (RPCV) (González *et al.*, 2018; Canchignia *et al.*, 2015). La RSI es potenciada por estos microorganismos, las cuales son bacterias saprofitas que viven libremente en la rizósfera; al colonizar el sistema radicular de las plantas aportan mediante secreciones, vitaminas, hormonas

y otros factores de crecimiento que contribuyen a mejorar el crecimiento y la productividad de las plantas (Walters, 2009). Lo interesante es su uso de las RPCV en follaje y semillas observando diferentes beneficios (Cuadro 3, Figura 4).

Cuadro 3. Especies de rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal usadas para manejo de virus en jitomate.

Virus	RPCV	Resultado obtenido	Referencia
Cucumber mosaic virus (CMV)	<i>Pseudomonas fluorescens</i> , <i>Serratia marcescens</i>	Disminuyó el área bajo la curva del progreso de la enfermedad en plantas enfermas tratadas.	Raupach <i>et al.</i> , 1996
	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> (IN937a), <i>B. subtilis</i> (IN937b), <i>B. pumilus</i> (SE34)	Reducción de síntomas de 38 a 58% con RPCV, comparado con 88 a 98% sin RPCV.	Zehnder <i>et al.</i> , 2000, 2001
	<i>B. pumilus</i> (SE34), <i>B. amyloliquefaciens</i> (IN937a), <i>B. subtilis</i> (IN937b), <i>B. pumilus</i> (INR7, T4)	Porcentaje de infección de 27.5 (SE34) al 85% (T4), comparado con el testigo (87.5%). Favoreció el crecimiento de plantas y las protegió contra el virus.	Murphy <i>et al.</i> , 2003
	<i>Azospirillum lipoferum</i> (MRB16), <i>A. brasilienses</i> (SP7), <i>A. brasilienses</i> (N040), <i>Anabena oryzae</i>	Las plantas infectadas y tratadas incrementaron hasta 48 % su rendimiento en invernadero y 40% en campo.	Dashti <i>et al.</i> , 2007
	<i>P. aeruginosa</i> , <i>Stenotrophomonas rhizophilia</i>	Promovió el crecimiento vegetativo y rendimiento. Se previno la infección del 91 % de las plantas.	Dashti <i>et al.</i> , 2012
Tobacco mosaic virus (TMV)	<i>Pseudomonas</i> spp. (B-25)	Promovió el rendimiento y crecimiento de plantas. Disminuyó la incidencia del virus en plantas.	Kirankumar <i>et al.</i> , 2008
	<i>Bacillus</i> spp.	Favoreció el desarrollo de raíces en plantas de tabaco infectadas.	Wang <i>et al.</i> , 2009; Choi <i>et al.</i> , 2014
	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> (TBorg1)	Reducción del 90% de acumulación del virus. Incrementó el total de carbohidratos solubles, proteínas y ácido ascórbico.	Abdelkhalek <i>et al.</i> , 2022
	<i>P. fluorescens</i> SM90 y <i>B. subtilis</i> DR06	Incremento de genes relacionados con defensa <i>NPRI</i> , <i>COII</i> Y <i>PRI-a</i> , fomenta crecimiento en plantas infectadas con el virus	Sharaf <i>et al.</i> , 2023
Tomato chlorotic spot virus (TCSV)	<i>B. amyloliquefaciens</i> (IN937a) <i>B. pumilus</i> (SE34)+ <i>B. amyloliquefaciens</i> (IN937a) <i>B. pumilus</i> (SE34)+ <i>B. sphaericus</i> (SE56)+ <i>B. amyloliquefaciens</i> (IN937a)	Redujo la severidad en campo y fue el tratamiento que mejor controló la enfermedad.	Abdalla <i>et al.</i> , 2017

Cuadro 3. Continúa...

Virus	RPCV	Resultado obtenido	Referencia
Tomato mottle virus (ToMoV)	<i>B. amyloliquefaciens</i> (IN 937a) <i>B. subtilis</i> (IN 937b) <i>B. pumilus</i> (SE34)	Redujo en 30 % la incidencia del virus en plantas. Redujo el desarrollo de síntomas y la incidencia.	Murphy <i>et al.</i> , 2000; Zehnder <i>et al.</i> , 2001
Tomato spotted wilt virus (TSWV)	<i>P. fluorescens</i> (CHA0) <i>P. fluorescens</i> (CHA0+CoT-1) <i>P. fluorescens</i> (CHA0+CoT-1+CoP-1) <i>B. amyloliquefaciens</i> (MBI600)	Aumentó el rendimiento y crecimiento de plantas infectadas y tratadas. Redujo la carga viral. Redujo la incidencia del virus en 80 %.	Kandan <i>et al.</i> 2005; 2002 Beris <i>et al.</i> , 2018
Tomato yellow leaf curl virus (TYLCV)	<i>Enterobacter asburiae</i> (BQ9)	Redujo la severidad en 52 %, de plantas tratadas e infectadas.	Li <i>et al.</i> , 2016
Potato virus Y	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> (strain MBI600)	Reducción de acumulación sistémica de virus	Beris <i>et al.</i> , 2018
Groundnut bud necrosis virus (GBNV)	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> (VB7)	Reducción de síntomas de alrededor del 84 %	Vanthana <i>et al.</i> , 2019

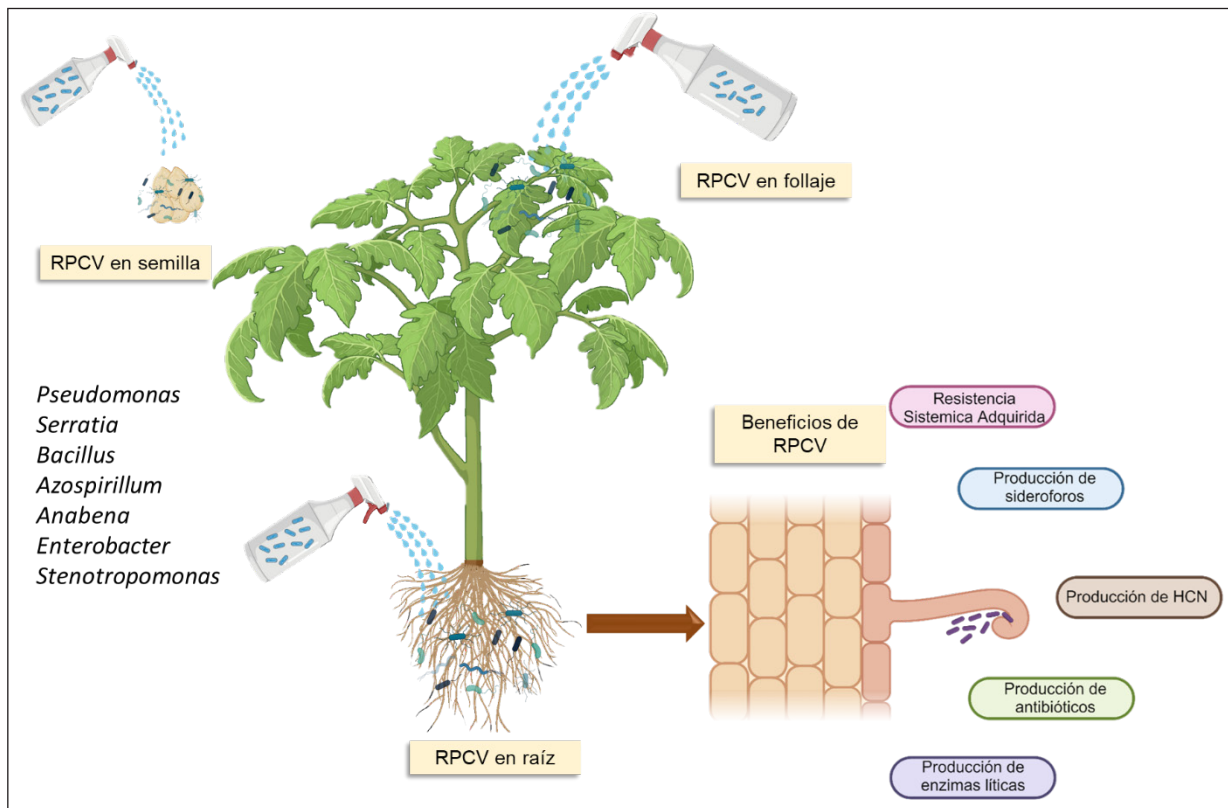


Figura 4. Formas de aplicación y mecanismos de acción de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV) usadas para proteger al jitomate de infecciones virales.

La mayoría de las bacterias que se han reportado como RPCV pertenecen a los géneros *Pseudomonas* y *Bacillus*, pero también se han reportado otras bacterias pertenecientes a los géneros: *Aeromonas*, *Agrobacterium*, *Arthrobacter*, *Alcaligenes*, *Azospirillum*, *Azoarcus*, *Azotobacter*, *Burkholderia*, *Bradyrhizobium*, *Comamonas*, *Cyanobacteria*, *Enterobacter*, *Gluconacetobacter*, *Pizobielonas Serratia*, *Variovorax*, *Streptomyces* y *Xanthomonas* (Vessey, 2003).

Existen estudios sobre el uso de RPCV empleados como inoculantes microbianos para proteger las plantas de jitomate contra infecciones virales en donde, adicionalmente, se registró un incremento del rendimiento del cultivo (Cuadro 3); como ejemplo, en México, Samaniego *et al.* (2017) y Hernández-Santiago *et al.* (2020) reportan que la aplicación de *Bacillus* en plantas de jitomate infectadas, además de observar un incremento en la altura y peso de las plantas tratadas, se generó resistencia sistémica inducida. En los últimos años la investigación sobre la RSI mediante los RPCV contra virus de relevancia económica (20 virus) en diversos cultivos ha tomado mayor importancia (Sofy *et al.*, 2019); sin embargo, a pesar de las investigaciones para contrarrestar los virus, aún son escasas las investigaciones, principalmente para el caso de los viroides. Los trabajos se han encauzado principalmente en cultivos de *Musa* spp., *Vigna unguiculata*, *V. mungo*, *Vicia faba*, *Momordica charantia*, *Cucumis sativus*, *Citrullus lanatus*, *Solanum lycopersicum*, *S. tuberosum*, *Capsicum annuum*, *Nicotiana tabacum*, *N. tabacum* cv. *Xanthi-nc*, *Arabidopsis thaliana*, *Chenopodium quinoa*, *Helianthus annuus*, *Phaseolus vulgaris*, *Datura metel* y *Cucurbita maxima* (Sofy *et al.*, 2019).

Existen otros microorganismos, como los hongos endófitos (*Trichoderma* spp.), que también son inductores de resistencia en plantas, e inclusive se venden como biocontroladores de hongos fitopatógenos por compañías en México, para ser aplicados en diversos cultivos. Sin embargo, el uso de estos microorganismos y su efecto en plantas infectadas por virus y viroides ha sido poco estudiado. No obstante, algunas especies de hongos rizosféricos y endófitos parecen tener un efecto favorecedor como promotores vegetales del crecimiento en plantas de jitomate infectadas por virus (Ramos-Villanueva *et al.*, 2023).

CONCLUSIONES

Las enfermedades causadas por virus y viroides afectan el rendimiento y calidad del jitomate, y otros cultivos de importancia económica en el mundo. En México, se tiene registro de más de 28 virus (en su mayoría del género Begomovirus); no obstante, son limitadas las investigaciones de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en jitomate como inductores de resistencia contra estos patógenos o incluso para mejorar la sanidad del cultivo. Solo se ha reportado el uso de *B. subtilis* para el control del *Tobacco mosaic virus* en jitomate (Samaniego *et al.*, 2017;

Hernández-Santiago *et al.*, 2020). En el mundo, las RPCV *Pseudomonas*, *Serratia*, *Bacillus*, *Azospirillum*, *Anabena*, *Enterobacter*, y *Stenotrophomona* han sido evaluadas con ocho especies de virus presentes en jitomate, con énfasis en *Cucumber mosaic virus*. Sin embargo, es necesario fortalecer este tipo de investigaciones por la importancia del cultivo en México. Las RPCV ha demostrado efectos potenciales por la reducción de incidencia y severidad hasta un 80 %. Así mismo, se ha registrado un rendimiento hasta un 48 % más, en comparación con plantas sin aplicación de RPCV. Las RPCV es una alternativa promisoría para integrar en un manejo integrado de infecciones virales o viroidales. Adicionalmente es compatible con el ambiente, seguro y efectivo experimentalmente para el control de una diversidad de virus.

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>
- Abdelkhalek A, Aseel DG, Király L, Künstler A, Moawad H and Al-Askar AA. 2022. Induction of systemic resistance to *Tobacco mosaic virus* in tomato through foliar application of *Bacillus amyloliquefaciens* Strain TBorg1 culture filtrate. *Viruses* 14: 1830. <https://doi.org/10.3390/v14081830>
- Antignus Y, Lachman O and Pearlsman M. 2007. The spread of Tomato apical stunt viroid (TASVd) in greenhouse tomato crops is associated with seed transmission and bumble bee activity. *Plant Disease* 91:47-50.
- Antignus Y, Lachman O, Pearlsmand M, Gofman R and Bar-Joseph M. 2002. A new disease of greenhouse tomatoes in Israel caused by a distinct strain to *Tomato apical stunt viroid* (TASVd). *Phytoparasitica* 30: 502 - 510.
- Avedi EK, Adediji AO, Kilalo DC, Olubayo FM, Macharia I, Ateka EM, Machuka EM and Mutuku JM. 2021. Metagenomic analyses and genetic diversity of Tomato leaf curl Arusha virus affecting tomato plants in Kenya. *Virology journal* 18(1): 2. <https://doi.org/10.1186/s12985-020-01466-z>
- Aviña-Padilla K, Rivera-Bustamante R, Kovalskaya NY and Hammond WR. 2018. Pospiviroid Infection of Tomato Regulates the Expression of Genes Involved in Flower and Fruit Development. *Viruses* 10: 516. <https://doi.org/10.3390/v10100516>.
- Batuman O and Gilbertson RL. 2013. First Report of *Columnea latent viroid* (CLVd) in tomato in Mali. *Disease Note* 97 (5). <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-12-0920-PDN>
- Barajas-Ortiz M, León-Sicairos CR, López-Valenzuela JA, Reyes-Moreno C, Valdez-Ortiz A, Velarde-Félix S, Peraza_Garay F and Garzón-Tiznado JA. 2013. Transmission Efficiency of *Tomato Apex Necrosis Virus* by *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) Biotype B in Tomato. 106(4): 1559-1565. <https://doi.org/10.1603/EC12223>
- Basit A, Shah ST, Muntha ST and Mohamed HI. 2021. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) as Biocontrol Agents for Viral Protection. In: Mohamed, H.I., El-Beltagi, H.ED.S., Abd-Elsalam, K.A. (eds) *Plant Growth-Promoting Microbes for Sustainable Biotic and Abiotic Stress Management*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-66587-6_8
- Beneduzi A, Ambrosini A and Passaglia LMP. 2012. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Their potential as antagonists and biocontrol agents. *Genetics and Molecular Biology* 35(4 Suppl):1044-1051.
- 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>
- CABI. 2020. Datasheet. Centre for Agricultural Bioscience International. <https://www.cabi.org/>

- CABI. 2018. Tomato apical stunt viroid. Datasheet. 20/04/18 Original text by: Rosemarie W Hammond, Molecular Plant Pathology Laboratory, USDA-ARS, Beltsville, Maryland, USA. <https://www.cabi.org/isc/datasheet/52804#todistribution>
- Camarena-Gutiérrez G y de la Torre-Almaráz R. 2007. Resistencia sistémica adquirida en plantas: Estado actual. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 13(2): 157-162.
- Cambrón-Crisantos JM, Rodríguez-Mendoza J, Valencia-Luna JB, Alcasio-Rangel S, García-Ávila CJ, López-Buenfil JA and Ochoa-Martínez DL. 2019. First report of *Tomato brown rugose fruit virus* (ToBRFV) in Michoacan, Mexico. *Mexican Journal of Phytopathology* 37(1): 185-192. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1810-5>
- Canchignia H, Cruz N, Barrera A, Morante-Carriel J, Canchignia M and Peñafiel M. 2015. Applying Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) of the Genus *Pseudomonas* spp as Biological Controllers of Insects and Plague Nematodes. *Revista Ciencia y Tecnología* 8(1): 25-30. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5319281>
- Cardenas-Conejo Y, Arguello-Astorga G, Poghsyan A, Hernández-González J, Lebsky V, Holguin-Peña J, Medina-Hernández D and Vega-Peña S. 2010. First Report of *Tomato yellow leaf curl virus* Co-infecting Pepper with tomato chino La Paz virus in Baja California Sur, Mexico. *Plant Disease* 94(10) 1266. 10.1094/PDIS-06-10-0444
- Constable F, Chambers G, Penrose L, Daly A, Mackie J, Davis K, Rodoni B and Gibbs M. 2019. Viroid-infected Tomato and Capsicum Seed Shipments to Australia *Viruses* 11: 98. <https://doi.org/10.3390/v11020098>.
- Chambers GA, Seyb AM, Mackie J, Constable FE, Rodoni BC, Letham D, Davis K and Gibbs MG. 2013. First Report of Pepper chat fruit viroid in Traded Tomato Seed, an Interception by Australian Biosecurity. *Disease notes* 97 (10). <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-13-0293-PDN>
- 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.
- Chen LFRL. Gilvertson. 2016. Transmission of Curtoviruses (*Beet curly top virus*) by the Beet Leafhopper (*Circulifer tenellus*). In: Brown JK. (Eds.) Vector-mediated transmission of plant pathogens. APS <https://doi.org/10.1094/9780890545355.017>.
- Choudhary DK, Prakash A and Johri BN. 2007. Induced systemic resistance (ISR) in plants: Mechanism of action. *Indian Journal of Microbiology* 47(4): 289–297. <https://doi.org/10.1007/s12088-007-0054-2>
- Chung BN and Choi GS. 2008. Incidence of *Coleus blumei* viroid 1 in Seeds of Commercial Coleus in Korea. *The Plant Pathology Journal* 24(3): 305–308. <https://doi.org/10.5423/PPJ.2008.24.3.305>
- 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>
- Dashti NH, Montasser MS, Ali NY, Bhardwaj RG and Smith DL. 2007. Nitrogen biofixing bacteria compensate for the yield loss caused by viral satellite RNA associated with *Cucumber mosaic virus* in tomato. *The Plant Pathology Journal* 23:90–96. <https://doi.org/10.5423/ppj.2007.23.2.090>
- De la Torre-Almaráz R, Salazar-Segura M y Valverde RA. 2003. Etiología del moteado amarillo del tomar de cáscara (*Physalis ixocarpa* B.) en México. *Agrociencia* 37(3): 277-289. <https://www.redalyc.org/pdf/302/30237307.pdf>
- De la Torre Almaráz R, Monsalvo-Reyes AC, Méndez-Lozano J y Rivera-Bustamante RF. 2004. Caracterización de un nuevo geminivirus asociado con los síntomas de moteado amarillo de la okra (*Abelmoschus esculentus*) en México. *Agrociencia* 38(2): 227-238. <https://www.redalyc.org/pdf/302/30238210.pdf>
- Delgado-Oramas PB. 2020. La resistencia inducida como alternativa para el manejo de plagas en las plantas de cultivo. *Revista de Protección Vegetal*. 35(1). e07. Epub 01 de abril de 2020. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522020000100001&lng=es&tlng=es.
- Derksen H, Rampitschb C and Daayf F. 2013. Signaling cross-talk in plant disease resistance. *Plant Science*, 207:79-87.
- Di Serio F and Flores F. 2008. Viroids: Molecular implements for dissecting RNA trafficking in plants. *RNA Biology* 5: 128 – 131. <https://doi.org/10.4161/rna.5.3.6638>
- Di Serio F, De Stradis A, Delgado S, Flores R and Navarro B. 2013. Cytopathic effects incited by viroid RNAs and putative underlying mechanisms. *Frontiers in Plant Science* 3:288. <https://doi.org/10.3389/fpls.2012.00288>

- Diener TO. 1987. Biological Properties. In: Diener T.O. (eds) The Viroids. The Viruses. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-1855-2_2
- Eder J and Cosio EG. 1994. Elicitors of plant defense responses. *International review of cytology* 148:1-36.
- Fagoaga C and Duran-Vila N. 1996. Naturally occurring variants of *citrus exocortis viroid* in vegetable crops. *Plant Pathology* 45: 45-53.
- FAO (Food and agriculture organization statistics). 2020. Consulted 16-December-2020. Disponible en: <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>
- Fernandez-Northcote EN and Fulton RW. 1980. Detection and characterization of Peru tomato virus strains infecting pepper and tomato in Peru. *Phytopathology* 70:315-320. https://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/Documents/1980Articles/Phyto70n04_315.PDF
- Flores R and Randles J. 2003. Viroids: Properties, Detection, Diseases and Their Control Ahmed Hadidi, Science publishers, Inc. United States of America. 392 p.
- Flores R, Minoia S, Carbonell A, Gisel A, Delgado S, López-Carrasco A, Navarro B and Di Serio F. 2015. Viroids, the simplest RNA replicons: How they manipulate their hosts for being propagated and how their hosts react for containing the infection. *Virus Research* 209:136-145.
- Flores R, Randles JW, Bar-Joseph M and Diener TO. 1998. A proposed scheme for viroid classification and nomenclature. *Archives of Virology* 143: 623-629.
- Flores R, Randles JW, Bar-Joseph M and Diener T.O. 2000 Viroids. In: *Virus Taxonomy, 7th Report International of the Committee Taxonomy Viruses*. Regenmortel MHV, Fauquet CM, Bishop DHL, Carstens EB, Estes MK, Lemon SM, Maniloff J, Mayo MA, McGeoch DJ, Pringle CR and Wickner RB. (eds.), San Diego, Academic Press, 1009-1024 pp.
- Flores R, Di Serio F, Navarro B, Duran-Vila NURIA and Owens RA. 2011. Viroids and viroid diseases of plants. *Studies in Viral Ecology: Microbial and Botanical Host Systems* 1: 311-346.
- Galindo J, López M and Aguilar T. 1986. Significance of *Myzus persicae* in the spread of *tomato planta macho viroid*. *Fitopatología Brasil* 2: 400-410.
- Galindo J, Smith DR and Diener TO. 1982. Etiology of planta macho, a viroid disease of tomato. *Phytopatology* 72: 49-54.
- García-Estrada RS, Díaz-Lara A, Aguilar-Molina VH and Tovar-Pedraza JM. 2022. Viruses of economic impact on tomato crops in Mexico: From diagnosis to management-A review. *Viruses* 14:1251. <https://doi.org/10.3390/v14061251>
- Garnica VA, Raya GJ, López BJ y Beltrán PE. 2012. Señalización del ácido jasmónico y el óxido nítrico durante el desarrollo de *Arabidopsis thaliana*. *Ciencia Nicolaita* 55:28-41.
- Gibbs AJ, Ohshima K, Phillips MJ and Gibbs MJ. 2008. The Prehistory of Potyviruses: Their Initial Radiation Was during the Dawn of Agriculture. *PLOS ONE* 3(6): e2523. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0002523>
- González-Garza R. 2017. Evolución de técnicas de diagnóstico de virus fitopatógenos. *Revista Mexicana de Fitopatología* 35(3):591-610. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1706-1>.
- Green SK, Tsai WS, Shih SL, Black LL, Rezaian A, Rashid MH, Roff MMN, Myint YY and Hong LTA. 2007. Molecular Characterization of Begomoviruses Associated with Leafcurl Diseases of Tomato in Bangladesh, Laos, Malaysia, Myanmar, and Vietnam. *Disease Notes* 85(12). <https://doi.org/10.1094/PDIS.2001.85.12.1286A>
- Hanssen IM and Lapidot M. 2012. Major tomato viruses in the Mediterranean basin. In: Loebenstein G and Lecoq H (Ed). *Advances in Virus Research: Viruses and virus diseases of vegetables in the Mediterranean Basin* 84:31-66. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394314-9.00002-6>.
- Hancinský R, Mihálik D, Mrkvová M, Candresse T and Glasa M. 2020. *Plants* 9 (667): 17 p. <https://doi.org/10.3390/plants9050667>
- Hammond WR. 2017. Viroids and Satellites. *Economic Significance of Viroids in Vegetable and Field Crops*. Chapter1. 5-13 pp. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-801498-1.00001-2>.
- Hernández-Martínez J, García-Mata R, Valdivia-Alcalá y Omaña-Silvestre JM. 2004. Evolución de la competitividad y rentabilidad del cultivo del tomate rojo (*Lycopersicon esculentum* L.) en Sinaloa, México. *Agrociencia* 38: 431-436.
- Hernández-Santiago R, Vargas-Hernández M y Zamora-Macorra EJ. 2020. Evaluation of TMV resistance inducers in tomato. *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas* 11(2): 377-390.

- Hogenhout SA, Ammar ED, Whitfield AE and Redinbaugh MG. 2008. Insect Vector Interactions with Persistently Transmitted Viruses. *Annual Review of Phytopathology* 46: 327–359. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.022508.092135>
- Honguin-Peña RJ, Arguello-Astorga GR, Brown KJ and Rivera-Bustamante RF. 2007. A New Strain of Tomato chino La Paz virus associated with a leaf curl disease of tomato in Baja California Sur, Mexico. *Disease Notes* 90(7): 973. <https://doi.org/10.1094/PD-90-0973B>
- Holguín-Peña R. J., Vázquez-Juárez R. and Rivera-Bustamante R. F. 2004. *Pepper golden mosaic* virus affecting tomato crops in the Baja California Peninsula, Mexico. *Plant Disease* 88(2): 221. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2004.88.2.221A>
- ICTV. 2021. International Committee on Taxonomy of Viruses. <https://talk.ictvonline.org>
- Idris AM and Brown JK. 2007. Sinaloa Tomato Leaf Curl Geminivirus: Biological and Molecular Evidence for a New Subgroup III Virus. *Virology*. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.1998.88.7.648>
- Jankiewicz U and Koltonowicz M. 2012. The involvement of *Pseudomonas* bacteria in Induced Systemic Resistance in Plants (Review). *Applied Biochemistry and Microbiology* 48(39):244-249.
- Jones RAC and Naidu RA. 2019. Global Dimensions of Plant Virus Diseases: Current Status and Future Perspectives. *Annual Review of Virology* 6:387-409. <https://doi.org/10.1146/annurev-virology-092818-015606>
- Kandan A, Commare RR, Nandakumar R, Ramiah M, Raguchander T and Samiyappan R. 2002. Induction of phenylpropanoid metabolism by *Pseudomonas fluorescens* against tomato spotted wilt virus in tomato. *Folia Microbiologica* 47:121–129. <https://doi.org/10.1007/bf02817669>
- Kandan A, Ramiah M, Vasanthi VJ, Radjacommare R, Nandakumar R, Ramanathan A, 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>
- Karthika S, Varghese S and Jisha MS. 2020. Exploring the efficacy of antagonistic rhizobacteria as native biocontrol agents against plant diseases. *3 Biotech* 10:320. <https://doi.org/10.1007/s13205-020-02306-1>
- Karthika S, Midhun SJ and Jisha MS. 2020. A potential antifungal and growth-promoting bacterium *Bacillus* sp. KTMA4 from tomato rhizosphere. *Microbial Pathogenesis* 8: 142: 104049. [10.1016/j.micpath.2020.10404](https://doi.org/10.1016/j.micpath.2020.10404)
- Kirankumar R, Jagadeesh KS, Krishnaraj PU and Patil MS. 2008. Enhanced growth promotion of tomato and nutrient uptake by plant growth-promoting rhizobacterial isolates in presence of *Tobacco mosaic virus* pathogen. *Karnataka Journal Agriculture Sciences* 21:309–311.
- Kloepper JW. 1993. Plant growth promoting rhizobacteria as *biological* control agents. In: Metting, F. B (ed) *Soil microbial ecology— applications in agricultural and environmental management*. Dekker, New York, pp 255–274.
- Kloepper 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>
- Kloepper JW, Tuzun S and Kuć JA. 1992. Proposed definitions related to induced disease resistance. *Biocontrol Science and Technology* 2:349-351. <https://doi.org/10.1080/09583159209355251>
- Lecoq H and Desbiez C. 2012. Viruses of Cucurbit Crops in the Mediterranean Region: An Ever-Changing Picture. In: Loebenstein G and Lecoq H (eds.) *Viruses and Virus Diseases of Vegetables in the Mediterranean Basin* 84: 67-126. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394314-9.00003-8>
- Li H, Ding X, Wang Ch, Ke H, Wu Z, Wang Y, Liu and H 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>
- Li, R. and Ling K. 2012. Molecular and biological characterization of *Mexican papita viroid*. *Tomato Disease Workshop*, 28 p.
- Li R, Gao S, Hernandez AG, Wechter WP, Fei Z and Ling KS. 2012. Deep Sequencing of Small RNAs in Tomato for Virus and Viroid Identification and Strain Differentiation. *Plos One*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0037127>
- Ling, K. and M. Bledsoe. 2009. First Report of *Mexican Papita Viroid* Infecting Greenhouse Tomato in Canada. *Plant Disease*, 93: 839.
- Ling KS and Zhang W. 2009. First Report of a Natural Infection by *Mexican Papita Viroid* and *Tomato Chlorotic Dwarf Viroid* on Greenhouse Tomatoes in Mexico. *Plant Disease*, 93: 1126.

- Liu Y, Schiff M and Dinesh KSP. 2004. Involvement of MEK1 MAPKK, NTF6 MAPK, WRKY/MYB transcription factors, COI1 and CTR1 in N-mediated resistance to tobacco mosaic virus. *The Plant Journal*.38(5):800-809.
- Lugo MOY, Guzmán UR, García ERS y León FJ. 2011. Geminivirus transmitidos por mosca blanca (*Bemisia tabaci*) en tomate del Valle Agrícola de Culiacán, Sinaloa. *Revista Mexicana de Fitopatología* 29:109-118. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmfi/v29n2/v29n2a3.pdf>
- Mackie EA, Barbetti JM, Rodoni B, McKirdy SJ and Jones ACR. 2019. Effects of a *Potato Spindle Tuber Viroid* Tomato Strain on the Symptoms, Biomass, and Yields of Classical Indicator and Currently Grown Potato and Tomato Cultivars. *Plant disease*. <https://doi.org/10.1094/PDIS-02-19-0312-RE>
- Maldonado-Cruz E, Ochoa-Martínez DL y Tlapal-Bolaños B. 2008. Efecto del ácido acetil salicílico y *Bacillus subtilis* en la infección causada por *Cucumber mosaic virus* en calabacita. *Revista Chapingo Serie horticultura* 14(1):55-59.
- Matthews-Berry S. 2010. Emerging viroid threats to UK tomato production. The Food and Environment Research Agency (Fera). *Plant disease Factsheet*, 5 p.
- Matsuura S, Matsushita Y, Kozuka Shimizu S and Tsuda S. 2010. Transmission of *Tomato chlorotic dwarf viroid* by bumblebees (*Bombus ignitus*) in tomato plants. *European Journal of Plant Pathology* 126: 111. <https://doi.org/10.1007/s10658-009-9515-2>
- Matsushita Y, Usugi T and Tsuda S. 2011. Distribution of *Tomato chlorotic dwarf viroid* in floral organs of tomato. *European Journal of Plant Pathology* 130(4): 441–447.
- Matsushita Y, Kanda A, Usugi T and Tsuda S. 2008. First report of a *Tomato chlorotic dwarf viroid* disease on tomato plants in Japan. *Journal of General Plant Pathology* 74: 182-184.
- Matsushita Y. and Kumar PKR. 2009. *In vitro* transcribed *Chrysanthemum stunt viroid* (CSVd) RNA is infectious to Chrysanthemum and other plants. *Phytopathology* 99: 58–66.
- Mauricio-Castillo JA, Argüello-Astorga GR, Ambriz-Granados S, Alpuche-Solís AG and Monreal-Vargas CT. 2007. First Report of *Tomato golden mottle virus* on *Lycopersicon esculentum* and *Solanum rostratum* in Mexico. *Plant Disease* 91(11): 1513. <https://doi.org/10.1094/PDIS-91-11-1513B>
- Mejorada-Cuellar BY, Zamora-Macorra EJ, Vilchis-Zimuta R and Zamora-Macorra M. 2020. Systemic acquired resistance to manage the *Mexican papita viroid* in tomato crop (*Solanum lycopersicum* L.). *Agroproductividad* 13(7): 75-80. <https://doi.org/10.32854/agrop.vi.1686>
- Méndez-Lozano J, Magallanes-Tapia MA, Romero-Romero JL, Camacho-Beltrán E, Orduño-Vega WL, Leyva-López NE, Santos-Cervantes ME and Félix-Gastélum R. 2012. Tomato infectious chlorosis virus Associated with Tomato Diseases in Baja California, Mexico. *Disease Notes* 96(8). <https://doi.org/10.1094/PDIS-02-12-0196-PDN>
- Mishra MD, Hammond RW, Owens RA, Smith DR and Diener TO. 1991. Indian bunchy top disease of tomato plants is caused by a distinct strain of *citrus exocortis viroid*. *Journal of General Virology* 72: 1781–1785.
- 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>
- Murphy JF, Zehnder GW, Schuster DJ, Sikora EJ, Polston JE and Kloepper JW. 2000. Plant growth-promoting rhizobacterial mediated protection in tomato against *Tomato mottle virus*. *Plant Disease* 84:779–784. <https://doi.org/10.1094/pdis.2000.84.7.779>
- Nagata T and de Ávila AC. 2000. Transmission of Chrysanthemum Stem Necrosis Virus, a Recently Discovered Tospovirus, by Two Thrips Species. *Phytopathology* 148: 123-125. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0434.2000.00475.x>
- Nasir MN, Polo LD, Luzuriaga LW, Deleu M, Lins L, Ongena M and Fauconnier ML. 2014. New alternatives to chemical pesticides: deciphering the action mechanisms of lipid-based plant elicitors via complementary biophysical and biological approaches. In: 19th National Symposium on Applied Biological Sciences. Gembloux, Bélgica. (<https://orbi.uliege.be/handle/2268/165417>).
- Nie X. 2012. Analysis of Sequence Polymorphism and Population Structure of Tomato chlorotic dwarf viroid and Potato spindle tuber viroid in Viroid-Infected Tomato Plants. *Viruses* 4(6):940-53. <https://doi.org/10.3390/v4060940>.
- Nielsen SL, Enkegaard A, Nicolaisen M, Kryger P, Viršček MM, Pleško IM, Kahrer A and Gottsberger RA. 2012. No transmission of *Potato spindle tuber viroid* shown in experiments with thrips (*Frankliniella occidentalis*, *Thrips tabaci*), honey bees (*Apis mellifera*) and bumblebees (*Bombus terrestris*). *European Journal Plant Pathology* 133: 505–509 <https://doi.org/10.1007/s10658-012-9937-0>

- Nixon T, Glover R, Mathews-Berry S, Daly ME, Hobden C, Lambourne V and Harju A. Skelton. 2010. *Columnnea latent viroid* (CLVd) in tomato: the first report in the United Kingdom. *Plant pathology* 59 (2): 392. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2009.02127.x>
- NSW (New South Wales) Government. 2012. Plant Biosecurity Orange. Exotic Pest Alert: *Potato Spindle Tuber Viroid* (PSTVd) in tomatoes. Department of primary Industries. Plant Biosecurity Primefact 1151: 4.
- Olmedo-Velarde A, Avijit R, Belanger CA, Watanabe S, Hamasaki RT, Mavrodieva V A, Nakhla MK and Melzer MJ. 2018. First report of Tomato chlorotic dwarf viroid infecting greenhouse tomato in Hawaii. Plant Disease “First Look” paper. <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-08-18-1401-PDN>
- Owens RA. 2007. *Potato spindle tuber viroid*: The simplicity paradox resolved? *Molecular Plant Pathology*, 8:549-560.
- Pérez-Moreno L, Rico-Jaramillo E, Sánchez-Palé JR, Ascencio-Ibáñez JT, Díaz-Plaza R y Rivera-Bustamante RF. 2004. Identificación de virus fitopatógenos en cultivos hortícolas de importancia económica en el estado de Guanajuato, México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 22:187-197. <https://www.redalyc.org/pdf/612/61222205.pdf>
- Pieterse CMJ, Zamioudis C, Berendsen RL, Weller DM, Van Wees SCM and Bakker PAHM. 2014. Induced Systemic Resistance by Beneficial Microbes. *Annual Review of Phytopathology* 52:347–75.
- Puchta H, Herold T, Verhoeven K, Roenhorst A, Ramm K, Schmidt-Puchta W and Sängler, HL. 1990. A new strain of *potato spindle tuber viroid* (PSTVd-N) exhibits major sequence differences as compared to all other PSTVd strains sequenced so far. *Plant Molecular Biology* 15: 509–511.
- 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): 109-117. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2023-1>
- Ramírez-Rojas S. 2006. Modelos para predecir rendimientos y pérdidas debido a daño de virus en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Tesis de doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. De México. 50 p.
- Raupach GS, Liu L, Murphy JF, Tuzun S and Kloepper JW. 1996. Induced systemic resistance in cucumber and tomato against *Cucumber mosaic cucumovirus* using plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR). *Plant Disease* 80:891–894. <https://doi.org/10.1094/pd-80-0891>
- Rojas A, Kvarnheden A, Marcenaro D and Valkonen JPT. 2005. Sequence characterization of Tomato leaf curl Sinaloa virus and Tomato severe leaf curl virus: Phylogeny of New World begomoviruses and detection of recombination. *Archives of Virology* 150: 1281-1299. [10.1007/s00705-005-0509-x](https://doi.org/10.1007/s00705-005-0509-x)
- Rojas MR, Acedo MA, Maliano MR, Soto-Aguilar M, Souza JO, Briddon RW, Kenyon L, Rivera-Bustamante RF, Murilo ZF, Adkins S, Legg JP, Kvarnheden A, Wintermantel WM, Sudarshana MR, Peterschmitt M, Lapidot M, Martin DP, Moriones E, Inoue-Nagata AK and Gilbertson RL. 2018. World management of Geminiviruses. *Annual Review of Phytopathology* 65:637-677. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto080615-10032>
- Ryals J, Uknes S and Ward E. 1994. Systemic acquired resistance. *Plant Physiology*. 104:1109–Rivarez MPS, Vučurović A, Mehle N, Ravnikar M and Kutnjak D. 2021. Global Advances in Tomato Virome Research: Current Status and the Impact of High-Throughput Sequencing. *Frontier Microbiology* 12:671925. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.671925>
- Sabanadzovic S, Valverde RA, Brown JK, Manrtin RR and Tzanetakis IE. 2009. Southern tomato virus: The link between the families Totiviridae and Partitiviridae. *Virus Research* 140(1-2): 130-137. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2008.11.018>
- 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.
- Sánchez-del Castillo, F.E., Moreno-Pérez C., Cruz-Arellanes, E.L. 2009. Producción de jitomate hidropónico bajo invernadero en un sistema de dosel en forma de escalera. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 15:67-73.
- Sastry KS. 2013a. Seed-borne Plant Virus Diseases. Springer. India. 317 p. <https://doi.org/10.1007/978-81-322-0813-6>
- Sastry KS. 2013b. Plant Virus and Viroid Diseases in the Tropics. Introduction of Plant Viruses and Sub-Viral Agents, Classification, Assessment of Loss, Transmission and Diagnosis. Vol. I. Springer <https://doi.org/10.1007/978-94-007-6524-5>
- Savary S, Willocquet L, Pethybridge S, Esker J, McRoberts P and Nelson A. 2019. The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nature Ecology & evolution* 3(3): 430-439. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0793-y>

- Singh RP and Teixeira da Silva JA. 2006. Ornamental plants: Silent carrier of evolving viroids. In: J. A. Teixeira da Silva (ed.), Floriculture, ornamental and plant biotechnology, 3: 531–539.
- Singh RP, Xianzhou N and Singh M. 1999. Tomato chlorotic dwarf viroid: An evolutionary link in the origin of pospiviroids. Journal of General Virology, 80: 2823–2828.
- Singh RP, Ready KFM and Nie X. 2003. Part II. Biology. In ‘Viroids’. (Eds A Hadidi, R Flores, JW Randies, JS Semancik) pp. 30–48. (CSIRO Publishing: Australia).
- Singh RP and Dilworth DA. 2009. *Tomato chlorotic dwarf viroid* in the ornamental plant *Vinca minor* and its transmission through tomato seed. European Journal of Plant Pathology, 123(1), 111–116.
- Sofy AR, Sofy MR, Hmed AA and El-Dougdoug K. 2019. Potential Effect of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) on Enhancing Protection Against Viral Diseases. In: Maheshwari, D. K. and Dheeman, S. (eds). Field Crops: Sustainable Management by PGPR. Springer. pp 411-445.
- Suganyadevi M, Manoranjitham SK, Senthil N, Raveendran M and Karthikeyan G. 2018. Prevalence of Bud Blight of Tomato Caused by *Groundnut bud necrosis virus* in Tamil Nadu, India. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 7(11): 734-742. e <https://doi.org/10.20546/ijemas.2018.711.088>
- Sharaf ASAS, Taheri H, Ghodoum PMH A and Soleymani F. 2023. Molecular and phenotypic Responses of Rhizobacteria-Treated tomato plants to *Tomato mosaic virus* under greenhouse conditions. Iran Journal Biotechnology 21(1): e3220. <https://doi.org/10.30498/ijb.2022.319382.3220>
- Shirasu K, Nakajima H, Rajasekhar VK, Dixon RA and Lamb C. 1997. Salicylic acid potentiates an agonist-dependent gain control that amplifies pathogen signals in the activation of defense mechanisms. Plant Cell 9:261-270. <https://doi.org/10.1105/tpc.9.2.261>
- Scholthof KBG, Adkins S, Czosnek H, Palukaitis P, Jacquot E, Honh T, Hohn B, Saunders K, Candresse T, Ahlquist P, Hemenway C and Foster GD. 2011. Top 10 plant viruses in molecular plant pathology. Molecular Plant Pathology 12(9): 938-954. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2011.00752.x>
- Steyer S, Olivier T, Skelton A, Nixon T and Hobden E. 2010. *Columnea latent viroid* (CLVd): first report in tomato in France. Plant pathology 59 (4): 794. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02261.x>
- Taniguchi M, Sekine KT and Koeda. 2023. Lisianthus enation leaf curl virus, a begomovirus new to Japan, is more virulent than the prevalent tomato yellow leaf curl virus in Ty-gene-mediated resistant tomato cultivars. Journal of General Plant Pathology 89:35-46. <https://doi.org/10.1007/s10327-022-01101-5>
- van Brunschot SL, Verhoeven JThJ, Persley DM, Geering ADW, Drenth A and Thomas JE. 2014. An outbreak of Potato spindle tuber viroid in tomato is linked to imported seed Eur J Plant Pathol. <https://doi.org/10.1007/s10658-014-0379-8>
- Vanthana M, Nakkeeran S, Malathi VG, Renukadevi P and Vinodkumar S. 2019. Induction of in planta resistance by flagellin (*Flg*) and elongation factor-TU (*EF-Tu*) of *Bacillus amyloliquefaciens* (VB7) against groundnut bud necrosis virus in tomato. Microbial Pathogenesis 137: 103757
- Verhoeven JThJ, Jansen CCC, Willemsen TM, Kox LFF, Owens RA and Roenhorst JW. 2004. Natural infections of tomato by *Citrus exocortis viroid*, *Columnea latent viroid*, *Potato spindle tuber viroid* and *Tomato chlorotic dwarf viroid*. European Journal of Plant Pathology, 110: 823–831,
- Verhoeven JThJ, Jansen CCC, Roenhorst JW, Flores R and de la Peña M. 2009. *Pepper chat fruit viroid*: Biological and molecular properties of a proposed new species of the genus Pospiviroid. Virus Research 144(1–2): 209-214. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2009.05.002>
- Verhoeven JThJ, Botermans M, Meekes ET, Meekes M and Roenhorst JW. 2012. *Tomato apical stunt viroid* in the Netherlands: most prevalent pospiviroid in ornamentals and first outbreak in tomatoes. Eur J Plant Pathol 133, 803–810 <https://doi.org/10.1007/s10658-012-0005-6>
- Verhoeven J Th J, J W Roenhorst, Owens, R. A. 2011. Mexican papita viroid and tomato planta macho viroid belong to a single species in the genus Pospiviroid. Archives of Virology 156(8):1433-7. [10.1007/s00705-011-0975-2](https://doi.org/10.1007/s00705-011-0975-2)
- Verhoeven JT, Jansen JCC, Willemsen TM, Kox LFF, Owens RA and Roenhorst JW. 2004. Natural infections of tomato by *Citrus exocortis viroid*, *Columnea latent viroid*, *Potato spindle tuber viroid* and *Tomato chlorotic dwarf viroid*. European Journal of Plant Pathology 110: 823-831

- Verbeek M, Dulleman AM, van den Heuvel JFJM, Marris PC and van der Vlugt RAA. 2008. *Tomato marchitez virus*, a new plant picorna-like virus from tomato related to tomato torrado virus. *Archives of Virology* 153(1): 127-134. 10.1007/s00705-007-1076-0
- Vessey J K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*. 255:571–586. <https://doi.org/10.1023/a:1026037216893>
- Walter B. 1987. Tomato apical stunt. pp. 321-327. *In*: Diener, T.O. (ed.). *The Viroids*. Plenum Press, New York, USA.
- Walter B, Thouvenal JC and Fauquet C. 1980. Les virus de la tomate en Cote d'Ivoire. *Annales de Phytopathologie* 12: 259–275.
- Walters D. 2009. Are plants in the field already induced? Implications for practical disease control. *Crop Protection*. 28: 459-465.
- 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>
- Yanagisawa H and Matsushita Y. 2017. Host ranges and seed transmission of *Tomato planta macho viroid* and *Pepper chat fruit viroid*. *European Journal of Plant Pathology* 149:211–217. <https://doi.org/10.1007/s10658-017-1160-6>.
- Yanagisawa H and Matsushita Y. 2018. Differences in dynamics of horizontal transmission of *Tomato planta macho viroid* and *Potato spindle tuber viroid* after pollination with viroid-infected pollen. *Virology* 516: 258-264.
- Zehnder GW, Murphy JF, Sikora EJ, Kloepper JW. 2001. Application of rhizobacteria for induced resistance. *European Journal of Plant Pathology* 107:39–50. <https://doi.org/10.1023/a:1008732400383>
- Zehnder GW, Yao C, Murphy JF, Sikora ER and Kloepper JW. 2000. Induction of resistance in tomato against *Cucumber mosaic cucumovirus* by plant growth-promoting rhizobacteria. *Biocontrol* 45:127–137. <https://doi.org/10.1023/a:1009923702103>
- Zuñiga-Romano MC, Ochoa-Martínez DL, Rojas-Martínez RI and Zamora-Macorra EJ. 2019. Identification of begomoviruses in tomato and determination of seed transmission in Atlacomulco, Mexico State. *Mexican Journal of Phytopathology* 37(2): 279-286. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1902-2>
- Zhu L, Li Y, Li L, Yang J and Zhang M. 2011. Ethylene is involved in leafy mustard systemic resistance to Turnip mosaic virus infection through the mitochondrial alternative oxidase pathway. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 76(3-4):166-172