

La marchitez de la zarzamora

Diagnóstico, Epidemiología y Manejo Integrado



Ángel Rebollar Alviter

Hilda V. Silva Rojas

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

La marchitez de la zarzamora

Diagnóstico, Epidemiología y Manejo Integrado

La marchitez de la zarzamora

Diagnóstico, Epidemiología y Manejo Integrado

Ángel Rebollar Alviter

Hilda V. Silva Rojas

LA MARCHITEZ DE LA ZARZAMORA

DIGANÓSTICO, EPIDEMIOLOGÍA Y MANEJO INTEGRADO

© UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

km 38.5 Carretera México-Texcoco Chapingo, Estado de México C.P. 56230 Teléfono: 01
(595) 95 2 15 00 ext. 5142 y 5306 correo electrónico: publicaciones@correo.chapingo.mx;
arebollara@taurus.chapingo.mx

Primera edición, mayo del 2019

ISBN: *en trámite*

Prefacio

El objetivo de este documento es resumir los resultados de investigaciones desarrolladas en la Universidad Autónoma Chapingo-Centro Regional Morelia en torno al Diagnóstico, Epidemiología y Manejo Integrado de la marchitez de la zarzamora en el estado de Michoacán y poner a disposición de los productores, técnicos, investigadores, comercializadores y funcionarios relacionados con la sanidad vegetal la información y experiencia adquirida en torno a esta enfermedad. Los proyectos de investigación han sido financiados a través de fondos públicos provenientes de diferentes convocatorias de la COFUPRO y Fundación Produce Michoacán, así como el Fondo Sectorial SAGARPA (SADER)-CONACYT y de la Universidad Autónoma Chapingo a través de la Dirección General de Investigación y Posgrado (DGIP). En su mayor parte la información aquí resumida, es resultado de subproyectos de investigación en temas específicos que resultaron en tesis de licenciatura y posgrado que posteriormente se difunden como artículos científicos dirigidos a la comunidad científica. Sin embargo, como principio que rige nuestra línea de investigación, buscamos poner disponible los resultados de nuestros proyectos lo antes posible al usuario final para generar alternativas concretas que contribuyan a la solución de problemas en especial de aquellos de gran impacto económico y social, como el que aquí se aborda, el cual ha impactado a una de las regiones más importantes en la producción de zarzamora a nivel mundial. En síntesis, la integración de los diferentes temas investigados en cinco años de estudios en torno a la marchitez de la zarzamora, busca responder a preguntas concretas de los productores y técnicos, entre estas: ¿Cómo se reconoce la enfermedad?, ¿Cuál es agente causal de la enfermedad? ¿Qué factores bióticos y abióticos favorecen su desarrollo?, ¿Cómo se dispersa el patógeno?, ¿Qué factores influyen en el patógeno y el cultivo? ¿Qué alternativas de manejo existen y cómo se integran en un plan de manejo a lo largo de la temporada?, ¿Qué fundamentos son necesarios para la integración de tecnologías para su manejo?. Estas y otras interrogantes se han tratado de contestar tomando como eje central los principios epidemiológicos que rigen el estudio de las enfermedades de plantas para diseñar estrategias de manejo integrado de la enfermedad.

Como un objetivo adicional, se busca promover entre los técnicos, productores y todos los actores relacionados directamente con el cultivo, una visión integral en la toma de decisiones, que se base en información sustentada y en el conocimiento del problema. Al mismo tiempo se espera que los resultados aquí presentados sienten las bases para la implementación de una política pública por parte de la autoridad fitosanitaria y las asociaciones de empaques de berries que promueva un manejo integral de estos cultivos con una visión sostenible, con la generación de conocimiento en torno al cultivo y la promoción entre los productores de los beneficios económicos y sociales de realizar investigación científica que les beneficie en la toma de decisiones en el manejo del cultivo.

Esperamos que para los usuarios, este documento sirva como modelo de generación de información científica centrada en la búsqueda de soluciones concretas a un problema local de gran impacto socioeconómico, que no solo parte del diagnóstico del problema, sino que busca generar la información básica necesaria para ofrecer alternativas de manejo integrado concretas y factibles de aplicarse con la intención de brindar al productor opciones ante un problema difícil de control y que demanda un enfoque diferente.

Sabemos que hace falta mucho por hacer en torno al origen y solución de problemas de gran impacto en estos cultivos, pero con esta publicación buscamos transferir a los productores y técnicos interesados parte de los resultados y experiencias obtenidas en este proceso de investigación en buscar alternativas de manejo con enfoque integral.

Agradecimientos

La información presentada en este documento no habría sido posible sin la colaboración de estudiantes ya sea directamente a través de aceptar desarrollar una parte del proyecto en su tema de tesis de licenciatura o posgrado o mediante la colaboración directa en la adquisición de información y obtención de datos de campo y laboratorio. A continuación se enlistan los estudiantes y colaboradores que participaron en las investigaciones relacionadas con la marchitez de la zarzamora: Ángel Hernández-Cruz, Abel Saldivia Tejeda, Uriel Acosta González, Jesús Hernández Castrejón, Rodrigo Izquierdo Gutiérrez, Erik Pérez Ayala, Humberto Carrasco Meraz, Luis Ángel Zamacona Corona y Rigoberto Castro Sosa.

Asimismo, agradecer ampliamente la colaboración de otros investigadores que directa o indirectamente han contribuido con sus opiniones y sugerencias durante el curso de las investigaciones que dan sustento a este documento, entre ellos a la Dra. Hilda Victoria Silva Rojas por su apoyo en los estudios de identificación molecular de *Fusarium oxysporum*, al Dr. Joel Pineda y el Dr. Prometeo Sánchez García por su sugerencias y valiosas opiniones en los aspectos relacionados con la influencia del estado nutrimental del suelo en el desarrollo de la enfermedad.

De manera muy importante, agradecer a la Sra. Alma Rosa Chávez por su continua colaboración para permitarnos realizar investigación, evaluar y validar los resultados de investigación en sus parcelas comerciales, no solo en este, sino en otros múltiples proyectos desarrollados en los últimos 15 años. Los resultados ahí obtenidos han derivado en beneficios económicos significativos para los productores de zarzamora y la industria de berries en general, no solo en la zona productora de Los Reyes- Peribán, sino también en otras zonas de Michoacán, Jalisco, Guanajuato, Baja California y otros estados del país. Su gran disposición y apertura para validar los programas de manejo integrado de la marchitez de la zarzamora más efectiva de manera comercial, ha sido de gran ayuda para difundir la información entre los productores de zarzamora en Los Reyes, Michoacán.

Finalmente, agradecer a todos los productores de zarzamora y a las empresas comercializadoras que durante años nos han permitido el acceso a sus parcelas y brindarnos su confianza para realizar muestreos y evaluaciones del nivel de incidencia de la enfermedad y otros estudios en la línea de investigación en fitosanidad de berries en la Universidad Autónoma Chapingo.

CONTENIDO

1. Introducción.....	10
2. Reconocimiento de la enfermedad.....	10
2.1 Síntomas.....	10
2.2 Distribución.....	13
3. Bases epidemiológicas para el manejo de la marchitez de la zarzamora	
3.1 Principios.....	14
3.2 El papel del patógeno en el desarrollo de la enfermedad.....	17
3.3 El papel del hospedante en el desarrollo de la enfermedad.....	22
3.4 El papel del ambiente en el desarrollo de la enfermedad.....	24
3.5 El papel del humano en el desarrollo de la enfermedad	26
3.6 Progreso de la enfermedad.....	28
4. Manejo integrado de la marchitez de la zarzamora	
4.1 Efecto de herramientas específicas en el desarrollo de la enfermedad.....	30
4.2 Manejo de la enfermedad en plantaciones establecidas	36
4.3 Sugerencias para el manejo sostenible de la enfermedad en nuevas plantaciones.....	40
4.4. Recomendaciones generales para el manejo integral de la enfermedad a nivel regional	42
5. Referencias selectas.....	48

1. INTRODUCCIÓN

La marchitez de la zarzamora (*Rubus* sp.) es una enfermedad causada por el hongo *Fusarium oxysporum*. Los primeros síntomas y daños de importancia económica se detectaron entre años 2011 y 2012 en Los Reyes, Michoacán, pero actualmente se distribuye en varios municipios productores de zarzamora en este estado y con menor frecuencia en el estado de Jalisco y Baja California. La enfermedad es más común en áreas en las cuales se han establecido plantaciones a partir de material vegetativo obtenido de viveros infestados que a su vez usaron raíz proveniente de plantaciones con síntomas de la enfermedad. Aunque los síntomas son más severos en la variedad ‘Tupy’, también los materiales privados han sido fuertemente afectados, sin que se conozcan hasta ahora variedades resistentes. Se estima que a hasta la fecha, se han perdido 2500 ha tan solo en la zona productora del valle de Los Reyes, Michoacán, pero las pérdidas podrían ser mayores a las 3000 ha si se agregan las pérdidas en otras regiones productoras. Ante esta situación cultivos como el higo están empezando a establecerse como una alternativa.

2. RECONOCIMIENTO DE LA ENFERMEDAD

Síntomas. En plantas en desarrollo vegetativo los primeros síntomas se manifiestan como una flacidez de los brotes, acompañado con un ligero cambio de color que posteriormente deriva en flacidez y secamiento de la planta. Una inspección de la base del tallo, evidenciará la presencia de una franja café oscuro que se extiende de abajo hacia arriba generalmente en un lado del tallo. Estos síntomas generalmente se presentan entre los 30 a 45 días después del establecimiento o de la poda a ras, aunque este período puede variar en función de la variedad, de la agresividad del aislamiento del hongo y del ambiente prevaleciente en la zona de producción.



Figura 1. Síntomas iniciales de la marchitez de la zarzamora en plantas en desarrollo.

En plantas desarrolladas previo o posterior a la defoliación se presenta un amarillamiento progresivo de abajo hacia arriba, igualmente con la presencia de la franja café oscuro que inicia generalmente entre los 5 a 10 cm del nivel del suelo y que incluso puede llegar a la parte superior de la planta. En esta parte, los brotes adquieren un color verde pálido se ponen flácidos, se doblan y posteriormente se secan. Las hojas más bajas van adquiriendo un color amarillo intenso que inicia generalmente en el borde, pero en una sola parte de la hoja, posteriormente cubre el total de la lámina foliar hasta que se seca en su totalidad. Una

inspección cercana también evidenciará la presencia de necrosis en la base del pecíolo de la hoja, lo que deriva al final en flacidez. Este amarillamiento, flacidez y necrosis de las hojas avanza hacia arriba de la caña culmina en marchitez y secamiento de todo el tallo afectado. Estos daños pueden ocurrir inicialmente en un tallo, pero rápidamente se extiende a los demás tallos de la planta madre. Con el tiempo, debido a los daños en las raíces y corona, esta va perdiendo su capacidad de brotar, emitiendo brotes pequeños y débiles que son poco productivos, hasta que la planta madre muere. Al realizar la disección de los tallos afectados, es posible observar una decoloración que deriva en una tonalidad café clara o marrón del sistema vascular (Fig. 3).

Los daños descritos se intensifican y son más evidentes a partir de la defoliación, período en el cual, incluso los tallos laterales fructificantes (cargadores) muestran una flacidez en poco tiempo. Como consecuencia se observan secciones de terreno que avanzan de manera lineal o en manchones hasta que grandes áreas de la parcela desaparecen siendo incosteable su sostenimiento.



Figura 2. Síntomas de secamiento de la zarzamora en una parcela comercial afectada por la enfermedad.

Distribución. Los primeros síntomas de la enfermedad se observaron a partir del 2009- 2010, pero fue a partir del 2011 que llamó la atención de los productores por la observación de áreas de cultivo con síntomas severos y secamiento de grandes áreas en el interior de las

parcelas en el Valle de Los Reyes, Michoacán, zona en la que se ha presentado con mayor intensidad. Asimismo, se ha confirmado en otros municipios de Michoacán como Tacámbaro, Ario de Rosales y en general en nuevas plantaciones que se han establecido a partir de planta que se ha adquirido en la zona de Los Reyes, Michoacán. Adicionalmente, en los últimos años los síntomas se han observado en la zona productora de berries en Baja California y en el sur de Jalisco.



Figura 3. Aspecto de un tallo de zarzamora afectado por la marchitez (A), corte longitudinal (B) y transversal (C y D) del tallo mostrando necrosis del sistema vascular.

3. BASES EPIDEMIOLÓGICAS PARA EL MANEJO DE LA ENFERMEDAD

3.1 Principios. Al analizar los componentes que dan origen a la enfermedad, contamos con los elementos que permiten diseñar estrategias más efectivas a nivel parcela, o regional, para el manejo de las enfermedades. La epidemiología agrícola es la ciencia que sienta las bases para el manejo de las enfermedades de las plantas y proporciona los principios para la integración de las herramientas de una manera ordenada en torno al **cultivo**. También

considera la información del **patógeno** con relación a la biología, diversidad, ecología, mecanismos de dispersión y diversos factores que favorecen su reproducción y desarrollo. Otro componente importante en el desarrollo de las enfermedades es el **ambiente**, el cual incluyen no solo las variables ambientales como la temperatura, humedad relativa, radiación etc., si no también, variables edáficas que tienen que ver con el tipo de suelo y sus propiedades químicas, físicas y biológicas, incluyendo la diversidad y abundancia de microorganismos, indicador clave de la salud del mismo y que influye directamente en el desarrollo de las plantas.

La interacción de estos factores, las prácticas y las decisiones que toma el productor para el manejo del cultivo a lo largo del tiempo, influyen en la presencia e intensidad de las enfermedades, las cuales se van a manifestar a diferentes escalas espaciales, desde la planta, la parcela, a nivel regional, e incluso más allá del nivel regional. Por ejemplo algunas prácticas en las que el productor influye en el desarrollo de enfermedades están las prácticas de poda por la apertura de heridas en las plantas, la inducción de estrés abiótico por falta de riego, exceso o carencia de algunos elementos nutrimentales, etc. La comprensión de estos y otros factores influyen en las prácticas para el establecimiento de estrategias desde el nivel parcela hasta una región. A nivel regional o más allá, las instancias de gobierno relacionadas con la sanidad vegetal, tienen un papel importante en la definición de políticas públicas dirigidas a contener o controlar el avance de un problema fitosanitario a escalas espaciales mayores.



Figura 4. Componentes epidemiológicos básicos que participan en el desarrollo de una enfermedad: El paradigma del triángulo de la enfermedad.

Los componentes anteriores conforman el triángulo o tetraedro de la enfermedad (Fig. 4). En este modelo o paradigma, cada uno de los elementos juega un papel relevante en el desarrollo de las enfermedades, comprender el papel de cada uno de ellos y su interacción nos permite definir estrategias de manejo de dichas enfermedades en cualquier sistema agrícola. De hecho, este modelo ha sido objeto de análisis más complejos, en los que, además el tiempo y las actividades del ser humano considerado como el cuarto componente, influyen directa o indirectamente en el desarrollo de las enfermedades. En este sentido, dependiendo de la importancia que ejerza cada uno de los elementos, el triángulo o tetraedro, puede tomar diferentes formas que pueden cambiar a medida que pasa el tiempo.

A continuación resumiremos los resultados de investigación desarrollados entorno al estado del conocimiento de la marchitez de la zarzamora y sus componentes epidemiológicos con el fin de sentar las bases para una propuesta de manejo integrado en sistemas convencionales

y orgánicos no solo a nivel parcela, sino también que brinde los elementos para sustentar un plan de manejo regional de la enfermedad.

3.2. El papel del patógeno en el desarrollo de la enfermedad

Los estudios realizados en los últimos cinco años en la Universidad Autónoma Chapingo en Morelia, Michoacán evidenciaron que el agente causal de la enfermedad es el hongo *Fusarium oxysporum* (Fox). Los aislamientos obtenidos de zarzamora forman parte del complejo de especies del mismo nombre. Estudios filogenéticos recientes indican que estos aislamientos son similares a un aislamiento reportado como *Fusarium oxysporum* f sp. *mori* obtenido de Michoacán (Pastrana et al., 2017), agregados todos en un nuevo linaje cercano a *F. cugenangense* (Hernández-Cruz et al. no publicado). También, se ha determinado que este hongo tiene la habilidad de transferir genes de patogenicidad de manera horizontal entre cepas patogénicas y no patogénicas resultando en nuevos linajes patogénicos (Rep y Kistler, 2010; Vlaardingerbroek et al., 2016). El surgimiento de estas cepas patogénicas primeramente en la zona de Los Reyes, Mich. podría ser explicado por este fenómeno, pero es necesario realizar estudios de la estructura de poblacional de este patógeno en el cultivo de zarzamora.

Fusarium oxysporum es un hongo que habita y sobrevive en el suelo por varias décadas a través de estructuras conocidas como clamidosporas, conidios y micelio correspondientes solamente al estado asexual (Fig. 5) a la fecha aún no se han encontrado estructuras del hongo que correspondan al estado sexual en ninguno de los hospedantes afectados por este patógeno. La infección de *F. oxysporum* se puede iniciar vía raíces a medida que las plantas desarrollan nuevos pelos radicales, o bien a través de heridas hechas durante las labores culturales. Uno de los procesos por los cuales se produce el marchitamiento por *Fusarium* se debe al bloqueo en los tallos de los haces vasculares por el desarrollo del hongo, la formación de calosa y el vaciado de las células adyacentes al xilema, por lo que se limita el transporte de agua y nutrientes a la parte superior de la planta. Otro de los procesos se refiere a la producción de toxinas que interfieren con las funciones básicas de la planta (Agrios, 2005).

Estos daños se manifiestan como marchitamientos y amarillamiento progresivos que culminan en secamiento de hojas y posteriormente la muerte de la planta.

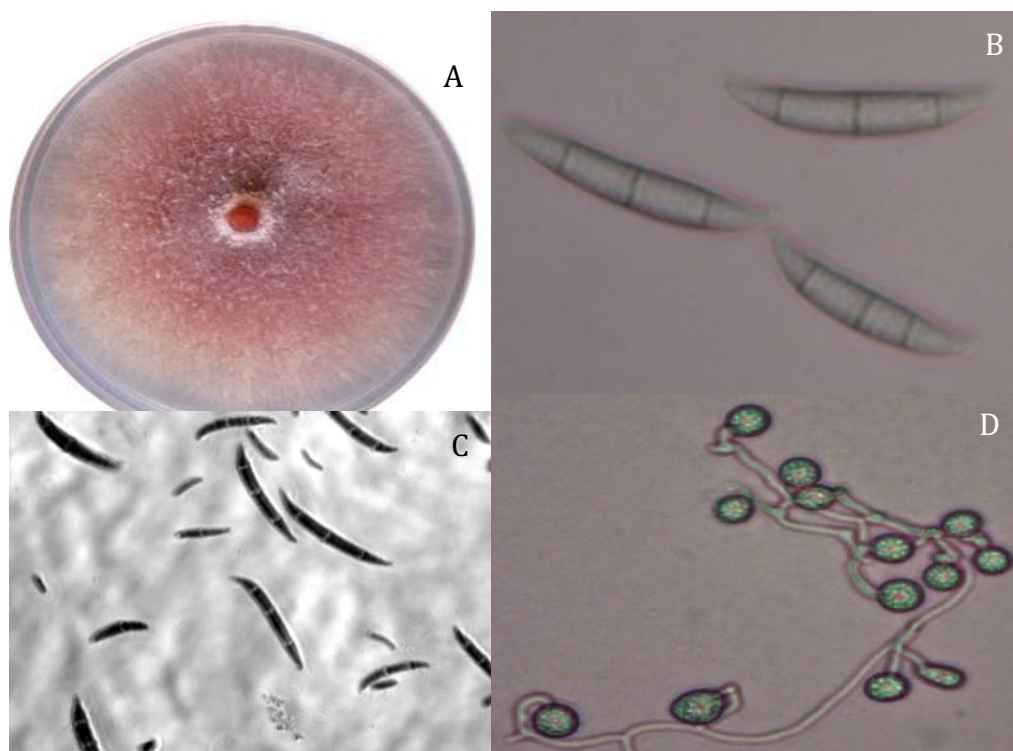


Figura 5. Crecimiento micelial (A), conidios (B y C) y clamidosporas (D) de *Fusarium oxysporum* aislado de zarzamora en Los Reyes, Michoacán.

El hongo se dispersa principalmente por movimiento del suelo, agua, herramientas, calzado, residuos de poda e incluso por el viento a partir de la producción de conidios sobre material en descomposición proveniente de las podas y en condiciones de alta humedad (Fig. 6). Esta capacidad de esporular externamente en tejido afectado, representa un mecanismo importante de dispersión de parcelas infectadas con deficiente manejo cultural (mal manejo de residuos de poda, riego rodado) hacia parcelas sin presencia de la enfermedad durante los períodos de mayor humedad en el ambiente. Estos conidios pueden ser monitoreados por medio de trampas de conidios, algunos de ellos disponibles comercialmente para determinar el tiempo de mayor carga de inóculo en el viento, en relación a las condiciones ambientales y el desarrollo fenológico del cultivo. Esta carga de inóculo puede asociarse al riesgo de presencia

de la enfermedad. Sin embargo es importante dejar claro que la sola presencia del patógeno, no necesariamente significa la aparición de la enfermedad, pues otros factores relacionados con el patógeno, la planta y el ambiente determinarán si se da o no el proceso infeccioso.

Un aspecto que está claramente definido es que la dispersión transmisión a largas distancias se da principalmente a través de plantas infectadas (asintomáticas) proveniente de viveros locales en los cuales se usa material propagativo derivado de parcelas con presencia del patógeno o que han sido severamente afectadas por la enfermedad (Fig. 7). El agua, aunque es un medio efectivo para la dispersión de los conidios a partir de parcelas con presencia de la enfermedad, no parece ser la principal fuente de infección en el valle de Los Reyes, Michoacán, con base en más de 70 análisis de suelo realizados en la zona. De ahí que, el uso de equipos generadores de ozono dirigidos a la desinfestación del agua de riego podría no ser efectivo, si no se consideran los otros mecanismos de dispersión del patógeno.



Figura 6. Esporulaci3n de *Fusarium oxysporum* sobre tejido de zarzamora en la base de un tallo sintom3tico bajo condiciones de alta humedad relativa. Planta de zarzamora localizada cerca de las estacas del macrot3nel en temporada de lluvia.

Una de las interrogantes que surge entre los t3cnicos y productores es la relaci3n de la densidad de in3culo en el suelo y el riesgo de la presencia de la enfermedad. Al respecto, a3n no est3 clara esta relaci3n de manera experimental, pero estudios preliminares realizados a partir de datos obtenidos de un an3lisis regional de la densidad de in3culo y su relaci3n con la severidad e incidencia, se determin3 que una densidad entre 100 y 1000 UFC (unidades formadoras de colonia) por gramo de suelo se asoci3 con incidencias (presencia de s3ntomas) hasta del 70%. Sin embargo, parcelas con niveles de in3culo menores a este rango se han observado con presencia de la enfermedad. Por lo que es probable que el inicio del proceso de infecci3n requiera una menor cantidad de in3culo, adem3s de otros factores adicionales a

la densidad de inóculo, como la agresividad del patógeno, su potencial y su eficiencia, influyen la intensidad de la enfermedad, de ahí la necesidad de realizar estudios en condiciones controladas para brindar información más concreta a los productores para la toma de decisiones en el establecimiento de nuevas plantaciones, y en general para el manejo de la enfermedad.



Figura 7. Producción de planta de zaramora en viveros. Fuentes de infección primaria para nuevas plantaciones y dispersión de *Fusarium oxysporum* a otras zonas de cultivo.

Como se indica más abajo, los aislamientos de *F. oxysporum* obtenidos de la zona de Los Reyes, Michoacán, son específicos para zaramora. Además, nuestros estudios, evidenciaron que existe gran variabilidad patogénica, pues de 60 aislamientos inoculados en plantas de zaramora variedad ‘Tupy’, en promedio las plantas murieron a los 43 días después de la inoculación, pero hubo aislamientos que causaron marchitez a los 25 días y otros a los 50 días de haberse inoculado (Fig. 8). Este periodo fue muy similar al tiempo que ocurre de la poda a ras a la aparición de los síntomas de la enfermedad en campo. Lo anterior sugiere que

en plantaciones establecidas, las acciones de manejo de la enfermedad debe iniciar en los primeros días después de la poda a ras y no posteriormente.



Figura 8. Estudios de variabilidad patogénica de *Fusarium oxysporum* en condiciones de invernadero en zarzamora variedad ‘Tupy’. A) Plantas de zarzamora ‘Tupy’ inoculadas con aislamientos de *F. oxysporum*; B) Síntomas desarrollados en plantas inoculadas en condiciones de invernadero.

3.3. El papel del hospedante en el desarrollo de la enfermedad

La enfermedad es más severa en la variedad ‘Tupy’, sin embargo, también se presenta en variedades privadas, aunque aparentemente algunas tienden a ser más tolerantes en campo, dependiendo del manejo del cultivo y de los factores que influyen en el desarrollo de la enfermedad. Dada la variabilidad genética del patógeno, es probable que la tolerancia o resistencia de algunas de las variedades privadas no dure por periodos largos, por lo que es probable que sea necesario cambiar de variedad en un período de 4 a 6 años. Al respecto no se cuenta con información suficiente y cualquier sugerencia aquí es especulativa en función de las características del patógeno. Es recomendable que las empresas que cuentan con programas de mejoramiento genético también consideren la resistencia a patógenos primarios como *F. oxysporum*. Para lo anterior, es necesario contar con la mayor variabilidad posible de aislamientos de este hongo para conocer la respuesta de los materiales estos aislamientos. Para ello, es necesario un trabajo coordinado entre los mejoradores y los fitopatólogos.

De manera visual, se ha visto que la variedad ‘Brazos’ sobrevive en campos altamente infestados por *F. oxysporum*, pero no se han realizado estudios para corroborar dichas observaciones. De serlo, esta variedad podría ser una fuente potencial de resistencia para la generación de nuevas variedades de zarzamora.

Por otro lado, en estudios realizados con el objetivo de conocer el rango de hospedantes (Fig. 9), se determinó en pruebas realizadas en condiciones de invernadero que los aislamientos del *F. oxysporum* causante de la marchitez de zarzamoras en la zona de Los Reyes, Michoacán solo afectan plantas de zarzamora y no a la fresa, frambuesa, chile y tomate. Dichos resultados evidenciaron que los aislamientos provenientes de la zona de Los Reyes, solo afectaban a la zarzamora. De manera paralela con base en estudios similares realizados en la Universidad de California, Davis en Estados Unidos, Pastrana et al. (2017) propusieron una nueva forma especial conocida *Fusarium oxysporum* f. sp. *mori*. Los resultados anteriores sugieren que la rotación de cultivos es una estrategia recomendable en el manejo integral de la enfermedad. De hecho productores que han establecido plantaciones de frambuesa en parcelas con epidemias de marchitez de la zarzamora no han mostrado síntomas, lo que sugiere la viabilidad de esta práctica.

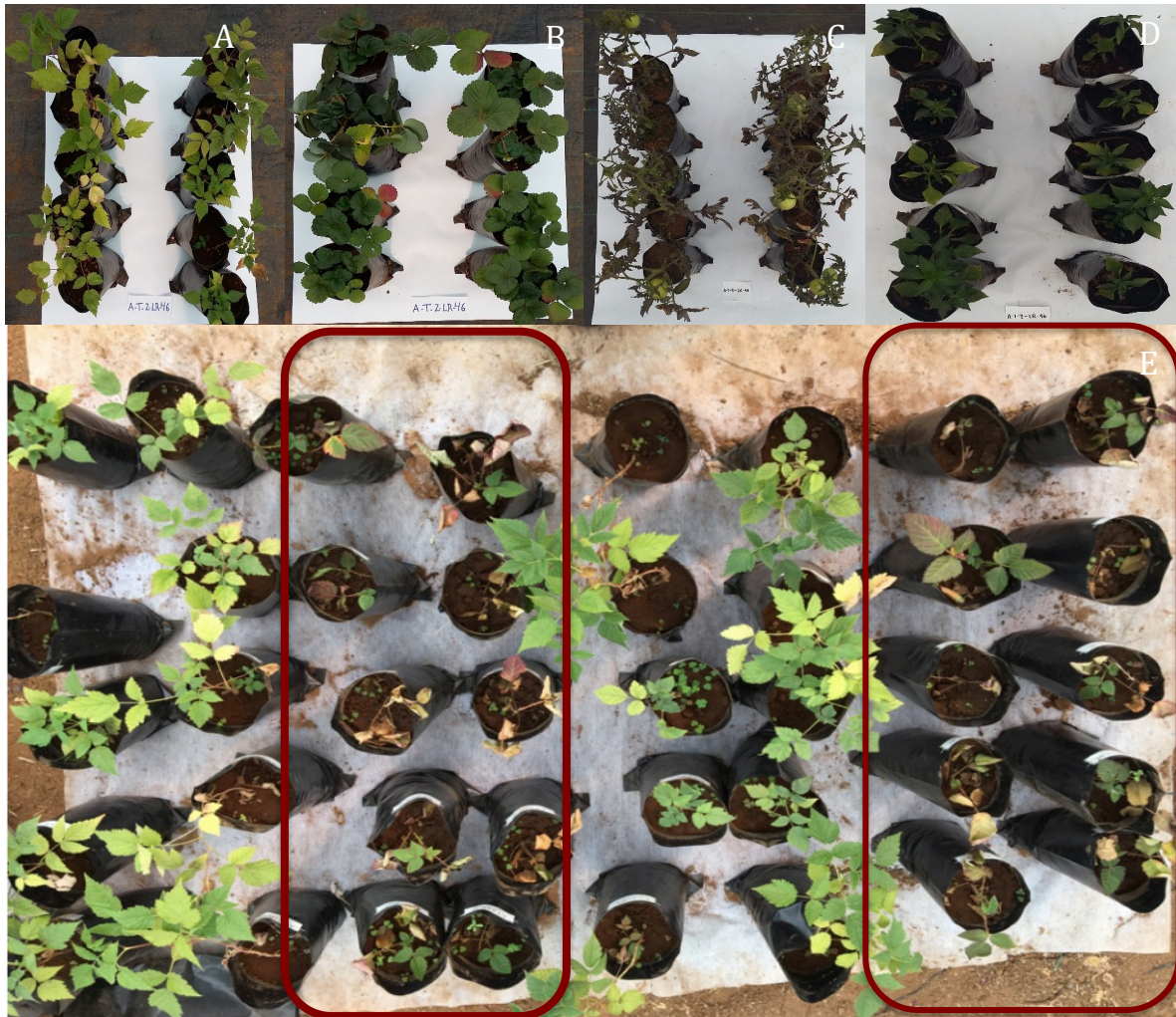


Figura 9. Especificidad de aislamientos de *Fusarium oxysporum* obtenidos de zarzamora sobre diferentes especies cultivadas: frambuesa, fresa, tomate, chile y zarzamora. Los recuadros en rojo indican la mortalidad ocurrida solo en zarzamoras de la variedad ‘Tupy’.

3.4. El papel del ambiente en el desarrollo de la enfermedad

Un estudio exploratorio realizado en la temporada 2016- 2017 en el valle de Los Reyes Michoacán con la finalidad de conocer los factores edáficos que se relacionan con la intensidad de la marchitez de la zarzamora evidenció que la enfermedad tiende a concentrarse más en algunas áreas del Valle de Los Reyes (Fig. 10). Los variables que más contribuyeron a la variabilidad de los datos fueron el hierro, la concentración de cobre, magnesio, Calcio, pH, contenido de materia orgánica y la textura del suelo. De estos factores es importante

resaltar, además del pH y la concentración de hierro, la correlación positiva moderada y significativa entre el contenido de cobre en el suelo y la incidencia y severidad de la enfermedad. Al respecto, es necesario indicar que el sulfato de cobre ha formado parte de la tecnología de producción forzada durante casi 30 años, pero su efecto negativo en las comunidades microbianas y su relación con la intensidad de las enfermedades con origen en el suelo no ha sido estudiado en este sistema.

Asimismo, vale la pena considerar la influencia de la materia orgánica en las comunidades microbianas en el suelo. En la zona de estudio el contenido de materia orgánica tuvo un promedio de 2.6% y un pH de 4.5 a 6.7 con un promedio de 5.6, es decir con una tendencia hacia la acidez.

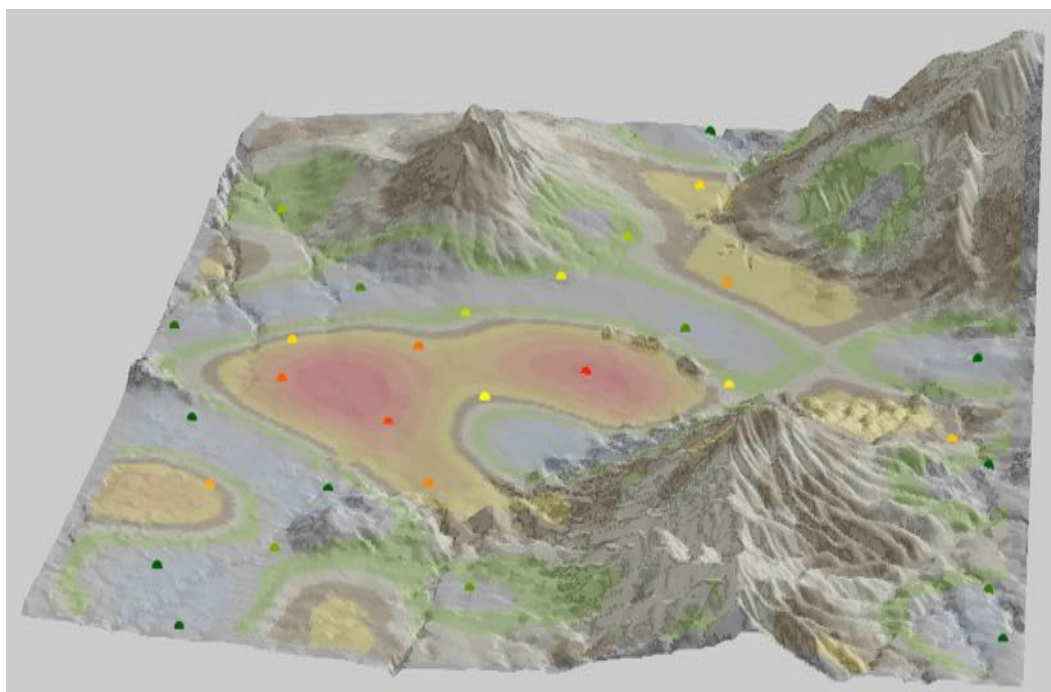


Figura 10. Mapa interpolativo de la severidad de la marchitez de la zarzamora causada por *Fusarium oxysporum* en el valle de Los Reyes, Michoacán.

Adicionalmente, es importante resaltar la importancia de las condiciones ambientales como generadoras de estrés abiótico y su importancia en la predisposición del cultivo al ataque de patógenos como *F. oxysporum*. En especial, las altas temperaturas y largos períodos de sequía, situación que interfiere con la activación de mecanismos de defensa y en consecuencia se incrementa la intensidad de la enfermedad bajo dichas condiciones.

3.5 El papel del humano en el desarrollo de la enfermedad

En su mayor parte, la producción de zarzamora en México se fundamenta en el sistema de producción forzada el cual consiste en defoliar la planta entre los 5 y 6 meses después de la poda a ras. Algunos productores, incluso inician la preparación de la planta para este proceso a partir de los 4.5 meses. Aunque, en los últimos años la producción forzada de zarzamora ha evolucionado hacia sistemas más sostenibles, en su mayor parte se sigue aplicando diferentes variaciones de “recetas” basadas en la aplicación de sulfato de cobre en mezcla con aceite parafínico y sulfato de amonio. Esta mezcla ocasiona el quemado de las hojas y prepara a la planta para la brotación, representando un fuerte estrés para el cultivo que podría predisponerlo a la infección de patógenos como *F. oxysporum*. Adicionalmente, resulta importante citar las prácticas de poda a ras, al final de un ciclo de cultivo, heridas que permanecen abiertas y expuestas a la infección por este y otros patógenos (Fig. 11).



Figura 11. Poda a ras al final de la temporada de producción. (A). Remoción de troncos (B), herida expuesta después de la remoción de los tallo (C).

Por otro lado, el dejar los residuos de podas en la parcela o cerca de ella representa un riesgo para la reproducción del patógeno, pues se ha visto que ese hongo esporula sobre el tejido muerto en condiciones de alta humedad y a partir de aquí se dispersa por medio del viento, la lluvia o a través del riego rodado, muy común en las zonas productoras de zarzamora. La acumulación de agua en la parcela que expone las plantas a largos periodos de humedad que favorece el encharcamiento en toda o en áreas bajas de la parcela, son factores que contribuyen al desarrollo de la enfermedad. El favorecer el drenaje en la parcela es una práctica importante para reducir el riesgo de desarrollo de la enfermedad.

3.6. Progreso de la enfermedad

A nivel parcela, la enfermedad tiende a la agregación en zonas de condición más favorable, en especial en áreas con mayor acumulación de humedad, aunque esta no es una condicionante para que alcance altos niveles de intensidad en toda la plantación. Lo anterior sugiere la influencia de diferentes factores que contribuyen a esta agregación, entre ellos la distribución de inóculo en el suelo, la pendiente del terreno y el flujo del agua, así como las prácticas culturales que realiza el productor, factores químicos, físicos y biológicos del suelo. La figura 12A representa el progreso temporal de la enfermedad a partir de la poda a ras. Este progreso, evidencia que aproximadamente a partir de los 50 días después de la poda a ras, es posible tener cerca del 10% de mortalidad. Estos datos concuerdan con los resultados obtenidos en inoculaciones en el invernadero, en las cuales se encontró que las plantas inoculadas se marchitan de manera irreversible entre 25 a 45 días después de la inoculación, dependiendo de la agresividad del aislamiento. Adicionalmente, es posible observar, que la intensidad de la enfermedad es mayor después de la defoliación, aproximadamente a partir del día 152 después de la poda a ras lo que coincide con las observaciones de los productores en el campo. Es probable que el incremento de la intensidad de la enfermedad a partir de esta etapa se asocie al estrés impuesto a la planta por el proceso de defoliación química que la predispone más al ataque del patógeno dada la reducción de defensas en la planta. La aplicación de tecnologías dirigidas a reducir o mitigar el estrés abiótico podrían contribuir a la reducción de la severidad de la enfermedad, pero no se han evaluado.

En la parcela en la que se desarrollaron los estudios descritos aquí, la enfermedad superó el 40% de mortalidad en toda la temporada de cultivo. El progreso de la enfermedad sugiere un proceso policíclico (Fig. 12A), asociado a un contagio de planta a planta o dentro de la misma planta madre. El proceso es indicativo de que la estrategia de manejo debe dirigirse a reducir la densidad o cantidad de inóculo inicial (y su eficiencia) y la ‘velocidad’ (tasa de incremento) con la que avanza la enfermedad a lo largo de la temporada de cultivo. Las propuestas y resultados concretos de estudios en campo para el manejo de la enfermedad en plantaciones establecidas con base en este comportamiento epidémico se discuten más adelante.

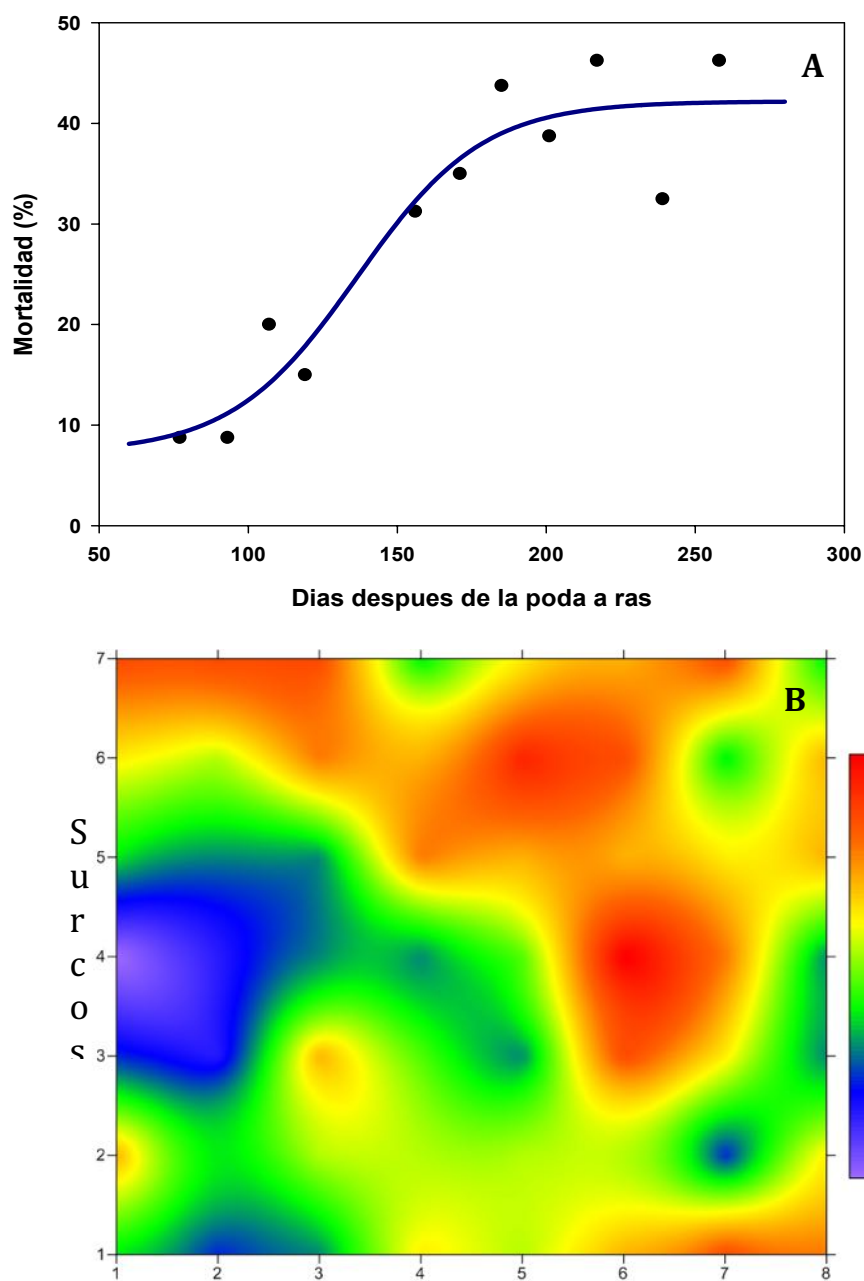


Figura 12. Progreso de la enfermedad con relación al desarrollo del cultivo en un sistema de producción forzada (A). Distribución espacial de la marchitez de zarzamora en una sección de una parcela comercial al final de la cosecha (B). La barra lateral indica el porcentaje de severidad de la marchitez.

4. MANEJO INTEGRADO DE LA MARCHITEZ DE LA ZARZAMORA

4.1 Efecto de herramientas específicas en el desarrollo de la enfermedad

Conocer el papel de los componentes epidemiológicos que dan origen a las enfermedades es esencial para definir las estrategias de manejo a nivel parcela y regional. Aunque aún falta profundizar más en algunos aspectos de la epidemiología de la enfermedad, la información hasta ahora generada brinda las bases para la comprensión de los componentes más importantes para el manejo de la enfermedad. Además de entender el papel de estos componentes, es necesario también generar información específica relacionada con las herramientas potenciales factibles de transferirse al productor y contribuir con soluciones concretas que puedan ser incorporadas dentro del plan de manejo del cultivo a fin de evitar o posponer el desarrollo de la enfermedad en la parcela. Al respecto, también se generó información básica y aplicada en la búsqueda de respuestas a preguntas básicas y usar dicha información para diseñar y evaluar estrategias de manejo integrado de manera experimental inicialmente, hasta culminar con la validación directamente en parcelas comerciales con productores cooperantes.

Entre las primeras acciones en la búsqueda de herramientas efectivas para el manejo de la enfermedad, se determinó el efecto de algunos fungicidas disponibles comercialmente con potencial inhibitorio sobre aislamientos de *F. oxysporum* provenientes del Valle de Los Reyes. Con estos aislamientos se condujeron pruebas de sensibilidad *in vitro*, a partir de las cuales se estimó la Dosis Efectiva 50 (DE₅₀), parámetro que refleja la toxicidad de un fungicida sobre los aislamientos del hongo. En el cuadro 1, se observa que el fungicida Procloraz, resultó ser el más tóxico para una muestra de 6 aislamientos con diferentes niveles de patogenicidad, seguido del Tiabendazol y Difenconazol. Otros ingredientes activos, tuvieron un efecto de medio a pobre sobre el crecimiento micelial *in vitro*. Aunque los estudios *in vitro* no necesariamente reflejan lo que sucede *in vivo*, si permiten conocer de manera preliminar el efecto potencial que compuestos como los fungicidas pueden tener en la prevención de las enfermedades cuando se apliquen en las plantas.

Cuadro 1. Dosis efectiva 50 (DE₅₀) de siete fungicidas sobre una muestras de seis aislamientos patogénicos de *Fusarium oxysporum* obtenidos del Valle de Los Reyes, Michoacán.

Fungicida	Media (Log-ppm)	Media del error	Media (ppm)
Procloraz	-1.90 a	0.4077	0.012
Tiabendazol	-1.90 a	0.13024	0.012
Tiofanato Metílico	0.66 c	0.17812	4.60
Difenoconazole	-0.99 b	0.2458	0.10
Azoxystrobin	1.68 d	0.2458	48.0
Triflumizole	-0.93 b	0.5762	0.116
Fosfito de potasio	2.34 b	0.3594	221.08

En la figura 13, se resume el efecto del procloraz sobre el crecimiento micelial de 6 aislamientos de *F. oxysporum*. En general el crecimiento micelial se inhibe a partir de 1 ppm.

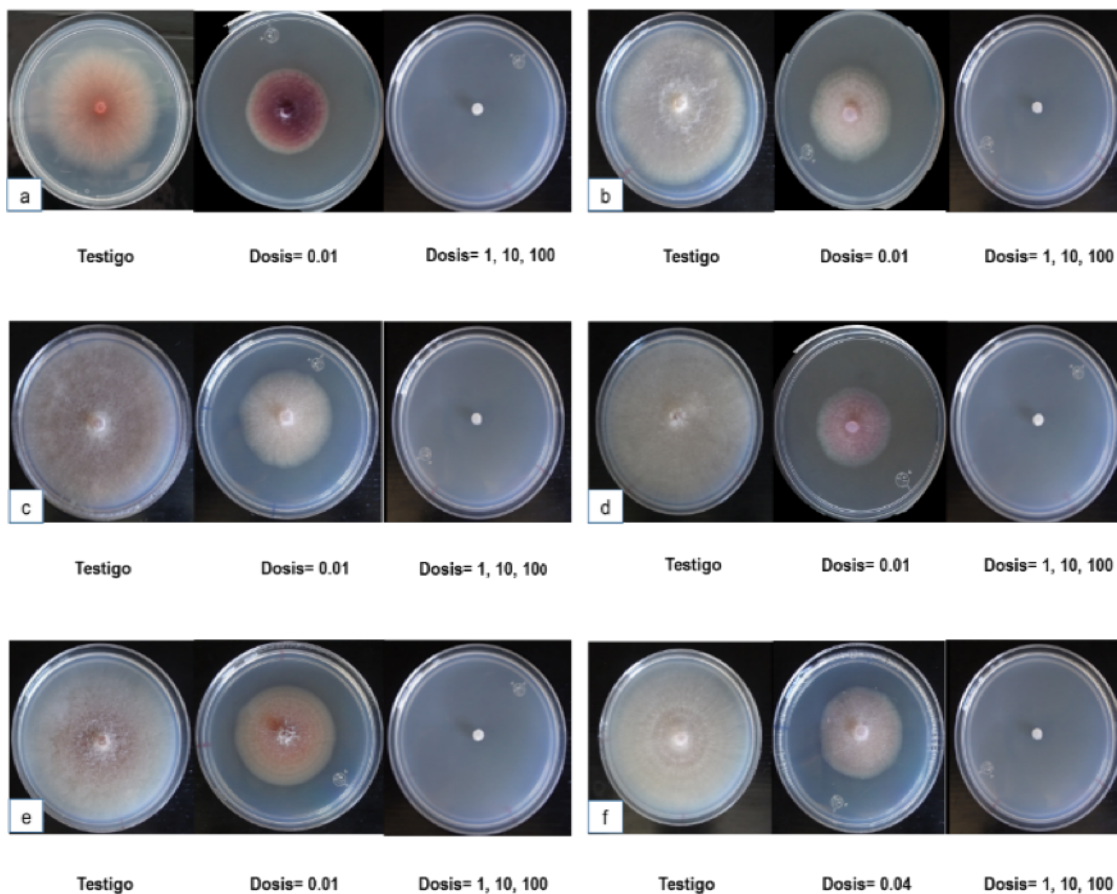


Figura 13. Efecto del Procloraz sobre el crecimiento micelial de 6 aislamientos de *Fusarium oxysporum* patogénicos en zarzamora, provenientes de Los Reyes, Michoacán.

Los tratamientos evaluados *in vitro* fueron posteriormente probados en planta en condiciones de invernadero. Adicionalmente, en los experimentos se incluyeron otros compuestos como inductores de resistencia, todos ellos aplicados de manera preventiva, antes de la infección, con uno de los aislamientos patogénicos. Los resultados confirmaron que el Procloraz, Difenconazol, Tiabendazol y el inductor de resistencia, acibenzolar-S- Metil, fueron efectivos para prevenir el desarrollo de la enfermedad (Fig. 14). Experimentos adicionales conducidos para comparar el efecto de otros compuestos inductores de resistencia, corroboraron al acibenzolar-S- Metil, como una herramienta prometedora en el manejo de la enfermedad, en alternancia con los fungidas más efectivos aplicados a partir de la poda a ras. Estos estudios además evidenciaron que otros compuestos capaces de inducir respuestas inmunes en las plantas como es el caso del fosfito de potasio, no tuvieron un efecto satisfactorio en la prevención de la infección de las plantas de zarzamora con este patógeno. Aunque existen reportes a favor de la aplicación de fosfito de potasio para el desarrollo de enfermedades causadas por *F. oxysporum* en otros cultivos (Gillardi et al., 2016) en este caso, esta herramienta resultó con eficacias de moderada a baja en varios experimentos conducidos en condiciones de campo e invernadero. Aunque los ingredientes activos con potencial para usarse en el diseño de un plan de manejo integral de la enfermedad, no están actualmente autorizados en el cultivo para el manejo de esta enfermedad, nuestros estudios indican que pueden ser piezas importantes de este manejo, si se aplican al inicio de la temporada de cultivo en las primeras semanas después de la poda a ras.

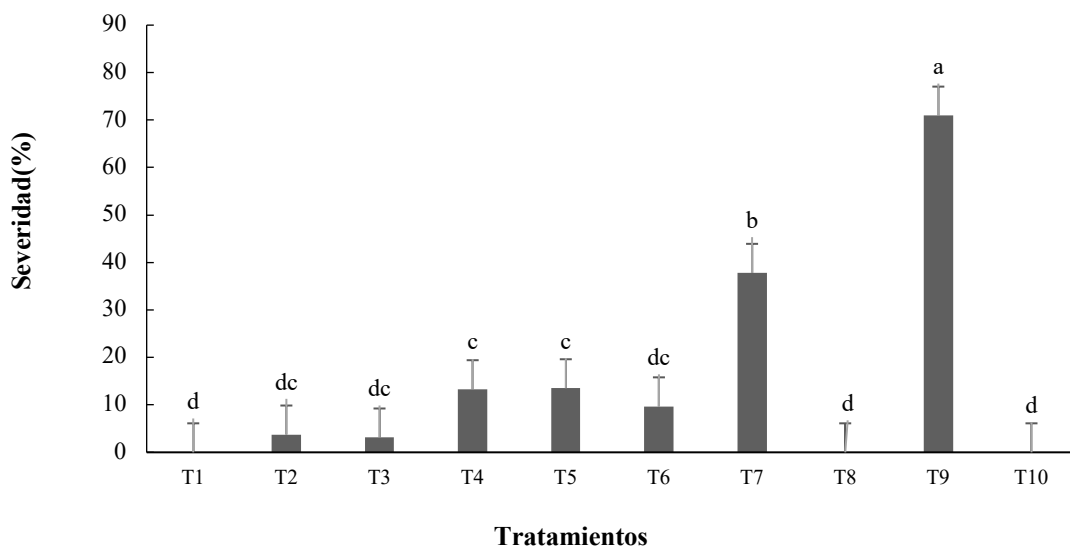


Figura 14. Efecto de fungicidas e inductores de resistencia aplicados de manera preventiva contra la marchitez de la zarzamora en condiciones de invernadero. T1) Procloraz, T2) Tiabendazol, T3) Tiofanato metílico, T4) Difenconazole, T5) Azoxystrobin, T6) Triflumizole, T7) Fosfito de potasio, T8) Acibenzolar-S-Metil, T9) Testigo inoculado, T10) Testigo sin inocular.

Por otro lado, con el propósito de buscar alternativas biológicas que pudieran incorporarse en una estrategia de manejo integral a nivel parcela, se realizó el aislamiento y selección de cepas nativas del hongo *Trichoderma* spp. las cuales se identificaron mediante secuenciación de ADN y se determinó su capacidad antagónica contra aislamientos patogénicos de *F. oxysporum* (Fig. 15) no solo *in vitro*, sino también en planta en condiciones de invernadero.

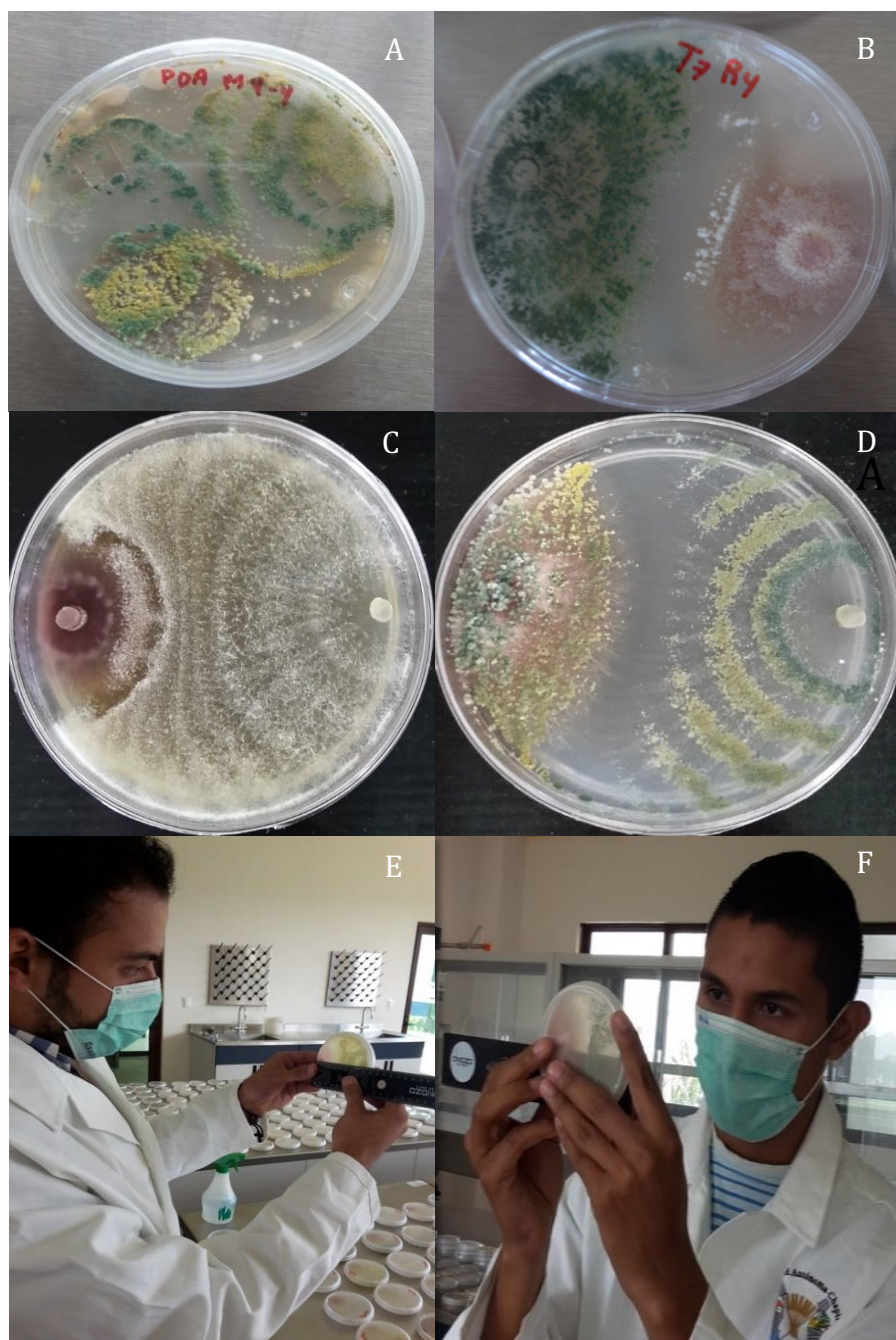


Figura 15. Aislamiento, selección y pruebas de antagonismo de cepas de *Trichoderma* sp. nativas del municipio de Los Reyes contra aislados patogénicos de *Fusarium oxysporum* causantes de marchitez de la zarzamora.

De los estudios exploratorios en campo y las pruebas de antagonismo realizadas *in vitro* se seleccionaron las cepas con mayor potencial antagonístico que inhibieron más del 40%. Estas

cepas fueron posteriormente evaluadas en experimentos *in vivo* en condiciones de invernadero (Fig. 16) para conocer su capacidad de prevenir la infección por *F. oxysporum*, promoción del crecimiento, masa radicular y la salud general de las plantas.



Figura 16. Experimentos en invernadero para evaluar la eficacia de cepas de *Trichoderma* sp. en la protección de plantas de zarzamora inoculadas con cepas patogénicas de *Fusarium oxysporum* aisladas de Los Reyes, Michoacán.

Producto de estos experimentos se seleccionaron dos cepas sobresalientes, las cuales promovieron mayor masa radicular y redujeron significativamente la incidencia y severidad de la enfermedad. Estas cepas correspondieron a *Trichoderma asperellum* (RCH-169) y *Trichoderma koningiopsis* (RG-160). En experimentos adicionales, estas cepas se compararon con formulaciones comerciales (Fig. 17). Los resultados indicaron que las cepas nativas de *Trichoderma* spp. redujeron significativamente la intensidad de la enfermedad de manera competitiva e incluso con mejores resultados que los productos biológicos probados disponibles en el mercado.

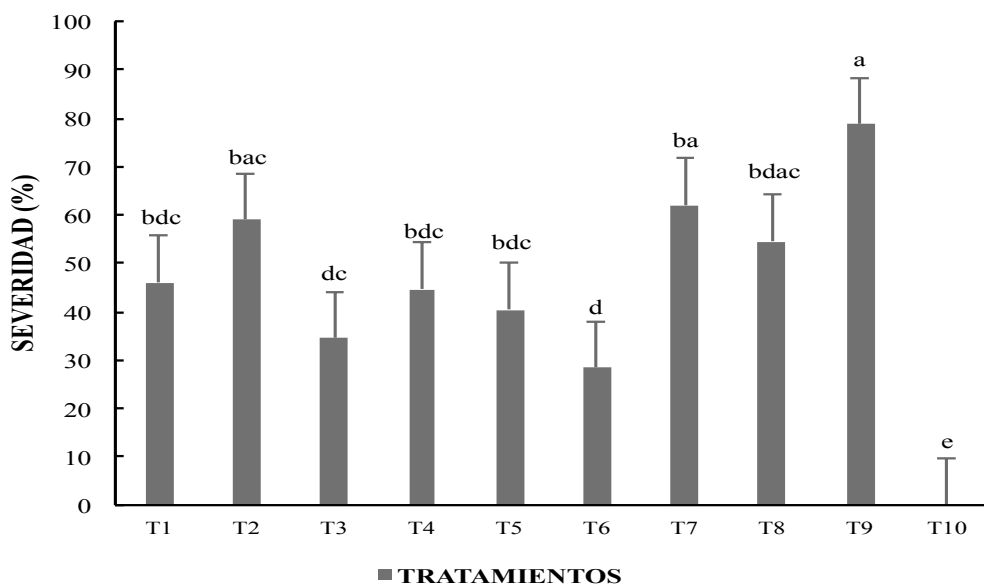


Figura 17. Efecto de tratamientos biológicos en la severidad de la marchitez de zarzamora en condiciones de invernadero. T1= *Trichoderma harzianum* (Natucontrol®); T2= *A. vinelandii*, *C. pasteurianum* (Maya magic HYTA®), T3= Levaduras, Mesófilicos, anaerobios (Microsoil®), T4= *Streptomyces lydicus* (Actinovate AG®), T5= *Bacillus subtilis* (Baktillis®), T6= RCH-169 (*Trichoderma* sp.), T7= Rg-160 (*Trichoderma* sp.), T8= *Pseudomonas fluorescens* (Micbal®), T9= Testigo inoculado, T10= Testigo sin inocular. Los experimentos se realizaron dos veces.

Las cepas seleccionadas están siendo aplicadas en programas de manejo en parcelas comerciales de zarzamora, como parte de un programa piloto de manejo integral de la enfermedad.

4.2. Acciones para el manejo de la enfermedad en plantaciones establecidas

Tomando en cuenta el tipo de enfermedad (comportamiento policíclico) y la comprensión de su desarrollo epidémico en plantaciones comerciales con síntomas con nivel medio a bajo de intensidad de la enfermedad y considerando que se trata de un cultivo perenne establecido, en el cual el patógeno podría ya estar en la corona y en las raíces de la planta madre, nuestra estrategia se dirigió a evitar o posponer la infección de las plantas sanas y reducir la tasa

(‘velocidad’) de desarrollo de la enfermedad lo largo de la temporada del cultivo. Es decir usamos un **enfoque de temporada completa** en el cual tratamos de manejar la enfermedad en torno al cultivo tomando en cuenta los diferentes componentes de la enfermedad y no solo enfocados en la reducción de la densidad del patógeno en el suelo. La idea es recuperar la capacidad productiva de las plantaciones reduciendo la intensidad de la enfermedad en el tiempo y recuperar la salud de las plantas.

Para ello, es necesario definir una estrategia basada en información del patógeno, del medio ambiente, del hospedante y de las prácticas que involucran el manejo del cultivo que potencialmente pudieran favorecer o predisponer el desarrollo de la enfermedad. Por lo anterior y debido a lo complejo de la enfermedad, su manejo en plantaciones establecidas requiere un enfoque integral, pues difícilmente una herramienta aislada aplicada sin estrategia permitirá cumplir el objetivo mencionado líneas arriba. Por lo que se requiere de un enfoque que considere al **cultivo como centro de la estrategia**.

Para plantaciones de zarzamora establecidas, dicha estrategia se dirige hacia: **1)** manejar los factores abióticos que favorecen el desarrollo de la enfermedad o predisponen al cultivo al ataque del patógeno: el pH del suelo con tendencia ácida, estrés abiótico (defoliaciones y múltiples re-defoliadas de la planta), heridas (directas o por insectos que dañan la raíz), bajos contenido de materia orgánica, manejo del riego (evitar excesos de humedad o falta de agua) y el uso y abuso de fertilizantes amoniacales (privilegiar el uso de nitratos); **2)** Un segundo componente de la estrategia se dirige a evitar que las plantas sanas desarrollen la enfermedad previniendo nuevas infecciones. Los estudios en laboratorio, invernadero y en parcelas comerciales indicaron que es posible reducir significativamente el desarrollo de la enfermedad a través de 2 aplicaciones preventivas de los fungicidas Procloraz, Difenconazol o Tiabendazol dirigidas a la base del tallo en los primeros 10 a 20 días después de la poda a ras. Este bloque de aplicaciones tiene el objetivo de impactar sobre el inóculo inicial y proteger los nuevos brotes que van emergiendo, otros ingredientes activos como el imexazol, tienen potencial para agregarse a los ingredientes activos como parte del programa de manejo; **3)** Después de estas aplicaciones, es recomendable promover la diversidad microbiológica a través de la incorporación de complejos microbianos benéficos (acoplado

con suficiente contenido de materia orgánica y fuentes de carbono) a fin de promover la competencia, parasitismo, antibiosis, el refuerzo de la inmunidad vegetal y favorecer la disponibilidad y absorción de nutrientes a través de un efecto bioestimulante en las raíces; **4)** promoción de la resistencia de las plantas y la inmunidad vegetal a través de formulaciones basadas de quitosano, algas marinas y otros compuestos inductores de resistencia general. Al respecto, las aplicaciones del fosfito de potasio como herramienta dirigida al manejo de esta enfermedad, no ha sido eficaz en estudios en laboratorio, invernadero y campo. Compuestos como el Acibenzolar-S-Metil, y el Kendal Nem[®], han resultado prometedores como piezas de un manejo integral de la enfermedad aplicadas de manera regular a partir de la poda a ras, después de las aplicaciones de un bloque de 2 aplicaciones de fungicidas con acción sistémica, cada 15 a 20 días; **5)** es necesario resaltar la importancia de la reducción del estrés abiótico principalmente por altas temperaturas en primavera (plantaciones bajo macro-túnel) y limitar el número de re-defoliaciones de la planta a no más de 2, pues es ampliamente conocido la predisposición de las plantas al ataque de patógenos vasculares como *F. oxysporum* bajo estas condiciones. Es necesario el uso de tecnologías de producción forzada que reduzcan o eliminen el uso del sulfato de cobre como un medio para defoliar las plantas, dada su acumulación en el suelo y el efecto en las poblaciones microbianas del mismo. Los resultados exploratorios en el Valle de Los Reyes, Michoacán indicaron que el cobre en el suelo es una variable importante asociada a la intensidad de la enfermedad y que requiere ser estudiada de manera experimental para conocer si existe o no una relación causal.

Para los sistemas de producción orgánica, es factible aplicar la misma estrategia, centrada en el conocimiento epidemiológico como eje central de la misma entorno al cultivo. En este caso las aplicaciones de productos químicos no están permitidos. Esencialmente, bajo este sistema se busca favorecer la diversidad y abundancia microbiológica, promover la inmunidad vegetal y la disponibilidad de nutrientes para favorecer la salud integral de las plantas. Compuestos sanitizantes permitidos en los sistemas orgánicos como el peróxido de hidrógeno dirigidos a reducir el inóculo inicial, seguido de inoculaciones frecuentes de complejos microbiológicos, aplicación de compostas a base de gallinaza y lixiviados son buena alternativa. Las enmiendas del suelo a base de cascarilla de arroz, de cascarilla de café o compostas a base de estos materiales adicionadas con 5% de polvo de cáscara de jaiba, son

altamente promotoras de actividad de las poblaciones microbianas mejorando la actividad supresora de los suelos (Escuadra y Amemiya, 2008). Además de estas enmiendas, también hay evidencias que las aplicaciones de Biochar, también conocido como biocarbón, es una buena alternativa para promover la actividad microbiológica, reducir el efecto negativo de los patógenos del suelo en las plantas, mejorar la eficiencia en la adquisición de nutrientes y capacidad de retención de agua, en especial para suelos pobres y degradados. Sin embargo estos productos deben cumplir con ciertos requerimientos internacionales debido al riesgo del contenido de metales pesados (Hussain et al., 2016), de aquí la importancia de conocer el origen y método de obtención. En el cultivo de zarzamora y otras berries es necesario desarrollar investigación que defina el efecto de las enmiendas al suelo en la prevención del desarrollo de las enfermedades..

Se sugiere que los componentes de la estrategia de manejo se apliquen de manera integrada y sistemática durante todo el ciclo del cultivo. Aplicar las herramientas de manera aislada y sin un eje integrador, difícilmente se logrará reducir el avance de la enfermedad o manejarla de manera satisfactoria. Realizar aplicaciones a base de peróxido de hidrógeno, dióxido de cloro y otros productos como el TCMTB dirigidos a reducir la densidad de inóculo en el suelo, sin continuar con la estrategia de integrar herramientas en forma lógica a partir de la poda a ras, reduciendo los factores que predisponen las plantas al ataque del patógeno, manejando de manera adecuada la nutrición del cultivo, favoreciendo la materia orgánica y la diversidad y abundancia microbiológica, difícilmente se podrá manejar la enfermedad en plantaciones establecidas.

En resumen, en plantaciones bajo manejo convencional, los resultados de experimentos desarrollados en dos temporadas de cultivo fueron satisfactorios cuando la estrategia inicia con 2 o 3 aplicaciones de fungicidas sistémicos (procloraz, dinfenoconazol, tiabendazol.), seguidas de aplicaciones frecuentes de mezclas de microorganismos e inductores de resistencia de acción general (e.g. quitosano, algas marinas, Kendal Nem) y específicas (Acibenzolar- S-Metil). Esta estrategia, concuerda con experiencias obtenidas en otros cultivos, en los cuales se ha observado que el manejo de enfermedades con origen en el suelo causadas por *F. oxysporum*, funciona mejor cuando se inicia con herramientas químicas y

continúa con aplicaciones de herramientas biológicas, en especial con inoculantes a base de mezclas de microorganismos que en conjunto ejercen diferentes mecanismos de acción ya que pueden contribuir a una comunidad más estable en la rizósfera. Además, actúan mejor en diferentes condiciones ambientales contribuyendo en general a la salud integral de las plantas (Yang et al., 2014; Gilardi et al., 2016). Sin duda, la aplicación de enmiendas orgánicas, en especial en suelos degradados es clave para contribuir con una comunidad microbiológica más estable y por lo tanto, reducir el efecto de las enfermedades, y en el mediano plazo, prescindir de las aplicaciones de fungicidas al suelo. La correcta selección del microorganismo o complejo de microorganismos en relación a su potencial adaptación en tipos de suelos y ambientes es muy importante para que ejerzan una acción positiva. Los microorganismos nativos y adaptados a la región tendrán mejores posibilidades de actuar si se les dan las condiciones para su incremento.

4.3. Sugerencias para el manejo sostenible de la enfermedad en nuevas plantaciones

Para el establecimiento de nuevas plantaciones, se sugiere primeramente realizar un análisis fitopatológico para conocer el nivel de inóculo inicial, analizar el agua de riego, la planta que se establecerá (aun sin presencia de síntomas) y en general considerar todas las fuentes de inóculo inicial. Posteriormente, con base en los resultados decidir el uso de técnicas dirigidas a eliminar o reducir el inóculo primario por métodos amigables con el medioambiente (solarización, bio-solarización, desinfestación anaeróbica, bio-fumigación, etc.) (Fig. 18). Estas técnicas han sido ampliamente probadas en otros países en su eficacia para reducir la viabilidad de las estructuras fungosas que representan las fuentes de infección en el suelo con resultados favorables. Después de este proceso, implementar una estrategia preventiva como la descrita arriba, tomando en cuenta los mecanismos de dispersión del patógeno para evitar su introducción y un manejo adecuado de la salud de las plantas en general, incluyendo una nutrición balanceada y la incorporación de enmiendas orgánicas como las descritas previamente.

Adicionalmente, deberá considerarse la duración del cultivo. Es posible que bajo las condiciones actuales de presión de la enfermedad, sea necesario renovar el cultivo cada cierto

tiempo a fin de evitar la acumulación de inóculo en el suelo, pero estas prácticas no se han evaluado en términos de la duración. Asimismo, plantaciones establecidas en maceta o bajo otros sistemas intensivos podrían ser viables, sin embargo, al igual que en condiciones de campo, se deberá considerar las fuentes de infección primaria, en especial las vías de dispersión por viento, agua y sustrato. Aunque el riesgo de infección se reduce al establecer en macetas, esta práctica no garantiza que las plantas no se infecten (como se ha observado), de ahí que es imprescindible conocer los mecanismos de dispersión del patógeno y las fuentes de infección primaria, incluyendo la obtención de plantas libres del patógeno.



Figura 18. Proceso de solarización en una parcela comercial, previo a establecimiento de una plantación.

Sin duda, la mejor herramienta para manejo de la enfermedad es el uso de variedades resistentes y aunque se ha observado que algunas variedades libres no desarrollan síntomas en campos infestados como es el caso de la variedad ‘Brazos’ las mismas actualmente no son atractivas para la industria, sin embargo, es necesario considerarlas en programas de mejoramiento público-privado. La variabilidad genética del patógeno, impone una fuerte

presión para cualquier variedad tolerante o resistente, por lo que el uso de herramientas enfocadas a reducir la presión del inóculo y el resto de los componentes de las estrategias descritas deberá ser parte de un plan de manejo integral a fin de extender la vida de las plantaciones. La investigación interdisciplinaria financiada con fondos público-privados es una alternativa viable para la generación de conocimiento vinculadas a la solución de problemas de los productores y la industria.

4.4. Recomendaciones generales para el manejo integral de la marchitez a nivel regional

Con base en la información generada hasta ahora en relación a la caracterización de los síntomas de la enfermedad, el agente causal, mecanismos de dispersión, distribución regional, variabilidad patogénica, susceptibilidad de variedades, relación de variables edáficas en el desarrollo de la enfermedad, herramientas biológicas, químicas e inductores de resistencia entre otros aspectos, es factible definir estrategias de manejo a nivel regional y sugerir prácticas específicas a nivel parcela para evitar, posponer o reducir el avance de la enfermedad.

Estrategias de manejo regional que no se basen en conocimiento científico del problema y con poco estímulo en la adopción del conocimiento por parte de los productores, difícilmente tendrá éxito. El trabajar con un cultivo perenne, en el cual un porcentaje importante de las parcelas se encuentran infectadas, representa un reto para su recuperación y mantenimiento para que las plantaciones continúen siendo productivas. Uno de los retos más difíciles de vencer, es la transferencia del conocimiento generado hacia los productores y su adopción y adaptación en sus parcelas. Varios factores influyen en este proceso de adopción y deben ser abordados de manera conjunta con los diferentes actores, incluyendo la industria de berries representada por la Asociación Nacional de Exportadores de Berries (Aneberries), los productores, el gobierno, la industria de insumos y demás participantes que directamente están involucrados con el cultivo.

Ante crisis como estas, surgen diferentes visiones en torno a cómo abordar el problema, ofertas de insumos con soluciones mágicas o en el mejor de los casos enfocadas solo a reducir

la densidad de inóculo en el suelo. Aunque todas estas visiones y corrientes de pensamientos son respetadas, un aspecto que debe prevalecer es que el productor y asesor técnico cuenten con los elementos y el conocimiento suficientes del origen y causa del problema y a partir de esta información determinar todos los factores que influyen o se asocian con la enfermedad para diseñar estrategias para el manejo de la marchitez de la zarzamora.

Las recomendaciones a continuación son factibles de establecerse a nivel de parcela y regional y pueden ser adoptadas y/o mejoradas por la autoridad fitosanitaria y los productores para implementar acciones en el marco de las normas fitosanitarias aplicables en coordinación con sus organismos auxiliares y actores clave como Aneberries en la cadena de zarzamora:

1. Implementar una estrategia de educación y capacitación de los productores, asesores técnicos y de organismos auxiliares de sanidad vegetal, incluyendo funcionarios que definen y aplican políticas de sanidad vegetal. Asimismo capacitar a los proveedores de insumos y todo el personal asociado al cultivo. Al respecto es importante priorizar un enfoque integral y tener claro que no existe una herramienta específica para manejar la enfermedad. Es probable que la tecnología específica que promueve una empresa tenga potencial, pero debe aplicarse en el momento adecuado en el transcurso del desarrollo del cultivo, en relación al riesgo de infección y progreso de la enfermedad y dejar claro en cuál de los componentes epidemiológicos influye. La aplicación de productos específicos para oomicetos (**mefenoxam**) no son efectivos para *F. oxysporum* y aplicarlos representa un gasto innecesario para el productor. Al respecto es importante la capacitación del técnico en relación al espectro de acción de los fungicidas y otras herramientas químicas, bioracionales y biológicas.
2. Abstenerse de colectar raíz de plantaciones infectadas con fines de establecimiento de viveros comerciales para evitar la dispersión de la enfermedad a otras zonas productoras de la región o del país. Realizar el tratamiento de las raíces con soluciones de fungicidas como captan, tiabendazol, mefenoxam u otro fungicida de uso común en viveros, no es garantía de que el hongo se elimine de los tejidos internos. Al respecto, es necesario contar

con viveros certificados, no solo libres de este patógeno, sino de otros más que se mueven vía material propagativo. Es necesario la definición de protocolos para la producción de planta libre de este tipo de patógenos. Las autoridades fitosanitarias en coordinación con los organismos auxiliares y la industria pueden definir una política de producción de planta certificada.

3. Evitar el movimiento de suelo y plantas de una parcela a otra, así como promover la desinfección de maquinaria, equipo, vehículos, herramientas de trabajo e incluso el calzado.
4. Eliminar residuos de poda a fin de evitar la esporulación del patógeno sobre los mismos, y con esto reducir la cantidad de inóculo (conidios) disponibles para su dispersión vía viento y agua que pueda contaminar a parcelas vecinas.
5. Realizar análisis fitopatológicos frecuentes del agua de riego. Aunque desinfectar el agua no es garantía de que las parcelas no se contaminen, si se reduce el riesgo de dispersión del patógeno por esta vía. Las otras formas de dispersión deberán tomarse en cuenta.
6. El reconocimiento temprano de los síntomas en los primeros 20 a 40 días después de la poda a ras es clave si se desean eliminar las plantas sintomáticas. Esta práctica podría posponer o reducir la dispersión de la enfermedad en la parcela siempre y cuando se detecte la enfermedad a tiempo y en una o pocas plantas, acoplada con la estrategia de manejo propuesta arriba. Para ello se requiere un método de muestreo efectivo que incremente la probabilidad de detectar las plantas sintomáticas a tiempo. Al respecto se recomienda que a partir de los 20 días después de la poda a ras, se realicen recorridos en la parcela cada 8 a 10 días iniciando en el surco de la orilla, recorriendo toda su longitud. De regreso, dejar 2 surcos sin muestrear y continuar hasta terminar la parcela. A la siguiente semana continuar en el surco 2 y continuar con el proceso de muestreo durante toda la temporada de cultivo.

7. Uno de los factores importantes que influye en la intensidad de la enfermedad es el método de riego. La acumulación de agua en áreas de la parcela por períodos largos tiende a favorecer mayores niveles de severidad de la enfermedad. Lo anterior, indica la necesidad de favorecer el drenaje, evitando encharcamientos. Para ello, de ser posible se debería cambiar el sistema de riego rodado por riego por goteo para regular la cantidad de agua aplicada. Adicionalmente es necesario el monitoreo de los niveles de humedad y una programación del riego basada en las necesidades de la planta.
8. En la medida de lo posible, establecer una estrategia de rotación de cultivos. Los estudios de rango de hospedantes, indican que los aislamientos de Los Reyes, son específicos de zarzamora. Aunque técnicamente viable, por ser un cultivo perenne, la parte económica y el mercado serán factores determinantes para la implementación de esta práctica
9. Hasta ahora, no se conocen variedades resistentes de zarzamora a la marchitez, probablemente debido a la gran variabilidad del patógeno. Por lo que se considera necesario definir una estrategia público-privada para la generación de variedades resistentes o tolerantes desde una perspectiva multidisciplinaria (Mejoradores, Fitopatólogos, Nutriólogos, Fisiólogos, etc.).
10. En plantaciones nuevas, promover el uso de técnicas sostenibles de desinfestación de suelos basados en la solarización, desinfestación anaeróbica, biosolarización y otras modalidades dirigidas a reducir la densidad y eficiencia del inóculo primario.
11. Promover el uso de tecnologías sostenibles dirigidas al mejoramiento del suelo en sus componentes físico, químico y biológico. En específico, es primordial promover la riqueza microbiológica y brindar las condiciones para su incremento en diversidad y abundancia a través de la aplicación de enmiendas orgánicas, incluyendo compostas, cascarilla de arroz, café entre otras. La aplicación de biocarbón podría ser de beneficio, pero se requiere más estudios para su optimización en este cultivo.

12. Promover el desarrollo de tecnologías amigables al medio ambiente en el proceso de producción forzada, eliminando en la medida de lo posible el uso del sulfato de cobre y componentes altamente contaminantes y dañinos a las comunidades microbianas del suelo.

13. Promover entre los técnicos, productores, industria y funcionarios públicos los beneficios de la generación de conocimiento y su aplicación en la solución de problemas desde una perspectiva integral y sostenible. En general, en el sector de berries ha sido difícil realizar investigación pública, incluso en problemáticas como la fitosanitaria que afecta a todos los productores independientemente de la empresa a la que le entrega su producción. Es necesario mayor apertura de la industria de berries a las instituciones de educación superior e institutos de investigación en beneficio no solo de las compañías comercializadoras, sino de toda la cadena productiva, en especial aquellos más vulnerables como son los productores. Es deseable mayor participación de la industria y los productores en la generación de conocimiento para su propio beneficio, no solo apoyando en la gestión de recursos públicos, sino aportando directamente y exigiendo los resultados asociados a dichos aportes.



Figura 19. Resumen de componentes de un Manejo Integrado de la Marchitez de la zarzamora en plantaciones establecidas.

En resumen, la marchitez de la zarzamora, es sin duda una de las enfermedades más devastadoras de gran impacto social y económico que obliga a un cambio de paradigmas en el manejo de enfermedades en berries. Su manejo no es factible con una herramienta específica y aislada, sino con la integración de tácticas para diseñar estrategias de manejo con fundamentos epidemiológicos que pongan en el centro al cultivo, que reduzca el inóculo primario, retrasen el desarrollo de la enfermedad y en la medida de lo posible, reduzca los factores ambientales que favorecen la enfermedad y la predisposición del cultivo al ataque del patógeno. La participación activa de los diferentes actores, asociada a la generación y transferencia de conocimiento por parte de las instituciones de educación superior e institutos de investigación, para sustentar técnicamente las decisiones de política pública en materia fitosanitaria, es clave para el manejo exitoso de este y otros problemas asociados a la producción de berries en México.

Referencias selectas

- Agrios, G. N. 2005. Plant Pathology. Fifth Edition. Ed. Elsevier. 926 p.
- Acosta-Hernández., Hernández-Castrejón, J., Rebollar-Alviter, A., Silva-Rojas, H. V., González-Villegas, R. 2018. Effect of chemical, biological fungicides and plant resistance inducers for the management of blackberry wilt caused by *Fusarium oxysporum*. *Phytopathology* 108:S1.175.
- Carrasco-Meraz, H., Zamacona-Corona, A., Rebollar-Alviter, A., Silva-Rojas, H. V., Hernández-Cruz, A., González-Villegas, R and Romero-Bautista, A. 2017. Pathogenic variability, host range and sources of primary inoculum of *Fusarium oxysporum* causing blackberry wilting in Michoacán Mexico. APS-Meeting, Caribbean Division. Chillan, Chile.
- Escuadra, E. G. M., and Amemiya, Y. 2008. Supresion of Fusarium wilt of spinach with compost amendments. *Journal of General Plant Pathology* 74:267-274.
- Gilardi, G., Demarchi, S., Gullino, M. L., and Garibaldi, A. 2016. Evaluation of the short term effect of nursery treatments with phosphite-based products, acibenzolar-S-methyl, pelleted *Brassica carinata* and biocontrol agents, against lettuce and cultivated rocket Fusarium wilt under artificial inoculation and greenhouse conditions. *Crop Protection* 85:23-32.
- Hernández-Cruz, A., Rebollar-Alviter, A., Silva-Rojas, H. V., and Urbina-Cortés, T. B. 2015. Identification and pathogenicity of *Fusarium* sp. associated with yellowing and wilting of blackberry (*Rubus* sp.) in Michoacan, Mexico. *Phytopathology* 105:S4.59
- Hussain, M., Farooq, M., Nawaz A., Al-Sadi A. M., Solaiman, Z. M., Alghamdi S. S., Ammara, U., Ok, Y. S., and Siddique, K. H. 2016. Biochar for crop production: potential benefits and risks. *Journal of Soils and Sediments* 17:685-7716.

- Pastrana, A. M., Kirkpatrick, S. C., Kong, M., Broom, J. C., and Gordon, T. R. 2017. *Fusarium oxysporum* f. sp. *mori*, a new forma specialis causing *Fusarium* wilt of blackberry. *Plant Disease* 101:2066-2072.
- Rebollar-Alviter, A., Hernández-Cruz., A., and Saldivia-Tejeda, A. 2016. Evaluation of management programs of yellowing and wilt of blackberry (*Rubus* sp.) caused by *Fusarium oxysporum* in Michoacan Mexico. APS Meeting, Tampa, FL. USA.
- Rebollar-Alviter, A., Castro-Sosa, R., Pineda-Pineda, J., Sánchez-García, P., Acosta-González, U., and Silva-Rojas H. V. 2019. Influence of physical and chemical soil variables on intensity of *Fusarium* wilt of blackberry caused by *Fusarium oxysporum* species complex. APS meeting. Cleveland OH., USA.
- Rep, M., and Kistler, H. C. 2010. The genomic organization of plant pathogenicity in *Fusarium* species. *Current Opinion in Plant Biology* 13:420–426.
- Yang, W., Zheng, L., Liu, H. X., Wang, K. B., Yu, Y. Y., Luo, Y. M., and Guo, J. H. 2014. Evaluation of the effectiveness of a consortium of three plant-growth promoting rhizobacteria for biocontrol of cotton Verticillium wilt. *Biocontrol Science and Technology* 24:489-502.
- Vlaardingerbroek, I., Beerens, B., Rose, L., et al. 2016. Exchange of core chromosomes and horizontal transfer of lineage-specific chromosomes in *Fusarium oxysporum*. *Environmental Microbiology* 18:3702–3713.

La marchitez de la zarzamora, causada por *Fusarium oxysporum* f sp. *mori*, es una de las enfermedades mas devastadoras del cultivo que ha causado daños económicos y sociales significativos a las regiones productoras. Con la finalidad de buscar alternativas para el manejo de la enfermedad desde una perspectiva integral, durante más de cinco años, la Universidad Autónoma Chapingo en colaboración con el Colegio de Posgraduados desarrolló investigación básica y aplicada enfocada hacia el diagnóstico, Epidemiología y Manejo Integrado de esta enfermedad. En este documento, se resumen los aspectos más relevantes de una serie de estudios, lo cuales se integran en estrategias concretas, factibles de aplicarse en plantaciones establecidas de zarzamora, las cuales han sido validadas de manera comercial con resultados favorables. De esta manera buscamos contribuir a evitar o reducir los daños por esta enfermedad y su impacto social en las regiones productoras de zarzamora en México.

