



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

INSTITUTO DE HORTICULTURA

Fungicidas, biocontroladores e inductores de resistencia en híbridos comerciales de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) inoculados con *Phytophthora capsici* Leo.

Tesis que como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

Presenta:

RAFAEL GODÍNEZ PAOLI



Bajo la dirección de la Dra. MARÍA TERESA MARTÍNEZ DAMIAN

CHAPINGO, ESTADO DE MÉXICO A MAYO DE 2020



Fungicidas, biocontroladores e inductores de resistencia en híbridos comerciales de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) inoculados con *Phytophthora capsici* Leo.

Tesis realizada por Rafael Godínez Paoli bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR:


Dra. Ma. Teresa Martínez Damián

CODIRECTOR:


Dr. Santos Gerardo Leyva Mir

ASESOR:


Dra. Ma. Del Rosario García Mateos

ASESOR:


Dr. Jesús Magdaleno Villar

LECTOR EXTERNO:


Dr. Oscar Cruz Álvarez

DEDICATORÍA

Este trabajo está dedicado a toda mi familia, que siempre han apoyado los proyectos que he decidido emprender.

A mis padres Tere y Pablo, quienes siempre han confiado en mi para llegar cada vez más lejos de lo esperado.

A ti Kenia, que me haz acompañado a lo largo de esta aventura junto con Máli, Dana, Rafita y el pequeño Emiliano, que llego a ponerle un gran punch a nuestras vidas.

A mis hermanos que también me han apoyado sobre todo y con todo.

A mis sobrinas, que también en diferentes ocasiones me brindan su apoyo

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo, que para mi siempre será la máxima casa de estudios en materia agronómica por permitirme continuar con mi desempeño y crecimiento académico.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), el cual me proporciono una beca durante el periodo de estudios de doctorado.

A la Dra. Ma. Teresa Martínez Damián quien confió en mi otorgándome la oportunidad de ser dirigido por ella, motivándome siempre con palabras optimistas y de gran aliento.

A la Dra. Ma. del Rosario García Mateos, quien durante mi búsqueda de información para integrarme a esta área tan interesante que es la fitoquímica, me proporcionó consejos y material para documentarme.

Al Dr. Santos Gerardo Leyva Mir, quien considero una gran persona y amigo desde hace años que ha participado en mi formación no solo académica sino personal.

Al Dr. Jesús Magdaleno Villar que me apoyo con información para llevar a cabo de la manera más acertada este trabajo desde el inicio.

Al Dr. Oscar Cruz Álvarez por sus revisiones y recomendaciones tan puntuales y acertadas en mis artículos y en esta tesis.

Al Q. Cecilio Bautista Bañuelos, por su guía durante el trabajo realizado en el laboratorio y la Sra Mary, del área de campo.

A Marianita, Juanito, la Dra Alma, Dr. Guillermo y Dr. Moisés, que siempre estuvieron para ayudarme con cualquier contratiempo (Todos fueron piezas clave para este trabajo)

DATOS BIOGRÁFICOS

El M.C. Rafael Godínez Paoli originario del municipio de Texcoco, inició su formación académica en el año 1999 ingresando a la Universidad Autónoma Chapingo, en donde cursó la Preparatoria Agrícola, para incorporarse en el año 2002 al Departamento de Parasitología Agrícola, en donde obtuvo el título de Ingeniero Agrónomo Especialista en Parasitología Agrícola. Desde el 2007 al 2013 laboró en diversas áreas relacionadas a la sanidad vegetal y la inocuidad agroalimentaria en México dentro de la iniciativa privada y la administración pública, hasta que en el año 2013 ingreso a la Maestría en Protección Vegetal, en la Universidad Autónoma Chapingo, egresando en el año 2015 para incorporarse al programa de Doctorado en Ciencias en Horticultura del Departamento de Fitotecnia en la Universidad Autónoma Chapingo. Durante toda su trayectoria a fungido como asesor técnico y productor de diversos cultivos como maíz, avena, triticale, hortalizas, papaya, alfalfa, aguacate y flores. Participando también como capacitador en el área de producción de forrajes regionales y producción de ganado durante el curso de capacitación a integrantes de 16 países del caribe en agosto del 2014.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
RESÚMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. OBJETIVOS.....	5
3. HIPÓTESIS.....	5
4. REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
4.1 Origen del chile pimiento morrón (<i>Capsicum annum</i> L.).....	6
4.2 Importancia del chile pimiento morrón (<i>Capsicum annum</i> L.)...	6
4.3 Taxonomía.....	7
4.4 Descripción botánica de <i>Capsicum spp</i>	8
4.5 Usos y propiedades.....	8
4.6 Requerimientos edafoclimáticos.....	9
4.6.1 Suelo.....	9
4.6.2 Clima.....	9
4.6.3 Humedad.....	10
4.6.4 Temperatura.....	10
4.6.5 Fotoperiodo.....	11

5. Problemas fitosanitarios.....	11
5.1. Hongo causante de la marchitez del chile.....	11
5.2. Clasificación taxonómica.....	11
5.3. Importancia y distribución.....	12
5.4. Descripción morfológica.....	13
5.5. Síntomas.....	13
5.6. Desarrollo de la enfermedad.....	14
6. Mecanismos de defensa de las plantas.....	14
6.1. Respuesta asociada a la pared celular.....	15
6.2. Respuesta de hipersensibilidad.....	16
6.3. Respuesta bioquímica.....	17
7. MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
7.1. Ubicación del sitio experimental.....	18
7.2. Germoplasma.....	18
7.3. Producción de plántulas y trasplante.....	18
7.4. Diseño experimental y tratamientos.....	19
7.5. Aplicación de tratamientos.....	20
7.6. Aislamiento de <i>P. capsici</i> y preparación del inóculo.....	21
7.7. Inoculación y prueba de patogenicidad.....	23
7.8. Variables valuadas.....	24
7.9. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE).....	25

7.10. Análisis estadístico de datos.....	25
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
8.1. Prueba de patogenicidad.....	25
8.2. Incidencia.....	26
8.3. Severidad.....	27
8.4. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE).....	28
9. CONCLUSIONES.....	32
8. LITERATURA CITADA.....	33

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Superficies de siembra y cosecha, producción y valor económico de la producción de pimienta morrón en México del año 2009 al 2018 (SIAP, 2018).....	7
Cuadro 2. Origen comercial y características de los híbridos de pimienta morrón evaluados en este estudio.....	19
Cuadro 3. Nombre comercial, ingrediente activo y dosis aplicados de los productos utilizados para el control de <i>P. capsici</i> en pimienta morrón.....	22
Cuadro 4. Incidencia de marchitez en híbridos de pimienta morrón inoculados con <i>P. capsici</i>	27
Cuadro 5. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) de <i>P. capsici</i> en plantas de pimienta morrón sometidas con fungicidas, biocontroladores e inductores de resistencia.....	28
Cuadro 6. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) de <i>P. capsici</i> en plantas de pimienta morrón sometidas con fungicidas, biocontroladores e inductores de resistencia.....	30
Cuadro 7. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) de <i>P. capsici</i> en híbridos de pimienta morrón.....	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. A. Esporangios de <i>P. capsici</i> con zoosporas en su interior, B. Zoosporas de <i>P. capsici</i> liberadas en agua estéril.....	23
Figura 2. Guía visual para evaluación de incidencia y nivel de daño (%) causado por <i>P. capsici</i> en plantas de <i>C. annuum</i>	24

RESUMEN

Rafael Godínez-Paoli, Instituto de Horticultura, Departamento de Fitotecnia,
Universidad Autónoma Chapingo

Fungicidas, biocontroladores e inductores de resistencia en híbridos comerciales de pimiento morrón inoculados con *Phytophthora capsici*

Mayo del 2020

Bajo la dirección de la Dra. María Teresa Martínez-Damián

Resumen. El objetivo de esta investigación fue evaluar el nivel de resistencia de diferentes híbridos comerciales de pimiento morrón (Caoba rojo, Dicaprio amarillo, Pimiento Olvera, Sympathy, California wonder y PS16364212), a *P. capsici* mediante el uso de fungicidas, biocontroladores e inductores de resistencia. El ensayo se realizó bajo condiciones de invernadero en bolsas de polietileno negro con arena de tezontle como sustrato. Los productos se manejaron de acuerdo con la dosis recomendada por el fabricante, aplicándose a los 10 y 20 días después del trasplante. Posteriormente, las plantas se inocularon con una solución de zoosporas móviles a una concentración de 1×10^6 . Se realizaron tres evaluaciones visuales para el registro de incidencia, severidad y ABCPE. Se encontró que PS16364212 presentó mejor resistencia al ataque de *P. capsici* con 14.9 % de incidencia y 15.7 % dia^{-1} (ABCPE) respecto a California wonder (44.2 % de incidencia). La aplicación de Metalaxil-M y Acibenzolar-S-metil mostraron la menor ABCPE (0.8 y 6.8 % dia^{-1} , respectivamente), por lo que ambos productos pueden ser considerados como una alternativa dentro del manejo integrado de la marchitez del chile.

Palabras clave: *Capsicum annuum* L., oomicetes, marchitez, Acibenzolar-S-metil, resistencia sistémica

ABSTRACT

Rafael Godínez-Paoli. Instituto de Horticultura, Departamento de Fitotecnia,
Universidad Autónoma Chapingo

Fungicides, biocontrollers and resistance inducers in commercial bell pepper hybrids inoculated with *Phytophthora capsici*

May 2020

Under the direction of Dra. Maria Teresa Martinez Damian

Abstract. The aim of this research was to evaluate the resistance level of different commercial bell peppers hybrids (Caoba rojo, Dicaprio amarillo, Pimiento Olvera, Sympathy, California wonder y PS16364212), to *P. capsici* by using fungicides, biocontrollers and inducers of resistance. The assay was carried out under greenhouse conditions in black polyethylene bags with tezontle sand as substrate. The products were applied according to the manufacturer's recommended dose, 10 and 20 days after transplant. Subsequently, the plants were inoculated with a solution of mobile zoospores at a concentration of 1×10^6 . Three visual evaluations were carried out to record incidence, severity and AUDSC. It was found that PS16364212 presented better resistance to *P. capsici* attack with 14.9 % incidence and 15.7 % day^{-1} (AUDSC) compared to California wonder (44.2 % incidence). The application of Metalaxil-M and Acibenzolar-S-methyl showed the lowest AUDSC (0.8 and 6.8 % day^{-1} , respectively), so that both products can be considered as an alternative within the integrated management of wilt of the chili.

Keywords: *Capsicum annuum* L., oomycetes, wilting, Acibenzolar-S-methyl, defense activator, systemic resistance

Fungicidas, biocontroladores e inductores de resistencia en híbridos comerciales de pimiento morrón inoculados con *Phytophthora capsici*

INTRODUCCIÓN

El pimiento morrón (*C. annuum*) es una de las hortalizas de mayor importancia a nivel mundial, ya que su cultivo genera derrama económica en cada uno de los países que se produce. En todo el mundo se cosechan 36,771,482 t de chiles y pimientos, ocupando el lugar 35 dentro de los 165 cultivos considerados en las estadísticas de la FAO (2018).

Este cultivo enfrenta problemas importantes de tipo fitosanitario que causan grandes mermas económicas en todas las áreas cultivadas del país, sin embargo las más importantes son ocasionadas por hongos, bacterias y virus (Sandoval, 1993).

El oomiceto *P. capsici* provoca una enfermedad conocida como marchitez o secadera del chile, la cual ocasiona la pudrición radicular, clorosis y caída de hojas de la planta (Velásquez *et al.*, 2003) con niveles de afectación entre 10 y 100 % del cultivo (Jiménez-Camargo, 2018), lo cual se encuentra en función de las condiciones climáticas prevalecientes y la aplicación oportuna de fungicidas que permitan inhibir el ciclo de reproducción del hongo. No obstante, el empleo constante de productos químicos ha causado un incremento en la resistencia del patógeno, así como un deterioro ambiental (suelo, agua y aire), impactando también en un incremento de los costos de producción (Sánchez-Gurrola *et al.*, 2019).

Entre las estrategias que se emplean para disminuir el efecto negativo de esta enfermedad se encuentra el uso de portainjertos resistentes, no obstante, su uso se ve limitado por el tipo de portainjerto, condiciones edafoclimáticas y la especie o variedad empleada como injerto (Sánchez *et al.*, 2015). En este sentido, lo más práctico y útil es el aprovechamiento de los mecanismos de defensa físicas (ceras, cutícula, paredes celulares, tamaño, forma y ubicación de aperturas naturales, entre otras) y químicas (etileno, ácido jasmónico, lignina, ácido salicílico y nutrientes esenciales) pre-existentes (Laredo *et al.*, 2017), así como respuestas inducibles que son activadas antes y después de la penetración del patógeno (Canchignia *et al.*, 2015), es decir, el patógeno al entrar en contacto con la planta, pone en marcha un sistema de comunicación molecular entre estas, lo cual desencadena la inducción de mecanismo de defensa en la planta (Camarena-Gutiérrez y de la Torre-Almaráz, 2007), y de igual forma proporciona a la planta mejor capacidad de respuesta a un ataque posterior del patógeno (Jiménez-Camargo, 2018).

En la actualidad, a nivel comercial existen productos de origen natural y sintético (biocontroladores) e inductores de resistencia (sintéticos) que mediante su aplicación actúan sobre la planta e impiden o retrasan la entrada del patógeno, y con ello limitan su actividad en el tejido u órgano infectado, pero sin tener un efecto directo o actividad específica sobre los fitopatógenos (Laredo *et al.*, 2017), lo cual propicia como ventaja directa la disminución del impacto ambiental, así como una reducción de costos de producción en el control del patógeno mediante el uso de fungicidas caros.

OBJETIVOS

General

- Evaluar el nivel de resistencia de diferentes híbridos comerciales de pimiento morrón a *P. capsici* mediante la aplicación de fungicidas, biocontroladores e inductores de resistencia.

Particulares

- Seleccionar el mejor genotipo de pimiento morrón con base en el número de plantas que presenten el menor nivel de incidencia de *P. capsici*.
- Determinar si es posible el manejo de *P. capsici* excluyendo el uso de fungicidas de origen químico.
- Generar información de utilidad para que esta pueda incluirse en programas de mejoramiento genético y/o en programas de manejo integrado del cultivo de pimiento morrón.

HIPOTESIS

- Almenos uno de los híbridos utilizados en el estudio presenta un nivel diferente de resistencia al oomiceto *P. capsici*, el cual afecta el desarrollo de las plantas.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Origen del chile pimienta morrón (*Capsicum annum* L.)

El origen de esta planta se ubica en Sudamérica, específicamente en la zona de Perú y Bolivia, lugar desde el cual se ha expandido hacia América Central, el chile pimienta morrón, has sido cultivado desde la época de los indios de América. . El cultivo de esta hortaliza se ha extendido a lo largo de los años por otros países de los continentes Europeo, asiático y africano. (Maroto, 2002).

4.2. Importancia del chile pimienta morrón (*Capsicum annum* L.)

En México la producción de chile, incluyendo las diferentes variedades que se cultivan, alcanzo 2.3 millones de toneladas, rebasando 22,500 millones de pesos, siendo esta hortaliza uno de los principales productos que se comercializan a nivel internacional. El pimienta morrón se ha convertido en un cultivo de alta demanda tanto para consumo nacional como para exportación, las superficie de siembra se ha visto incrementada en un 203% del año 2009 al 2018 (Cuadro 1), siendo actualmente los estados de mayor producción de esta hortaliza Sinaloa y Sonora con 4,495.62 y 1,862 ha cosechadas respectivamente (SIAP, 2018), siendo los principales destinos de exportación Estados Unidos, Canadá y España. El pimienta morrón ocupa dentro del sector agrícola en México el tercer lugar en exportación, siendo este superado por aguacate y tomate. (SAGARPA, 2017).

Cuadro 1. Superficies de siembra y cosecha, producción y valor económico de la producción de pimiento morrón en México del año 2009 al 2018 (SIAP, 2018).

Año	Superficie sembrada (ha)	Superficie cosechada (ha)	Producción (t)	Valor de Producción
2018	8,064.97	7,994.97	619,721.21	\$7,031,230.87
2017	7,680.48	7,680.48	609,004.96	\$6,674,560.37
2016	8,139.41	8,037.41	525,869.37	\$4,570,019.54
2015	7,004.58	6,998.08	433,435.50	\$3,877,579.36
2014	6,021.06	5,581.56	375,590.74	\$3,230,457.35
2013	5,237.90	5,209.62	391,892.78	\$2,961,840.24
2012	6,752.47	6,699.27	404,280.55	\$2,538,990.17
2011	7,533.26	3,895.76	223,744.26	\$1,769,556.29
2010	4,632.71	4,625.71	251,542.50	\$987,264.52
2009	4,238.06	3,938.06	183,104.28	\$861,837.58

4.3. Taxonomía

Los diferentes tipos y variedades de chiles que existen, se agrupan en el género *Capsicum*, siendo según Nuez *et al.* (2003), la siguiente forma de clasificación.

División: *Spermatophyta*

Línea XIV: *Angiospermae*

Clase A: *Dicotyledones*

Rama 2: Malvales-Tubiflorae

Orden XXI: *Solanales* (Personatae)

Familia: *Solanaceae*

Género: *Capsicum*

Especie: *Capsicum annuum* L.

4.4. Descripción botánica de *Capsicum* spp.

Holman y Robbins (1961) y Ruiz *et al.* (1949) describen al género *capsicum* como plantas de tipo anual y perene que poseen una raíz típica o pivotante. Poseen un tallo cilíndrico semileñoso que presenta crecimiento vertical con ligeras angulaciones las cuales a cierta altura forman tres o cuatro ramificaciones, las cuales van a dar origen a las flores, la altura final de la planta de chile puede ser de entre 120 y 130 cm, lo cual dependerá del tipo de variedad y las condiciones que se presenten durante el desarrollo de la planta (Huerres y Caraballo, 1988). Presenta hojas con simetría bilateral, las cuales alternas, pecioladas y simples, la flor es pedunculada, hermafrodita y solitaria, la cuales poseen un cáliz dentado gamosépalo persistente con una corola gamopétala, el color de la flor puede ser de blanco a un tono blanco cremoso, la longitud de estas es de 5 a 11 mm, presenta un androceo libre con dos sacos polínicos; la posición del ovario es supera con óvulos posicionados en forma axilar sobre la placenta. El tipo de fruto de este género de plantas, corresponde a una baya con un pericarpio carnoso el cual se encuentra rodeando a los carpelos en donde se encuentran las placentas sobre las cuales se desarrollaran las semillas, el color del fruto puede ser verde, amarillo, naranja o rojo (Holman y Robbins, 1961 y Ruiz *et al.* 1949).

4.5. Usos y propiedades

El principal uso del fruto de la planta de pimiento morrón, es gastronómico, consumiéndose este en fresco, en ensaladas, encurtido con vinagre, horneados

rellenos, asados, etc. También tiene usos medicinales, para contrarrestar efectos de uremia, desordenes gastrointestinales, artritis, etc. Los pimientos poseen propiedades antioxidantes debido a sus altos niveles de caroteno y betacaroteno, por lo que ha sido utilizado como un coadyuvante para combatir enfermedades cardiacas, hemorragias cerebrales y cataratas Vives (1984).

4.6. Requerimientos edafoclimaticos

4.6.1. Suelo

El cultivo del pimiento morrón es un cultivo exigente en suelo, pues para lograr un óptimo desarrollo y producción, este requiere de suelos francos, que sean profundos, para permitir un crecimiento libre a la raíz, así como un suelo que permita un buen drenaje del agua para evitar condiciones favorables para el desarrollo de enfermedades de la raíz. El pH idóneo para el desarrollo del cultivo deberá encontrarse entre 5.5 a 7.0, para lograr una buena producción debe establecerse el cultivo en un suelo que tenga buena pendiente para evitar encharcamientos, ya que el pimiento morrón es muy sensible a la asfixia de la raíz (Juscafresca, 1987).

4.6.2. Clima

El pimiento morrón es un tanto flexible en su requerimiento climático, pues puede producirse desde climas tropicales hasta climas templados en un rango de los 15 a 25 °C, sin embargo Vigiola (1992) sugiere que el mejor desarrollo de este cultivo se da en climas templado-cálidos, en los que para que pueda haber una buena producción, se requieren almenos 130 días libres de heladas. Thompson y Kelly (1957), considera que

no se debe producir esta hortaliza en zonas donde las temperaturas bajen a menos de 15°C, ya que bajo estas condiciones existe un retraso en el crecimiento del cultivo.

4.6.3. Humedad

Debido a la morfología de la raíz del pimiento, este requiere un buen nivel de humedad, el cual debe ser constante sin caer en el exceso, Huerres y Caraballo (1991) sugieren que los niveles de humedad durante el desarrollo y producción del cultivo afectan directamente el rendimiento y la calidad de los frutos, aseverando que cuando los niveles de humedad en el suelo son bajas, se ve afectado el espesor de la pulpa y la cantidad acumulada de materia seca, pero sobre todo se pueden presentar fisiopatías como deformidades en los frutos. El pimiento morrón es un cultivo que también exige altos niveles de humedad relativa, pues para que pueda tener un buen crecimiento y desarrollo debe presentarse una humedad entre 50 y 70%, esto debido a que el cultivo es muy sensible a estrés por sequía (Ibar y Juscafresca, 1987)

4.6.4. Temperatura

La semilla de pimiento morrón requiere de una temperatura de 25° C para una óptima germinación, sin embargo si durante este periodo la temperatura desciende a menos de 13° C o se eleva a más de 40° C, este proceso se ve afectado negativamente; mientras que para que se logre un buen desarrollo vegetativo, la planta requiere de una temperatura de entre 20 y 25° C en el día y de 16 a 18° C. Cuando se presentan temperaturas por debajo de los 10° C, el desarrollo de la planta se ve detenido (Serrano, 1982).

4.6.5. Fotoperiodo

El cultivo de pimiento morrón es muy sensible a la luz, ya que requiere una alta luminosidad para poder tener un buen desarrollo, si la cantidad de luz es deficiente durante el desarrollo vegetativo, los tallos se alargan entre los entrenudos, dando origen a tallos delgados y débiles, los cuales serán incapaces de resistir la carga de frutos cuando estos maduren, el cultivo tendrá su mejor desarrollo cuando halla entre 12 y 15 horas luz, caso contrario el periodo vegetativo se verá prolongado (Serrano, 1982 y López *et al.*, 1983).

5. Problemas fitosanitarios

El cultivo de chile es una de las hortalizas con mayor susceptibilidad a plagas y enfermedades debido a su amplio rango de hospederos. Los problemas fitosanitarios de este cultivo se pueden presentar en cualquiera de las etapas fenológicas, lo que repercute fuertemente desde la cantidad de plantas emergidas hasta el rendimiento en la producción. Las pérdidas en el cultivo pueden llegar hasta el 100%, dentro de los grupos importantes que afectan la sanidad del cultivo se encuentran los oomicetos, hongos, virus, bacterias, nematodos e insectos (Santos, 2010).

5.1. Hongo causante de la marchitez del chile.

Phytophthora capsici Leo.

5.2. Clasificación taxonómica

Debido a características particulares las cuales serán mencionadas más adelante, Kirk *et al.* (2001) realizó la siguiente clasificación.

Reino: Chromista

Phylum: Oomycota

Clase: Oomycetes

Orden: Pythiales

Familia: Pythiaceae

Género: *Phytophthora*

Especie: *Phytophthora capsici* Leo.

5.3. Importancia y distribución

El oomiceto *P. capsici*, es un patógeno que puede estar presente en cualquier lugar (montañas, desiertos, lugares acuáticos e incluso en la Antártida), sin embargo el primer reporte existente fue del Dr. J. Galindo en el año 1956; *P. capsici* fue descrito por primera vez por Leonian en Nuevo México, USA, ocasionando la marchitez del chile; actualmente existen reportes de que este oomiceto puede ocasionar niveles de pérdida en el cultivo que van del 10 hasta el 100% (Thines y Kamoun, 2010; Pérez *et al.*, 1990; Chávez, 1994; Jiménez-Camargo, 2018).

Debido a las pérdidas causadas por el oomiceto en el cultivo de chile, los productores se han visto obligados a emigrar a tierras que no están infestadas con el patógeno (Pozo, 1983). *P. capsici* es un patógeno con un amplio rango de hospedantes, el cual además de atacar solanáceas, se ha encontrado afectando a otros cultivos como pimienta negra, cacao, tomate, chayote, ciruela, algodón, pepino, calabaza, entre otros; el oomiceto es un patógeno cosmopolita, pues ha sido reportado en otros países como Estados Unidos de Norteamérica, Taiwán, Italia, Puerto Rico, Argentina, Venezuela,

Brasil, Japón, Bolivia, España, Irán, Serbia, China, Korea, Francia y Tailandia (Erwin y Ribeiro, 1996).

5.4. Descripción morfológica

P. capsici, forma esporangios de forma ovoidal, alargada, subesfericos elispoidal, piriforme, fusiforme e incluso formas distorsionadas, lo cual se ha observado que depende de la influencia de algunas otras condiciones como la luz (Erwin y Ribeiro, 1996; Leonian, 1922), estas estructuras miden en promedio 60x36 μm , aunque puede haber algunas variaciones, los esporangios generalmente son papilados, llegando a ser en algunas ocasiones semipapilados, de igual modo en algunas ocasiones pueden darse esporangios con 2 o 3 papilas, el grosor de la pared de esta estructura mide de 1.4 a 9.2 μm , estos esporangios dan origen a células infectivas llamadas zoosporas, las cuales son heterocontas biflageladas las cuales poseen la habilidad de desplazarse e películas finas de agua (Cavalier-Smith, 1986; Hawksworth *et al.*, 1995), también forma esporangioforos en simpodio simple. Su micelio es heterotalico y sus estructuras sexuales están compuestas por un anteridio anfígeno y un oogonio esférico o subesferico que mide de 20 a 50 μm de diámetro, sus oosporas son pleróticas de aspecto semitransparente con un diámetro de 25 a μm , con una pared gruesa; el micelio que forma puede llegar a ser toruloso y este puede medir de 5 a 8 μm de ancho (Leonian, 1922).

5.5. Síntomas

El primer síntoma de *P. capsici*, es la marchitez o pérdida de turgencia por parte de la planta, lo cual sigue avanzando hasta llegar a la muerte de la planta, este síntoma

puede presentarse en cualquier etapa fenológica de la planta, siendo más susceptible en los primeros estados de desarrollo. En la parte subterránea comenzará un ataque directo a la raíz, la cual presentará una necrosis inicial, atacando primero los tejidos corticales para enseguida atacar los tejidos vasculares, lo cual ocasionará una obstrucción del sistema vascular hasta llegar a la muerte de la planta (Mendoza, 1996).

5.6. Desarrollo de la enfermedad

El desarrollo de la enfermedad se iniciará mediante la reproducción del patógeno, *P. capsici*, posee la habilidad de reproducirse sexual y asexualmente. La reproducción sexual es una de las características más distintivas en los oomicetos, este tipo de reproducción se da a través de la fecundación de un gametangio llamado oogonio por un anteridio, dando origen a una oospora la cual va a funcionar como una estructura de resistencia capaz de sobrevivir por años en condiciones adversas, una vez que se presenten las condiciones óptimas para su germinación, esta dará origen a una hifa la cual dará origen a un esporangio que formará zoosporas. En la reproducción asexual, se forman esporangios los cuales desarrollan en su interior las zoosporas típicas biflageladas (Fry and Grünwald, 2012).

6. Mecanismos de defensa de las plantas

El mecanismo de defensa de las plantas se ve activado cuando son atacadas por un patógeno, debido a que este posee sustancias llamadas elicitores, la cuál debe ser reconocida por la planta para que a su vez reconozca al patógeno que la está atacando y así se induzca la respuesta de resistencia (Cavalcanti *et al.*, 2006; Tripathi, 2010). Las sustancias que utilizan los patógenos cuando atacan a su hospedante pueden ser

carbohidratos específicos de la pared celular del hongo, enzimas microbianas, polipéptidos, estructuras especializadas, lípidos del patógeno, hapinas, flagelinas, laminarias, polisacáridos, oligogalacturonidos, quitina, quitosan y sistemina entre otros (Bautista, 2012). Es importante que se logre el reconocimiento del patógeno para que la planta lleve a cabo un programa de resistencia, ya sea a nivel local o en partes alejadas del ataque, lo que desencadenaría una respuesta sistémica. Una vez que la planta detecta el ataque del patógeno, se desencadenará una respuesta inducida que modificara la prioridad del metabolismo de la planta lo cual al mismo tiempo dará lugar a modificaciones físicas y en los componentes químicos, induciendo la producción de sustancias del metabolismo secundario para fortalecer las paredes y membranas celulares, la expresión de genes inductores de proteínas de resistencia a patógenos, así como la producción de sustancias inhibidoras y/o tóxicas para el patógeno.

El desarrollo de estos mecanismos de defensa, se ha clasificado en tres tipos (Graham *et al.*, 2005):

- Respuesta asociada a la pared celular
- Respuesta de hipersensibilidad
- Respuesta bioquímica

6.1. Respuesta asociada a la pared celular. Esta respuesta se basa principalmente en generar barreras físicas para bloquear el avance del patógeno hacia el interior de la planta. Los puntos principales en los que el patógeno busca penetrar son la epidermis,

pared y membrana celular, para así poder llegar a los contenidos del citoplasma, para lo que este tipo de respuesta busca a toda costa evitar que el patógeno logre llegar a los contenidos citoplasmáticos, de tal modo que se impida la degradación de la membrana, fortaleciéndola al igual que la pared celular (Heil, 2000; Orde, 2002). Desde el inicio de este proceso de respuesta al ataque del patógeno, se incrementa la formación de depósitos de lignina y calosa, los cuáles aunque se sintetizan de manera constante en la planta, estos incrementan su síntesis durante el ataque del patógeno (Orde, 2002). Al mismo tiempo que ocurre este proceso, se sintetizan proteínas con altos contenidos de hidroxiprolina, las cuáles ayudan a evitar la degradación de las pectinas a nivel de la pared celular por efecto de poligalacturonasas. La respuesta asociada a la pared celular se encuentra influenciada por otro tipo de sustancias como las oxígeno-reactivas y de señalizadores peróxido de hidrógeno el cuál si se encuentra a concentraciones altas (fitotóxicas) promueve la lignificación de la pared celular, síntesis de ácido jasmónico y la síntesis de calosa, que depende de la calosa sintetaza la cual depende al mismo tiempo de altas concentraciones de ácido salicílico (Guerrero *et al.*, 2011; Wise y Abrahamson, 2008).

6.2. Respuesta de hipersensibilidad (RH). Durante el proceso de esta respuesta, se lleva a cabo la síntesis de sustancias oxígeno-reactivas, sustancias tóxicas para los patógenos y se iniciará el proceso de muerte celular programada. Durante el ataque de los patógenos se inicia el flujo de iones Ca^{2+} , H^+ , K^+ y Cl^- a través de la membrana plasmática y pared celular los cuáles están asociados a los procesos ocurridos con la RH, ligados a la formación de sustancias oxígeno-reactivas y cambios en la pared celular (modificación de pH e incremento en la síntesis de lipasas (Sepulveda *et al.*,

2005; Tamargo *et al* 2012). Con base en estudios moleculares se ha demostrado que durante el desarrollo de la RH se ven incrementados los niveles de ácido jasmónico y ácido salicílico (Sanzón y Zavaleta, 2011), durante el proceso de la RH, la planta induce la muerte de algunas células, mismas que se encuentran en la periferia del patógeno, por medio de sustancias oxígeno-reactivas como el peróxido de hidrógeno, iones hidróxido y óxido de nitrógeno, las cuales actúan como sustancias tóxicas para el patógeno (Pieterse *et al.*, 1998). El óxido de nitrógeno aparte de ser el principal generador de muerte de células, se convierte en el señalizador de genes en la expresión de genes. El óxido de nitrógeno y el peróxido de hidrógeno son los encargados de la inducción de la expresión de genes de la fenilalanina amonio liasa, glutatión transferasa y genes de respuesta a la patogenicidad. La síntesis de estas dos sustancias dentro de las plantas es controlada por la superoxidodismutasa (Thatcher, 2005).

6.3. Respuesta bioquímica. Este tipo de respuesta se encuentra regulada por genes, la cual, enseguida del proceso de elicitación, comenzara la síntesis de rutas señalizadoras que iniciarán la producción de sustancias como las fitoalexinas (Rinella *et al.*, 2009). Dependiendo del tipo de señal que reciba la planta, se generará la ruta de respuesta (Hernández *et al.*, 2003), por ejemplo el ataque de un herbívoro provoca que se inicien en la planta las rutas del ácido jasmónico y etileno, mientras que cuando se elicit el ataque de un hongo hemibiotrófico se inicia la síntesis de ácido salicílico. En este tipo de respuesta, los principales señalizadores son el ácido salicílico y el ácido jasmónico (Salgado, 2012).

7. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1. Ubicación del sitio experimental

Este experimento fue establecido en el invernadero P-5 tipo tunel ubicado en el Campo Agrícola experimental del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Estado de México, México (19°29'33" N, 98°52'21" O) con una altitud y temperatura media anual de 2,267 m y 15.9 °C, respectivamente.

7.2. Germoplasma

El material vegetal empleado para este trabajo consistió de seis híbridos comerciales de pimiento morrón cuyas características son descritas en el Cuadro 2, dichos materiales fueron proporcionados por el Dr. Jesús Magdaleno Villar.

7.3. Producción de plántulas y trasplante Las semillas de los híbridos de chile pimiento morrón fueron sembradas el 23 de marzo de 2018 en charolas de poliestireno expandido con 128 cavidades, en la que se empleó peatmoss (turba) y perlita (1:2) como sustrato, previamente esterilizados con agua hirviendo. Antes de realizar la siembra las semillas se sometieron a una desinfección en una solución de hipoclorito de sodio al 1%, por tres minutos, enjuagándolas posteriormente con agua corriente. Con la finalidad de promover y agilizar el proceso de germinación, las charolas de siembra se apilaron y cubrieron con un plástico oscuro dentro del invernadero. Una vez que comenzaron a emerger las plántulas se les retiró el plástico y se dejaron expuestas dentro del mismo invernadero hasta el 19 de mayo de 2018. El trabajo se llevó a cabo bajo condiciones de invernadero, para ello se utilizaron 336

plántulas (60 días de emergencia) con seis híbridos de pimiento morrón, las cuales fueron trasplantadas el 22 de mayo de 2018 en bolsas de polietileno negro con capacidad de 10 L rellenas con arena de tezontle (roca volcánica) como sustrato. Junto con la aplicación de los riegos, se llevó a cabo la aplicación de nutrimentos de las plantas se realizó mediante un sistema de riego por goteo presurizada, cuya solución nutritiva tuvo una concentración nutrimental (mg L^{-1}): N (250), P (60), Ca (250), K (250), Mg (60), S (205), Fe (3), Mn (1), B (0.5), Cu (0.1) y Zn (0.5), donde el volumen de riego aplicado fue de un litro por planta, distribuidos en dos riegos (mañana y tarde) con media hora de duración.

7.4. Diseño experimental y tratamientos.

Se empleó un diseño experimental de parcelas divididas con arreglo de tratamientos factorial 6 x 8, para ello se consideró: 1) seis híbridos comerciales (Caoba rojo, Dicaprio amarillo, Pimiento Olvera, Sympathy, California wonder y PS16364212), 2) ocho tratamientos (Acibenzolar metil (ASM) + inoculación, *Bacillus subtilis* (BS) + inoculación, agua destilada (TEST) + inoculación, Metalaxil-M (METM) + inoculación, *Trichoderma* spp. (TRICH) + inoculación, Fosfonato de potasio (FP) + inoculación, Fosetil-Al (FAL) + inoculación y agua destilada (TESTAB) sin inoculación. La unidad experimental se constituyó de una planta con ocho repeticiones por tratamiento. Los productos fueron aplicados de acuerdo con la dosis indicada por el fabricante (Cuadro 3) y donde se consideró una densidad de 2.5 plantas m^{-2} . La aplicación de los tratamientos se realizó el primero y el 11 de junio a los 10 y 20 días después del trasplante, respectivamente. Con excepción de Actigard 50 GS y Aliette,

el resto de productos fueron aplicados mediante la inyección directa al sustrato (área de la base del tallo). Las plantas fueron inoculadas con 50 mL de una solución de zoosporas móviles a una concentración de 1×10^6 .

Cuadro 2. Origen comercial y características de los híbridos de pimiento morrón evaluados en este estudio.

Híbrido	Empresa	Características
Caoba rojo	Syngenta	Fruto con madurez a rojo y de alto porcentaje de frutos extra grandes de alta calidad y madurez
Dicaprio	Enza zaden	Fruto con madurez amarilla con frutos grandes y
amarillo		extragrandes y madurez intermedia
Pimiento Olvera	Semillas Fito	Fruto con madurez a rojo y de talla grande, con madurez temprana.
Sympathy	Rijk Zwaan	Fruto con madurez naranja y frutos de talla grande, con madurez intermedia-tardía
California	Varias ^x	Fruto con madurez roja, fruto de talla grande y de
wonder		madurez semiprecoz
PS16364212	Monsanto	- Fruto con madurez roja, fruto mediano de forma
	Seminis	cónica y madurez intermedia

^xPatente de híbrido liberada

7.5. Aplicación de los tratamientos.

Las aplicaciones de los productos se realizaron de acuerdo con la dosis indicada por el fabricante (Cuadro 3) y se consideró una densidad de plantación comercial bajo invernadero de 2.5 plantas m^{-2} . Las aplicaciones se realizaron el primero y el 11 de

junio, 10 y 20 días después del trasplante (DDT), respectivamente. La preparación de cada una de las soluciones se realizó en botes nuevos de plástico de capacidad de 20 L. Para la medición de los productos líquidos se utilizaron probetas graduadas, mientras que para los polvos y gránulos se utilizó una báscula granataria digital KP-103[®] (Tangent, PAIS), con precisión de 0.01 g y capacidad máxima de 200 g.

La aplicación de los productos se realizó mediante una inyección directamente al sustrato (área de la base del tallo) con la finalidad de cubrir el área radicular de cada planta, para ello se determinó previamente el gasto de solución aplicada con una probeta graduada. Para las aplicaciones foliares, se utilizaron atomizadores de 250 mL para cada producto, asperjando la dosis correspondiente por planta.

7.6. Aislamiento de *P. capsici* y preparación del inóculo.

En este trabajo se empleó la cepa 6143 de *P. capsici*, misma que fue proporcionada por el área de Fitosanidad-Fitopatología del Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo, la cual fue re-sembrada en medio de cultivo de jugo V8-agar. Una vez que se desarrolló el patógeno, se procedió a su multiplicación mediante la siembra de cuadros de 0.5x0.5 cm en caja Petri con medio de cultivo de jugo V8-agar, dejándose reposar por 24 h a temperatura ambiente (19 °C), posteriormente se colocaron dentro de una incubadora a 28 °C durante seis días. Trascurrido el periodo de incubación y una vez formados los esporangios (Figura 1A), se agregaron 10 mL de agua destilada-estéril para volver a colocarlas en incubación por ocho días más con la finalidad de producir zoosporas móviles (Figura 1B).

Cuadro 3. Nombre comercial, ingrediente activo y dosis aplicados de los productos utilizados para el control de *P. capsici* en pimiento morrón.

Nombre comercial	Ingrediente activo	Dosis ha ⁻¹
Actigard 50 GS ^x	Acibenzolar-S-metilbenzo [1,2,3]tiadiazol-7-carbotioato	50 g
Fitoprón ^x	Anhídrido fosfórico, óxido de potasio y fosfonato potásico	2 L
Serenade ASO ^y	<i>Bacillus subtilis</i> cepa QAT 713	1.5 kg
Espectro Trico-Bio ^y	<i>Trichoderma</i> spp.	2 L
Ridomil Gold 480 SL ^z	Metalaxil-N-(metotoxiacetil)- N-(2,6-xilil)-D-alaninato	0.5 L (1 ^a aplicación) 1.25 L (2 ^a aplicación)
Aliette ^z	Fosetil fosfonato de aluminio.	2.5 kg
Testigo sin tratamiento	Agua destilada	2 L
Testigo absoluto sin inocular	Agua destilada	2 L

^xInductor de resistencia, ^yBiocontrolador y ^zFungicida químico.

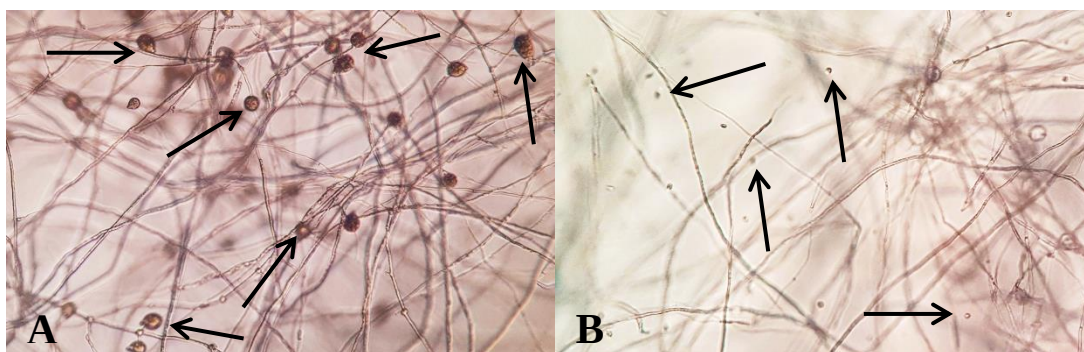


Figura 1. A. Esporangios de *P. capsici* con zoosporas en su interior, B. Zoosporas de *P. capsici* liberadas en agua estéril.

7.7. Inoculación y prueba de patogenicidad.

El 13 de junio de 2018, del total de unidades experimentales, 336 fueron inoculadas con una solución de zoosporas móviles a una concentración de 1×10^6 zoosporas mL^{-1} . Se tomaron 50 mL de la solución y con una jeringa con aguja de punta redondeada se inyectaron en el sustrato, cerca de la base del tallo de cada planta. Se tomaron al azar muestras de raíz de 10 plantas con síntomas típicos de marchitez del chile y se trasladaron al laboratorio de Micología Agrícola del Departamento de Parasitología Agrícola (UACH), en donde fueron lavadas con agua corriente y desinfestadas con una solución de hipoclorito de sodio al 0.5% por cinco minutos y después fueron enjuagadas con agua destilada estéril, posteriormente fueron colocadas en cajas petri con medio de cultivo jugo V8–agar (Singlenton *et. al.* 1992). De las muestras que desarrollaron aislados consistentes del micelio blanco algodonoso, se tomó una porción del micelio para ser caracterizado morfológicamente. Una vez corroborada la presencia del oomiceto en las muestras analizadas, este se aisló nuevamente en cajas petri con medio de cultivo jugo V8–agar para incrementar su crecimiento.

Posteriormente con la finalidad de formar esporangios, a cada caja petri se agregaron 10 mL de agua destilada-esterilizada y se incubaron a 28° C por seis días. Por último, se prepararon 50 mL de una solución de zoosporas a una concentración de 1×10^6 zoosporas mL^{-1} , la cual se aplicó directamente a la raíz de 10 plantas del híbrido Caoba Rojo con 60 días al trasplante, con la finalidad de cumplir con los postulados de Koch, dos plantas se emplearon como testigo.

7.8. Variables evaluadas.

Se realizaron evaluaciones visuales a los 8, 16 y 24 días después de la inoculación (ddi) con la finalidad de detectar plantas que presentaran síntomas de la marchitez o secadera posiblemente ocasionados por el oomiceto *P. capsici*. La evaluación de incidencia se realizó mediante la identificación de plantas con síntomas típicos de la enfermedad respecto del número total de plantas, mientras que con la ayuda de la escala visual propuesta (figura 2), se evaluó el porcentaje de daño que presentó cada planta para determinar la severidad. A partir de estos datos se determinó el área bajo la curva del progreso de la enfermedad. (ABCPE).

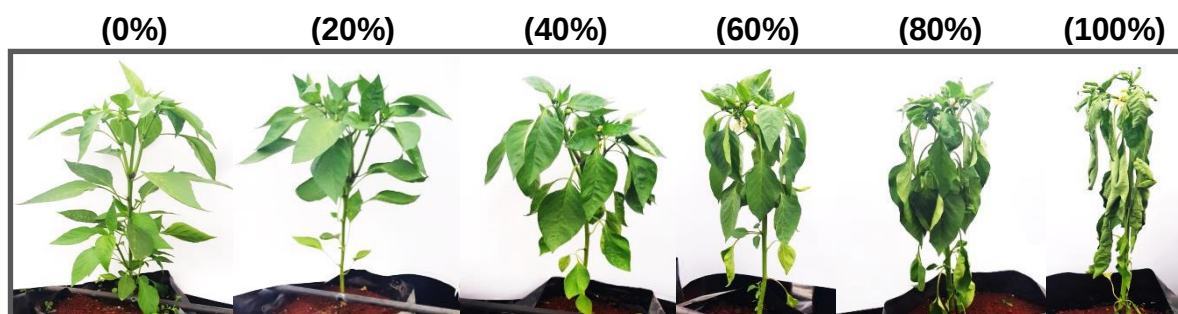


Figura 2. Guía visual para evaluación de incidencia y nivel de daño (%) causado por *P. capsici* en plantas de *C. annuum*.

7.9. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE).

Con los datos obtenidos del nivel de daño, se calculó la severidad de ataque del oomiceto para determinar el ABCPS, para lo cual se empleó el método de integración trapezoidal (Shaner y Finney, 1977) mediante la ecuación:

$$ABCP = \sum_1 + \frac{Y_i + Y_{i+1}}{2} * (t_{i+1} - t_i)$$

Dónde:

Y_i = porcentaje de severidad en el tiempo i

T_i = días después de la inoculación del tiempo i e $i=1, 2, 3, \dots, n$

n = número de muestreos.

7.10. Análisis estadístico de datos.

Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de comparación de medias de rango múltiple de Tukey-Kramer ($p \leq 0.05$), en la que se empleó el paquete estadístico SAS[®] versión 9.0.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1. Prueba de patogenicidad.

Todas las plantas inoculadas con la solución de zoosporas de *P. capsici* presentaron síntomas típicos de pérdida de turgencia paulatina, hasta llegar a una marchitez total, mientras que las plantas testigo que solo se les aplicó agua destilada, no presentaron síntomas de marchitez.

8.2. Incidencia.

En la primera evaluación, se registró una baja incidencia de *P. capsici* sobre los híbridos (19.5%); sin embargo, en el segundo y tercer muestreo, el valor inicial se incrementó a 38.8 y 48.9 %, respectivamente (Cuadro 4), por lo que se hicieron visibles los síntomas típicos de marchitez ocasionada por *P. capsici*. En este sentido, Thines y Kamoun (2010), el ataque del oomiceto inicia con la segregación de proteínas al interior del hospedante, lo que ocasiona alteraciones en los procesos fisiológicos. En el periodo de evaluación, se pudo observar que el híbrido PS16364212 presentó el menor porcentaje de incidencia (14.9%) respecto a California wonder con 44.2 % quien al ser un material vegetal que cuenta con largo de tiempo de uso, ve mermada su resistencia al ataque del patógeno (Sánchez-Gurrola *et al.*, 2019). Estos resultados contrastan con investigaciones donde se indica una mayor susceptibilidad en especies de chile con un bajo contenido de capsaicinoides (capsaicina, norhidrocapsaicina y dihidrocapsaicina) como el pimiento morrón (Castro *et al.*, 2012), sin embargo, Tahboub *et al.* (2008) indican que el inicio de la síntesis y acumulación de compuestos pungentes como los capsaicinoides en el endocarpio, es decir, donde se encuentran las semillas, por lo que no existe una relación directa entre la susceptibilidad a la enfermedad ocasionada por *P. capsici* y el nivel de pungencia de la especie de chile.

Cuadro 4. Incidencia de marchitez en híbridos de pimiento morrón inoculados con *P. capsici*.

Híbrido	Días después de inoculación		
	8	16	24
Caoba rojo	2.2 d ^z	4.2 bc	5.3 ab
Dicaprio amarillo	2.5 cd	4.2 bc	4.8 bc
Pimiento Olvera	1.6 ab	4.1 ab	5.2 ab
Sympathy	1.9 d	4.4 b	6.3 a
California wonder	2.5 cd	5.0 ab	5.8 ab
PS16364212	1.1 e	1.4 de	2.0 d

^zMedias con letras iguales en columnas indican que no existe diferencias estadísticamente significativas de acuerdo con Tukey-Kramer ($p \leq 0.05$).

8.3. Severidad.

Con respecto a la severidad de daños a los 8 ddi, plantas inoculadas con el tratamiento *B. subtilis* mostraron 33.3 %, esto respecto a Metalaxil-M y Acibenzolar-S-Metil (0 % en ambos casos). A los 16 ddi, *B. subtilis* incremento este valor a 80.4 %, en contraste, Metalaxil-M registró 0.4 %. En la última evaluación (24 ddi) se observó un incremento en la severidad para las plantas tratadas con *B. subtilis* (92.9 %), lo cual concuerda con lo reportado con Huallanca y Cadena (2014), además también se presentó un ligero incremento en la severidad con los tratamientos Metalaxil-M y Acibenzolar-S-Metil con valores de 0.8 y 7.0 %, respectivamente (Cosme-Velázquez *et al.*, 2015).

8.4. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE).

El análisis de varianza mostró efectos altamente significativos en la interacción híbrido x tratamiento ($p < 0.0001$) (datos no mostrados). En términos generales los seis híbridos presentaron menor ABCPE cuando se aplicó Acibenzolar-S-Metil (inductor de resistencia) y Metalaxil-M (fungicida) con valores de 6.8 y 0.8 % día⁻¹ respectivamente, esto en relación con el TEST (testigo). Entre los tratamientos, el uso de Metalaxil-M mostró un ABCPE similar a la del TESTAB (Cuadro 5), comportamiento que se asocia con la acción sistémica de este fungicida, es decir, interfiere la incorporación de la uridina durante el proceso de síntesis de ARN (Barchenger *et al.*, 2018). En estudios realizados con Metalaxil-M, se ha demostrado que este es eficiente al reducir el daño ocasionado por el oomiceto *P. capsici* (Fernández-Herrera *et al.*, 2007); sin embargo, es importante buscar otras alternativas de control, pues la eficacia de este fungicida se ha visto afectada por algunos casos de resistencia del oomiceto (Qi *et al.*, 2012).

La aplicación de Acibenzolar-S-metil no presentó diferencia estadística respecto a Metalaxil-M y al TESTAB, al mostrar los valores de ABCPE más bajos entre los tratamientos (Cuadro 4). En este sentido, Malolepsza (2006) reporta que el modo de acción del Acibenzolar-S-metil es similar al ácido salicílico al ser moléculas análogas, donde el primero se encuentra muy asociado con la resistencia sistémica adquirida, dada su interacción con la actividad de enzimas asociadas con la manifestación de resistencia en las plantas.

Con relación a los híbridos, los valores de ABCPE fluctuaron entre 15.7 y 100.8 (% día⁻¹), donde el más sobresaliente fue PS16364212, mientras que el que mayor ABCPE acumuló fue el híbrido California wonder (Cuadro 6), comportamiento que podría vincularse con la síntesis de metabolitos secundarios con diferente naturaleza química, entre éstas, proteínas y aminoácidos, las cuales le permiten a la planta generar un nivel de resistencia en contra del ataque de *P. capsici* (Barchenger *et al.*, 2018), en algunas circunstancias, estos mecanismos de defensa son activados por los compuestos que los patógenos segregan dentro de la planta al ser atacadas (Sánchez-Chávez *et al.*, 2015).

El activador de las defensas Fosfonato potásico y el fungicida Fosetil-Al mostraron un ABCPE de crecimiento similar (Cuadro 7). En este sentido, Huallanca y Cadenas (2014) indican que el Fosfonato potásico es un producto que muestra una efectividad limitada en el control de *P. capsici*. Se ha reportado que la aplicación de Fosetil-Al disminuye el nivel de severidad del ataque del oomiceto, sin embargo, no supera al uso de Metalaxil-M (Fernandez-Herrera *et al.*, 2007), que en este estudio presentó un ABCPE de 0.8 % día⁻¹. Por otro lado, el uso de biocontroladores (*Trichoderma* spp. y *B. subtilis*), desarrollaron la mayor ABCPE similar a lo observado con el TEST, por lo que su efectividad fue mínima para suprimir al oomiceto, lo que coincide con lo reportado por Huallanca y Cadena (2014).

Cuadro 6. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) de *P. capsici* en plantas de pimiento morrón sometidas con fungicidas, biocontroladores e inductores de resistencia.

Tratamiento	ABCPE (% día ⁻¹)					
	Caoba rojo	Dicaprio amarillo	Pimiento Olvera	Sympathy	California wonder	PS16364212
Acibenzolar-S-Metil	22.5 fg ^z	18.8 fg	0.0 g	0.0 g	0.0 g	0.0 g
<i>B. subtilis</i>	195.0 a	182.5 a	170.0 ab	173.8 ab	195.0 a	45.0 dg
Agua destilada	157.5 ab	195.0 a	170.0 ab	157.5 ac	170.0 ab	32.5 eg
Metalaxil-M	5.0 g	0.0 g	0.0 g	0.0 g	0.0 g	0.0 g
<i>Trichoderma</i> <i>spp.</i>	118.8 ae	126.3 ad	128.8 ad	157.5 ac	167.5 ab	28.8 eg
Fosfonato potásico	22.5 fg	43.8 dg	42.5 dg	87.5 bg	105.0 af	3.8 g
Fosetil-Al	60.0 dg	50.0 dg	42.5 dg	87.5 bg	68.8 cg	0.0 g
Agua destilada ^y	0.0 g	0.0 g	0.0 g	0.0 g	0.0 g	0.0 g

^ySin inoculación. ^zMedias con letras iguales en columnas indican que no existe diferencias estadísticamente significativas de acuerdo con Tukey-Kramer ($p \leq 0.05$).

Con 6.9 % de ABCPE, la aplicación Acibenzolar-S-Metil mostró buen control de la enfermedad, no obstante, no superó lo observado con Metalaxil. Al respecto, Cosme-Velázquez *et al.* (2015) señalan que el Acibenzolar-S-Metil al ser un inductor de la

resistencia sistémica, reduce de manera significativa el ABCPE, pero, no elimina la infección. Por su parte, Baysal (2005) reporta que la disminución del daño provocado por *P. capsici* se vincula a la inducción del producto con la generación y síntesis de enzimas, compuestos fenólicos y proteínas PR, reportadas como responsables con la efectividad de los mecanismos de defensa en las plantas en contra del ataque de patógenos.

Cuadro 7. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) de *P. capsici* en híbridos de pimiento morrón.

Tratamiento	ABCPE (% día ⁻¹)
Acibenzolar-S-Metil + inoculación	6.9 d ^z
<i>Bacillus subtilis</i> + inoculación	160.2 a
Testigo (agua destilada + inoculación)	146.9 ab
Metalaxil-M + inoculación	0.8 d
<i>Trichoderma spp.</i> + inoculación	121.3 b
Fosfonato potásico + inoculación	52.2 c
Fosetil-Al + inoculación	51.5 c
Agua destilada (TESTAB)	0.0 d

^zMedias con letras iguales en columnas indican que no existe diferencias estadísticamente significativas de acuerdo con Tukey-Kramer ($p \leq 0.05$).

9. CONCLUSIONES

En esta investigación y las condiciones específicas de evaluación, el híbrido PS16364212 mostró los mejores resultados de resistencia al ataque de *P. capsici*. El uso de Metalaxil-M y Acibenzolar-S-metil mostraron un control eficiente de *P. capsici* en plantas de chile pimiento morrón, en contraste con el fosfonato potásico (promotor de defensas), Fosetil-Al (fungicida químico). Así como los biocontroladores (*Bacillus subtilis* y *Trichoderma spp.*), quienes presentaron eficiencia nula o limitada en la disminución de la severidad del daño provocado por el hongo.

10. LITERATURA CITADA

- Barchenger DW, Lamour, KH, and Bosland, PW. 2018. Challenges and strategies for breeding resistance in *Capsicum annuum* to the multifarious pathogen, *Phytophthora capsici*. *Frontiers in Plant Science* 9: 628.
- Bautista, L. A.; Bravo, M. A. Importancia Ecológica de la Emisión de Compuestos Volátiles Vegetales, en: Rojas, J. Malo, E. Temas Selectos en Ecología Química de Insectos. El Colegio de la Frontera Sur. México, p.268-282, 2012.
- Baysal O, Turgut C, and Mao G. 2005. Acibenzolar-S-methyl induced resistance to *Phytophthora capsici* in pepper leaves. *Biología Plantarum* 49 (4): 599-604.
- Castro RA, Fernández PSP y Osuna ÁP. 2012. Mecanismos de defensa del chile en el patosistema *Capsicum annuum*-*Phytophthora capsici*. *Revista Mexicana de Fitopatología* 30(1): 49-65.
- Cavalcanti, F. R.; Resende, M.L.V.; Carvalho, C.P.S; Silveira, J.A.G.; Oliveira, J.T.A. Induced defence responses and protective effects on tomato against *Xanthomonas vesicatoria* by an aqueous extract from *Solanum lycocarpum* infected with *Crinipellis perniciosa*. *Control Biológico - El sevier*, n.39, p. 408-417, 2006.
- Cavalier-Smith, T. A. 1986. The Kingdom Chromista: Origin and systematics. In *Progress on Phycological Research* (F. E. Round and D. J. Chapman, Eds.), Vol. 4, pp. 309–347. Biopress, Bristol.
- Chávez, A. J. J., Zavaleta, M. E., Téliz, O. D. y Juárez, P. C. 1994. Control integrado de la marchitez del chile (*Capsicum annuum*) ocasionada por *Phytophthora capsici* en la región de Valsequillo, Puebla. *Memorias del XXI Cong. Nac. de la Soc. Mex. De Fitopatología*, Cuernavaca, Morelos. 26 p.

- Cosme-Velázquez Y, Guzmán-Plazola RA, Sandoval-Islas S, Corona-Torres T y Mendoza-Pérez D. 2015. Efecto del acibenzolar-S-metil en plantas de chile serrano (*Capsicum annuum*) infectadas con *Phytophthora capsici* en diferentes edades. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 33(2): 156-172. D. F. 726 p
- Erwin, C. D., And O. K. Ribeiro. 1996. *Phytophthora Diseases Worldwide*. Ed APS-Press, USA. 562 p.
- Erwin, D.C. and Ribeiro, K., 1996. *Phytophthora diseases worldwide*. APS press. St. Paul, Minnesota. USA. 562 pp.
- Fernández-Herrera E, Acosta-Ramos M y Pinto, VM. 2007. Efecto de aplicaciones de fungicidas sobre la incidencia de la marchitez (*Phytophthora capsici* Leo.) del jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero. *Revista Mexicana de Fitopatología* 25(2): 186-189.
- Fry WW, and Grünwald NJ (2010) *American Phytopathological Society*.
- Galindo, A. J. 1960. Estudio preliminar sobre la marchitez de las plantas de chile en México y su agente causal *Phytophthora capsici* Leo. Tesis de Licenciatura, ENA. Chapingo, México.
- Graham, A. L.; Allen, J. E.; Read, A. F. Evolutionary Causes and Consequences of Immunopathology. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, p. 373-397, 2005.
- Guerrero, V. M.; Berlanga, D. Z.; Paul. E. Proteína inhibidora de la poligalacturonasa en manzana mexicana (*Malus domestica* Borkh). *Tecnociencia*, p.140-147, 2011.

- Hawksworth, D. L., Kirk, P. M., Sutton, B. C., and Pegler, D. N. 1995. Ainsworth and Bisby's Dictionary of the Fungi, 8th ed. CAB International, Wallingford, Oxon, UK.
- Heil, M. Different Strategies for Studying Ecological Aspects of Systemic Acquired Resistance (SAR). *Journal of Ecology*, p.706-708, 2000.
- Hernández, A.; Niurka, A.; Velázquez, M. G.; Bigiramana, Y.; Audenaert, K.; Hofte, M. Aplicación de Rizobacterias para Inducir Resistencia en los Sistemas Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) – *Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc. y Magnus) Lams.-Scrib. y Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) - *Botrytis cinerea* Pers.: Fr. *Revista Mexicana de Fitopatología*, p. 99-107, 2003.
- Holman, M. R. Y Wilfred W. Robbins. 1961. *Botánica general*. Traducido en español por Enrique Beltrán. Ed. UTEHA, México. D. F.
- Huallanca Vca Y Cadenas Gca. 2014. Control de *Phytophthora capsici* Leonian en *Capsicum annuum* cv. Papri king con fungicidas, fertilizantes y biocontroladores. *Anales Científicos* 75 (1): 130-137.
- Huerres, P. C. Y Caraballo, L. N. 1988. *Horticultura*. Editorial Pueblo y Educación. Habana, Cuba, pp 193.
- Ibar, L. Y Juscafresca, B. 1987. *Tomates, pimentones y berenjenas*. Editorial AEDOS. España, pp 75 – 119.
- International. UK. 655 p.
- Jiménez-Camargo A, Valadez-Moctezuma E y Lozoya-Saldaña H. 2018. Antagonismo de *Penicillium* sp. contra *Phytophthora capsici* Leonian. *Revista Fitotecnia Mexicana* 41(2).

- Juscafresca, B. 1987. Tomate, Pimentón, Berenjena, cultivos y comercialización. Primera edición. Editorial AEDOS. Barcelona, España, pp 140 – 144.
- Kirk, P. M., P. F. Cannon, J. C. David and J. A. Stalpers. 2001. Dictionary of the Fungi. CAB
- Leonian, L. H. 1922. Stem and fruit blight off peppers caused by *Phytophthora capsici*. *Phytopathology* 12: 401-408 p.
- Lopez M., Davila A., Alonzo N., 1983. Cultivo de plantas para Cuba. Cuba, pp, 236.
- Malolepsza U. 2006. Induction of disease resistance by acibenzolar-S-methyl and O-hydroxyethylorutin against *Botrytis cinerea* in tomato plants. *Crop Protection* 25: 956-
- Maroto Borrego, J. V. 2002. Horticultura herbácea especial. 5 ed. Ediciones Mundi–Prensa. ES. p. 456.
- Mendoza, Z. C. 1996. Enfermedades Fungosas de Hortalizas. Universidad Autónoma Chapingo. Parasitología Agrícola. México. 85 p.
- Nuez V. F., O. R. Gil, Y G. J. Costa. 2003. El Cultivo de Pimientos, Chiles y Ajies. Mundi Prensa. Barcelona, Madrid, España. 607 p.
- Orde, K. M. Mecanismos de defensa en las interacciones planta-patogeno. Manejo Integrado de Plagas, 22-32, 2002.
- Pieterse, C.; Van, W. S.; Pelt, J. A.; Knoester, M.; Laan, R. A Novel Signaling Pathway Controlling Induced Systemic Resistance in Arabidopsis. *The Plant Cell*, 1571-1580, 1998.
- Pozo, C. O. 1983. Logros y aportaciones de la Investigación Agrícola en el Cultivo del Chile. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México, D. F. 20 p.

- Qi R, Wang T, Zhao W, Li P, Ding J, and Gao Z. 2012. Activity of ten fungicides against *Phytophthora capsici* isolates resistant to metalaxyl. *Journal of Phytopathology* 160(11-12): 717-722.
- Rinella, M. J. Maxwell, B. D.; Fay, P. K.; Weaver, T.; Sheley, R. L. Control Effort Exacerbates Invasive-Species Problem. *Ecological Society of America*, p. 155-162, 2010.
- Ruiz O. M., D. Nieto R. y I. Larios R. 1949. *Tratado Elemental de Botánica*. Ed. Purria, México,
- SAGARPA. Producción nacional de chile alcanza 2.3 millones de toneladas, Boletín de Enero, consultado en línea el 15 de mayo de 2017. Consultado en <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/nayarit/boletines/Paginas/BNSAGEN E052017.aspx#>
- Salgado, M. L. Inductores de resistencia a TuMV en *Arabidopsis thaliana* (L). Heynd. Montecillo. Mexico: Colegio de postgraduados, institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas. 97p, 2012.
- Sánchez-Chávez E, Torres-González A, Flores-Córdova MA, Preciado-Rangel P y Márquez-Quiroz C. 2015. Uso de portainjerto sobre el rendimiento, calidad del fruto y resistencia a *Phytophthora capsici* Leonian en pimiento morrón. *Nova Scientia* 7(15) 227-244.
- Sánchez-Gurrola C, Gómez-Dorantes N, Rodríguez-Alvarado G, Fernández-Pavía SP y Ávila-Quezada G. 2019. Variabilidad morfológica y sensibilidad de *Phytophthora capsici* causando marchitez en chile pimiento morrón en Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 37(No. Esp. 1): 65-71.

- Sandoval, B. J. 1993. Chile. Enfermedades infecciosas de los cultivos. Ed. Trillas. 125-136 pp.
- Santos Jp. 2010. Estrategias Para El Control De *Phytophthora capsici* Leo. y *Fusarium solani* Mart. en el cultivo del chile (*Capsicum annum* L.). Colegio de Posgraduados.
- Sanzón, D.; Zavaleta, E. Respuesta de Hipersensibilidad, una Muerte Celular Programada para Defenderse del Ataque por Fitopatógenos. Revista Mexicana de Fitopatología, p.154-164, 2011.
- Sepúlveda, G.; Trejo-Tapia, G.; Trejo-Espino, J. L.; Bermúdez, K.; Rodríguez, M. La Producción de las Especies Reactivas de Oxígeno en las Interacciones de las Plantas con Patógenos. Revista Mexicana de Fitopatología, p. 300-311, 2005.
- Serrano, G. Z., 1982. Cultivo de hortalizas en invernadero. Editorial AEDOS. Barcelona, España, pp 253 – 254
- Shaner G and Finney RE. 1977. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat. Phytopathology 67: 1051-1056.
- SIAP. 2018. Atlas Agroalimentario 2012-2018. Servicio de Información Agroalimentaria y pecuaria (SIAP). Ciudad de México. 215 p.
- Singlenton LL, Mihail JD and Rush CM. 1992. Methods for research on soilborne phytopatogenic fungi. ALS press. Minesota, USA. 265 p.
- Tahboub, M.B. Heat Level in Chile Pepper in Relation to Root and Fruit Infection by *Phytophthora capsici*. HORTSCIENCE 43(6):1846–1851. 2008.
- Tamargo, B. R.; Batista, L.A.; Niurka. A.; Fernández, D. F. Protección inducida por nanococleatos derivados de proteoliposomas de *Leptospira interrogans* serovar Canicola. Vacci Monitor, p.3-9, 2012.

- Thatcher, L. Plant defense response: what have we learnt from Arabidopsis? *Functional Plant Biology*, p.1-19, 2005.
- Thines M and Kamoun S. 2010. Oomycete-plant coevolution: recent advances and future prospects. *Current Opinion in Plant Biology* 13: 427-433.
- Thompson, H. C. and Kelly, W. C. 1957. *Vegetable Crops*. Editorial Mc Graw Hill Book, New York-Toronto-London.
- Tripathi, D. Role of SABP2 in Systemic Acquired Resistance Induced by Acibenzolar-S-Methyl in Plants. Faculty of the Department of Biological Sciences, p.1-24, 2010.
- Vigliola, M. I. Y Calot, L. I. 1992. *Manual de horticultura*. Edición Hemisferio Sur S. A. Buenos Aires, Argentina, pp 36 – 40; 162 – 167.
- Vives, M. E. 1984. *Cultivo del pimiento y de la berenjena*. 2 ed. Barcelona, ES. Sintesis, pp 5 – 78.
- Wise, M. J.; Abrahamson, W. G. Ducking as a Means of Resistance to Herbivory in Tall Goldenrod, *Solidago altissima*. *Ecology*, p.3275-3281, 2008.