



Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales
Programa de Maestría en Producción Agropecuaria

Área: Agrícola

**“Evaluación de la respuesta de chile pasilla a diferentes
fenotipos de virulencia de *Phytophthora capsici*”**

Tesis para obtener el grado de Maestra en Producción
Agropecuaria con opción terminal en el área Agrícola

Presenta

IBT. Idalia Itzel Ferreyra López

Comité tutorial

Dra. Sylvia P. Fernández Pavía (Directora)

Dr. Alfredo Reyes Tena (Co- director)

Dr. Horacio Armando Paz Hernández

Dra. Nuria Gómez Dorantes

Dr. Luis López Pérez

Morelia, Mich. Agosto 2025

AGRADECIMIENTOS

A mis asesores de tesis la doctora Sylvia Patricia Fernández Pavía y el doctor Alfredo Reyes Tena por la oportunidad de trabajar con ellos y darme la confianza de ser parte de su equipo de trabajo, por las enseñanzas, consejos y todo lo aprendido durante este periodo de maestría.

A los miembros del comité tutorial:

Dra. Nuria Gómez Dorantes

Dr. Luis López Pérez

Dr. Horacio Armando Paz Hernández

Por aceptar formar parte del comité tutorial, por sus consejos y sugerencias, por las clases impartidas y por todas las enseñanzas que fueron fundamentales para la realización del presente trabajo.

A la doctora Elva Mayra Toledo Cuevas, por aceptar ser mi tutora y por sus consejos y sugerencias para llevar a cabo la realización del proyecto.

A los miembros del laboratorio de Patología Vegetal, en especial a la MC. Marlene Díaz Celaya y al Dr. Alejandro Soto Plancarte quienes fueron una pieza fundamental en la realización de este proyecto, por su apoyo en el laboratorio, por sus consejos, enseñanzas y experiencias.

A mis compañeros del laboratorio de Patología vegetal y del laboratorio de Ecofisiología vegetal, con quienes tuve el gusto de compartir muchas experiencias y conocimientos, por su amistad y por su apoyo.

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, que se convirtió en mi segunda casa.

Al Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales por la oportunidad de ingresar al Programa de Maestría en Producción Agropecuaria y permitirme utilizar sus instalaciones para llevar a cabo mi proyecto.

Al Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por la beca otorgada.

Al equipo del proyecto PRONACE, por compartir experiencias y conocimiento y por permitirme ser parte del proyecto.

A mis padres, Josefina y Wilmer y mis hermanos Wilmer e Irais quienes me apoyaron en todo momento, me dieron ánimos y fuerzas y me acompañaron siempre cuando tenía que hacer mediciones de noche, a mis abuelitos, Eugenio y Ofelia quienes me dieron siempre una palabra de aliento y a mi tío Marco, quien siempre me apoyó y me animó a seguir preparándome y a mi pareja Junior por siempre estar y por todo su apoyo desde el comienzo de este proyecto.

A Dios, a quien doy infinitas gracias por ser mi guía y mi fortaleza en este camino iluminando cada uno de mis pasos hasta la culminación de este proyecto.



Este trabajo de tesis fue financiado por el siguiente proyecto:

PRONACE-CONACYT-2021-Soberanía-Alimentaria 316049 “Alternativas agroecológicas integradas para minimizar el uso de plaguicidas en sistemas hortícolas”

CONTENIDO GENERAL

1. RESUMEN.....	1
2. ABSTRACT	3
3. INTRODUCCIÓN.....	5
4. MARCO TEÓRICO	7
4.1. Generalidades del chile.....	7
4.2. Marchitez del chile.....	8
4.3. Manejo de la marchitez del chile.....	10
5. ANTECEDENTES	12
6. JUSTIFICACIÓN	14
7. OBJETIVO GENERAL	15
8. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
9. MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
9.1 Preselección de las accesiones de chile pasilla.....	16
9.2 Material vegetal.....	16
9.3 Aislados de <i>Phytophthora capsici</i>	16
9.4 Preparación del inóculo de <i>Phytophthora capsici</i>	16
9.5 Inoculación.....	17
9.6 Variables de respuesta	18
9.6.1 Severidad de la enfermedad.	18
9.6.2 Porcentaje de colonización del patógeno en la raíz.	20
9.7 Diseño experimental.....	21
9.8 Evaluación de las mejores accesiones de chile pasilla frente a <i>Phytophthora capsici</i>	22
9.8.1 Material vegetal.....	22
9.8.2 Aislados de <i>Phytophthora capsici</i>	23
9.8.3 Preparación del inóculo.	23
9.8.4 Inoculación de <i>Phytophthora capsici</i>	24
9.8.5 Variables de respuesta	24
9.8.5.1 Severidad de la enfermedad	24
9.8.5.2 Porcentaje de colonización de <i>P. capsici</i> en la raíz	24
9.8.5.3 Biomasa seca	24
9.8.5.4 Rendimiento fotosintético	25

9.8.5.5 Temperatura foliar.....	25
9.8.5.6 Clorofila.....	26
9.8.5.7 Diseño experimental.....	26
10. RESULTADOS.....	28
10.1 Preselección de las accesiones de chile pasilla.....	28
10.2 Evaluación de las accesiones preseleccionadas de chile pasilla frente a <i>Phytophthora capsici</i>	31
11. DISCUSIÓN.....	42
12. CONCLUSIONES.....	44
13. LITERATURA CITADA	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Escala de severidad de la enfermedad.	18
Tabla 2. Clasificación de los cultivares de chile según la frecuencia de plantas resistentes (Reyes-Tena, et al., 2021)	20
Tabla 3. Tratamientos evaluados	21
Tabla 4. Categorización de los 12 cultivares de chile evaluados, en resistentes (R), moderadamente resistentes (MR), tolerantes (T), moderadamente resistentes (MR), susceptibles (S).	29
Tabla 5. Porcentaje de colonización de <i>Phytophthora capsici</i> en 12 cultivares de chile pasilla.....	30
Tabla 6. Tratamientos evaluados	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 7. Tratamientos evaluados (repetición).	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 8. Categorización de las accesiones evaluadas según su resistencia/tolerancia.	36
Tabla 9. Porcentaje de colonización del patógeno y biomasa seca de las accesiones evaluadas.	37
Tabla 10. Evaluación del Rendimiento Fotosintético y Temperatura foliar.....	39
Tabla 11. Evaluación de la clorofila.	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Producción de inóculo de P. capsici</i> : A) Aislado en medio agar harina de maíz para su reactivación, B) Procedimiento de cambio de agua para la liberación de esporangios, C) Conteo de zoosporas en cámara de Neubauer.	17
Figura 2. Inoculación de <i>P. capsici</i> en plantas de chile bajo condiciones de invernadero: A) Inoculación de suspensión de zoosporas en la base del tallo con jeringa dosificadora, B) Plantas en contenedores sin perforaciones	18
Figura 3. Determinación del porcentaje de colonización de <i>P. capsici</i> en la raíz: A) Planta enferma, B) Trozos de tejido enfermo, C) Proceso de enjuague del tejido enfermo, D) Distribución del tejido en medio NARPH-V8.....	21
Figura 4 <i>Producción de plántulas de las accesiones de chile pasilla</i> A) charola de germinación de 72 cavidades, B) Contenedores con medio kilo de sustrato súper terra ST1®, C) Plántulas de chile con aproximadamente dos hojas verdaderas.	23
Figura 5. Inoculación de <i>P. capsici</i> : A) Inoculación del patógeno en la base del tallo con jeringa dosificadora (Ape® 50mL), B) Distribución al azar en mesas del invernadero	24
Figura 6. Determinación de la biomasa seca vegetal: A) Muestras de biomasa vegetal en la estufa para su secado, B) Registro de la biomasa seca de la parte aérea, C) Registro de la biomasa seca de tejido radicular	25
Figura 7. Determinación del rendimiento fotosintético y temperatura foliar en plantas de chile pasilla: A) Fluorómetro utilizado para las mediciones, B) Termómetro y medición de temperatura foliar, C) Hoja marcada para la medición de temperatura foliar y puntos en los que se realizó la medición.....	26
Figura 8. Comparación del control resistente (CM-334) con una accesión tolerante (71-P-2016) inoculadas con el aislado CPV 271 y del control resistente (CM-334) con una accesión susceptible (58-P-2016) inoculadas con el aislado CPV 279.	31
Figura 9. Comparación de las accesiones de chile pasilla evaluadas contra el aislado CPV-259 al final del experimento	32
Figura 10. Comparación de las accesiones de chile pasilla evaluadas contra el aislado CPV-271 al final del experimento	32

Figura 11. Comparación de las accesiones de chile pasilla evaluadas contra el aislado CPV-280 al final del experimento	33
Figura 12. Comparación de las raíces al final del experimento, A) CM-334 sin inocular, B) California Wonder, C) CM-334 inoculado, D) 28-P-2016, E) 35-P-2016, F) 44-P-2016, G) 71-P-2016	34
Figura 13. Clamidospora de <i>Phytophthora capsici</i> (aislado CPV 271).....	41
Figura 14. Esporângios de <i>Phytophthora capsici</i> (aislado CPV 271).....	41

1. RESUMEN

La marchitez del chile, es una de las enfermedades más importantes de este cultivo debido a que ocasiona importantes pérdidas económicas. Esta enfermedad es causada por el oomicete *Phytophthora capsici* Leo y se caracteriza por atacar principalmente la raíz de la planta ocasionando pudrición y necrosis que se extiende hasta el tallo. El manejo de la marchitez del chile se lleva a cabo de manera convencional mediante el uso de agroquímicos que suelen causar daños al ambiente, además, con el tiempo pueden llegar a generar resistencia en *P. capsici*. Por lo tanto, es necesaria la implementación de estrategias de manejo que sean amigables con el ambiente y que no generen un alto costo de producción. Una estrategia es el uso de variedades que posean resistencia y/o tolerancia a *P. capsici*.

Este trabajo tuvo como objetivo evaluar la resistencia de accesiones de chile pasilla a diferentes fenotipos de virulencia de *P. capsici*. En una primera etapa, se realizó una preselección de accesiones de chile pasilla, para lo cual se inocularon con zoosporas de tres diferentes aislados de *P. capsici* y se mantuvieron bajo condiciones de invernadero. Se registró la severidad de la enfermedad para posteriormente clasificarlas como resistentes o tolerantes. En una segunda etapa, a partir de 10 accesiones de chile pasilla se seleccionaron cuatro que registraron mayor número de plantas sanas al final del experimento, estas fueron inoculadas con zoosporas de tres diferentes aislados de *P. capsici* y se registraron las variables de severidad de la enfermedad, rendimiento fotosintético, temperatura foliar, concentración de clorofila, biomasa seca y porcentaje de colonización del patógeno en la raíz.

Las cuatro accesiones que se preseleccionaron de acuerdo con un mayor nivel de resistencia/tolerancia fueron 28-P-2016, 35-P-2016, 44-P-2016 y 71-P-2016, las cuales fueron clasificadas como moderadamente resistentes y tolerantes. Por otro lado, no se encontraron diferencias estadísticas en el rendimiento fotosintético ni temperatura foliar.

Los resultados obtenidos demuestran que existen accesiones de chile pasilla tolerantes y moderadamente resistentes a distintos fenotipos de virulencia de *Phytophthora capsici*, lo anterior es relevante debido a que se trata de accesiones de

chiles comerciales que podrían ser utilizadas directamente por los productores en sus cultivos, o bien, ser empleadas en programas de fitomejoramiento. Además de lo anterior, este trabajo contribuye a la búsqueda de resistencia contra la marchitez del chile causada por *P. capsici* en cultivares criollos de *Capsicum annuum*.

Palabras clave: Marchitez del chile, resistencia vegetal, *Capsicum annuum*.

2. ABSTRACT

Chili wilt is one of the most important diseases of this crop because it causes important economic losses. This disease is caused by the oomycete *Phytophthora capsici* Leo and is characterized by attacking mainly the root of the plant causing rotting and necrosis that extends to the stem. The management of chili wilt is carried out conventionally using agrochemicals that usually cause damage to the environment, in addition, over time they can generate resistance in *P. capsici*. Therefore, it is necessary to implement management strategies that are environmentally friendly and do not generate high production costs. One strategy is the use of varieties with resistance and/or tolerance to *P. capsici*.

The objective of this work was to evaluate the resistance of pasilla chile accessions to different virulence phenotypes of *P. capsici*. In a first stage, a preselection of pasilla chile accessions was carried out, for which they were inoculated with zoospores of three different isolates of *P. capsici* and maintained under greenhouse conditions. The severity of the disease was recorded to later classify them as resistant or tolerant. In a second stage, from 10 accessions of pasilla chile, 4 were selected that had the highest number of healthy plants at the end of the experiment, these were inoculated with zoospores of three different isolates of *P. capsici* and the variables of disease severity, photosynthetic yield, leaf temperature, chlorophyll concentration, dry biomass and percentage of pathogen colonization in the root were recorded.

The four accessions that were preselected according to a higher level of resistance/tolerance were 28-P-2016, 35-P-2016, 44-P-2016 and 71-P-2016, which were classified as moderately resistant and tolerant. On the other hand, no statistical differences were found in photosynthetic yield or leaf temperature.

The results obtained show that there are accessions of pasilla chile tolerant and moderately resistant to different virulence phenotypes of *Phytophthora capsici*, which is relevant because these are commercial chili bell pepper accessions that could be used directly by producers in their crops or be used in breeding programs. In addition to the above, this work contributes to the search for resistance against chili wilt caused by *P. capsici* in *Capsicum annuum* cultivars.

Key words: Chili wilt, plant resistance, *Capsicum annuum*.

3. INTRODUCCIÓN

Capsicum annuum L, llamado comúnmente "chile", con centro de origen y domesticación en México, desde las antiguas culturas como la Azteca era utilizado no solo como alimento, sino también como ofrenda, tributo e inclusive como un arma de guerra (Long-Solís, 1986). El chile es un alimento de alto valor nutricional y una fuente de colorantes naturales y compuestos secundarios, todos ellos utilizados en diversas industrias (Aguirre y Muñoz, 2015).

En México la producción de chile *es* afectada por diversos patógenos, que ocasionan pérdidas que afectan el rendimiento y la calidad del producto (Guigón-López y González-González, 2001; Rico-Guerrero, *et al.*, 2004). Se ha reportado la presencia de *P. capsici* en el norte-centro de México país en los estados de Aguascalientes, Estado de México, Guanajuato, Michoacán, Morelos, Querétaro, y Zacatecas (Velásquez, *et al.*, 2001; Pérez, *et al.*, 2003; Reyes-Tena, *et al.*, 2019).

Phytophthora capsici, puede infectar y causar pudrición en las raíces, la corona, el tallo y los frutos por lo que es capaz de provocar pérdidas de hasta el 80% en la producción en campo (Sánchez, *et al.*, 2004; Granke *et al.*, 2011). Este es un oomiceto de gran importancia fitosanitaria a nivel mundial, debido a que es capaz de infectar a más de 50 especies de plantas cultivables que pertenecen a las familias de las Solanáceas, Cucurbitáceas y Portulacáceas, provocando pérdidas económicas (Bautista-Calles, *et al.*, 2010; Kurt-Lamour *et al.*, 2012).

Generalmente el manejo de la marchitez en los cultivos de chile se lleva a cabo mediante la aplicación de fungicidas sintéticos, que generalmente son extremadamente tóxicos para la fauna acuática y algunos de ellos resultan ser muy costosos. Alternativamente se han desarrollado productos biológicos para el control de esta enfermedad como es el uso de rizobacterias antagonistas y hongos micorrízicos, así como el uso de agentes químicos como es el fosfonato de potasio, metalaxyl, fosetyl-AI, por mencionar algunos (Guigón-López y González-González, 2001; Fernández-Pavía, *et al.*, 2004). El control de la enfermedad a través de variedades resistentes es una alternativa sostenible para reducir los daños ocasionados por *P. capsici*, además de que minimiza los daños en el ambiente ya que se reduce el uso de productos químicos tóxicos (Reifschneider *et al.*, 1992; Castro, *et al.*,

2012; Lamour, *et al.*, 2012). Para desarrollar estas variedades es necesario contar con materiales resistentes, los cuales generalmente se encuentran en poblaciones nativas (Morán- Bartual, *et al.*, 1993; Morán- Bañuelos, *et al.*, 2010). Asimismo, la resistencia del chile puede cambiar de acuerdo con las condiciones climáticas en las que se encuentre, como puede ser en ambientes muy calurosos, condiciones muy húmedas, frío extremo, sequías; por lo que es necesario realizar estudios bajo estas diferentes condiciones. Algunos trabajos como el de Palma, *et al.*, (2017) reportaron la variedad de chile tipo serrano Criollo de Morelos como una variedad tolerante a *P. capsici*, otra variedad reportada como tolerante es el chile pasilla 18M, evaluado por Mendieta-Vázquez (2023), el cual fue utilizado como portainjerto para evaluar la resistencia a *P. capsici*. También puede modificarse la resistencia dependiendo del fenotipo de virulencia de *P. capsici* que infecte al chile (Reyes-Tena, *et al.*, 2019; 2021). Considerando que es necesario evaluar estos aspectos en la selección de material vegetal con tolerancia a la enfermedad, en este trabajo se planteó como objetivo la evaluación de cultivares de chile pasilla contra diferentes fenotipos de virulencia de *P. capsici*.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Generalidades del chile.

El chile es una hortaliza de la familia de las solanáceas, perteneciente al género *Capsicum*, en condiciones adecuadas la planta llega a medir entre 30 y 80 cm de altura y el fruto presenta características variadas. En México, el chile es una hortaliza fundamental como alimento, formando parte de su acervo culinario, lo que la coloca como uno de los alimentos básicos y estratégicos para la alimentación y la agricultura (CIAD, 2021).

El género *Capsicum* está conformado por 31 especies, de las cuales sólo cinco han sido domesticadas: *C. annuum*, *C. baccatum*, *C. chinense*, *C. frutescens* y *C. pubescens*; siendo *C. annuum* la más importante, pues contiene la mayor diversidad de chiles, cultivados o silvestres. El fruto, en donde se encuentran las semillas, es una baya hueca carnosa o semicartilaginosa que puede alcanzar distintos tamaños, desde poco menos de 1 cm hasta 30 cm de largo y su forma es muy variada, presentan colores que oscilan de distintos tonos de amarillo y verde en estado inmaduro, a rojo y hasta café al madurar (Aguirre Hernández y Muñoz Ocotero, 2015).

A nivel mundial el chile es uno de los frutos con más demanda siendo China el principal productor con 16,837,404.78 ton, seguido por China Occidental, con 16,810,518.62 ton, México, con 3,113,244.27 ton, Indonesia, con 3,020,262.11 ton y Turquía, con 3,018,775 ton (FAOSTAT, 2022). El cultivo del chile contribuye con el 20.2 % de la producción de hortalizas a nivel nacional y cuenta con una producción anual de 3,681,061.47 ton para el año 2023 de chile verde (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020; SIAP, 2023). Las zonas productoras se ubican en los estados de: Chihuahua (640,814.21 ton), Sinaloa (598,399.29 ton), Zacatecas (409,189.70 ton), San Luis Potosí (333,737.82 ton), Jalisco (201,258.91 ton), Sonora (187,413.20 ton), Michoacán (142,936.35 ton), y Guanajuato (142,213.39 ton) (SIAP, 2023).

Entre las especies de chile más comercializadas se encuentran el chile ancho, guajillo, jalapeño, manzano, pasilla y serrano por mencionar algunas. El chile pasilla, o conocido coloquialmente en su estado verde como chilaca, es uno de los chiles más largos de

México, llega a medir de 17 a 34 cm de largo y de 2 a 5.6 cm de ancho, este chile es uno de los chiles más utilizados en la cocina mexicana ya que su principal uso es para la elaboración del “mole, los estados que siembran chile pasilla en el país son: Chihuahua, Guanajuato, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Querétaro, San Luis Potosí y Sinaloa, siendo Michoacán el único estado que destina toda su producción para la venta de chile pasilla en seco (SIAP, 2023).

4.2. Marchitez del chile.

El cultivo de chile es susceptible de sufrir daños por enfermedades en cualquier etapa de su desarrollo. Estas enfermedades pueden ser causadas por bacterias, hongos, nematodos, oomicetes y virus, o bien por factores abióticos los cuales pueden acelerar el proceso de las enfermedades, estos factores son: cambios extremos de temperatura, exceso de humedad en el suelo, salinidad, sequía y desbalances nutricionales, lo que por consecuencia afecta su producción y calidad del fruto (Chew Madinaveitia, *et al.*, 2008).

La principal enfermedad en el cultivo de chile es la marchitez, que es causada por *P. capsici*, este patógeno causa pudrición de las raíces de la planta y necrosis en el tallo; lesiones circulares, acuosas y de color café grisáceo en las hojas (tizón foliar), y los frutos se pueden cubrir de esporangios blancos y pueden presentar pudrición. Las lesiones en tallos y hojas son comunes cuando el patógeno es dispersado a través del salpique del suelo a las partes superiores de la planta en condiciones de lluvia (Ristaino y Johnston, 1999). Este oomiceto es de suma importancia fitosanitaria a nivel mundial ya que infecta a un gran número de especies de plantas de importancia agrícola como el tomate, la berenjena, el pepino, el chile, la papa, el calabacín, el pimiento y el frijol (Lamour *et al.*, 2012.). El género *Phytophthora* (del griego *Phyton*: planta y *phthora*: destructor), pertenece al orden de los Peronosporales y fue descrito por Anton de Bary, quien identificó a *P. infestans* como el agente causal del tizón tardío de la papa en 1875; en el caso particular de *P. capsici*, esta especie fue identificada por primera vez por Leonian, (1922).

Clasificación:

Reino: Stramenipila (Cromista, Dick (2001)).

Filo: Oomicota

Clase: Oomicetes

Orden: Peronosporales

Familia: Peronosporaceae

Género: *Phytophthora*

Especie: *Phytophthora capsici* Leonian

Este oomiceto se reproduce de forma asexual y sexual: la fase asexual que es a través de esporangios papilados y semipapilados que presentan dos o tres ápices, son caducos con pedicelos cortos, medianos y largos, subglobosos, ovoides, fusiformes y de formas irregulares y ocasionalmente forma clamidosporas las cuales se forman en condiciones desfavorables para asegurar su supervivencia. La fase sexual ocurre cuando dos individuos de distinto tipo de compatibilidad sexual (A1 y A2) forman los gametangios (anteridio y oogonio) que al fecundarse forman oosporas apleróticas o pleróticas. Estas dos fases se desarrollan en función de las condiciones ambientales, cuando hay baja humedad, los esporangios de la fase asexual tienden a germinar de manera más rápida, pero cuando la humedad es elevada y la temperatura del ambiente oscila entre los 13°C - 28°C, estos evolucionan a esporangios que liberan zoosporas, las cuales se desplazan a través del agua en búsqueda de su hospedante. Este oomiceto al estar presente en el suelo y moverse en el agua, ingresa a la planta a través de la raíz, posteriormente, los tejidos afectados desarrollan pudrición o necrosis, la cual avanza desde la raíz a la base del tallo y en el caso de plántulas puede llegar hasta los cotiledones, en frutos se puede presentar la pudrición únicamente cuando estos se encuentran cerca del suelo y debido a que el patógeno viaja a la parte superior por medio de salpicaduras de agua de lluvia (Ramírez *et al.*, 1998; Echemendia, 2000; Aristizabal y Torres, 2015).

En estados avanzados de la enfermedad, al ocasionar la pudrición de la raíz e ir avanzando hacia la parte superior de la planta, se ven afectados los haces vasculares, fundamentales para el transporte de agua y nutrientes dentro de la planta, los cuáles al estar dañados disminuye la actividad fotosintética (Agrios, 1995). Al disminuir la eficiencia fotosintética, la planta comienza a presentar síntomas de la enfermedad, tal es el caso de la clorosis,

debido a la disminución de la producción de clorofila. Al presentarse los síntomas, la planta comienza a estresarse ya que su fotosistema se ve afectado al no recibir el agua y las sales minerales necesarias para realizar el proceso de fotosíntesis de manera. Las mediciones de eficiencia fotosintética ofrecen un gran potencial para detectar rápidamente el estrés vegetal y con ello detectar la posible infección por un patógeno como lo es *P. capsici* (Pavlovic *et al.*, 2014).

4.3. Manejo de la marchitez del chile.

Generalmente el manejo de la marchitez en los cultivos de chile se lleva a cabo por medio del manejo convencional el cual consiste en el uso de agroquímicos que resultan ser poco eficaces y que con su uso prolongado pueden llegar a ocasionar resistencia por parte del patógeno, contaminación de los mantos acuíferos y problemas de salud humana, tal es el caso del ametoctradin, ciazofamida, cymoxanil, maneb, dimetomorf, famoxadona, fenamidona, fluopicolide, fosfito de aluminio, fosfonato de potasio, mancozeb, mefenoxam, metalaxil, propamocarb, propineb, oxatiapiprolin, y sulfato de cobre pentahidratado, siendo este último altamente tóxico para la fauna acuática (Hodgson y Rose, 2008; Huallanca y Cárdenas, 2014).

Implementar estrategias que tengan una mayor eficacia en el manejo de esta enfermedad y que al mismo tiempo sean amigables con el ambiente podría ayudar a los productores a disminuir el daño en sus cultivos evitando pérdidas económicas y reduciendo el costo de producción e impacto ambiental de esta actividad, tales como el control biológico con microorganismos como *Trichoderma viride*, *T. harzianum* y *Bacillus subtilis*, la rotación con cultivos no susceptibles, la búsqueda de variedades con genes de resistencia a la enfermedad y las labores culturales como el manejo de la humedad y el retiro de plantas y frutos que presentes daños (Huallanca y Cárdenas, 2014)

Existen evidencias arqueológicas que demuestran que el hombre ha manipulado las plantas desde hace 8000 años tratando de buscar mejores rendimientos en sus cultivos, mejor sabor y adaptabilidad para la supervivencia de sus cultivos (Casas y Caballero, 1995), entre las estrategias que ha utilizado se encuentra el mejoramiento genético en diversas plantas, que hoy en día son cultivadas para su consumo, el cual consiste en la selección de especies con

características deseables como la resistencia a alguna enfermedad y la cruce de variedades para obtener híbridos con las características que se desean. Esta estrategia puede ser aplicada en el manejo de la marchitez del chile a través de la búsqueda de cultivares con resistencia/tolerancia a *P. capsici* (Barchenger *et al.*, 2018). El empleo de estos cultivares y el desarrollo de programas de mejoramiento genético podría disminuir la incidencia de la enfermedad y como consecuencia el uso de agroquímicos (Reyes-Tena *et al.*, 2021).

Sin embargo, *P. capsici* presenta diferentes fenotipos de virulencia, por lo que una variedad puede ser tolerante a algunos fenotipos pero no a otros, de ahí radica la importancia de evaluar cultivares con genes de resistencia frente a diferentes fenotipos de virulencia, para así poder obtener variedades con resistencia a fenotipos específicos de *P. capsici* (Reyes-Tena *et al.*, 2019).

5. ANTECEDENTES

Las variedades criollas, es decir aquellas que han sido seleccionadas y cultivadas por los agricultores durante generaciones suelen ser portadoras de genes de resistencia a las enfermedades más comunes (Cowan, 2019). Algunos genotipos de chile criollos del tipo serrano provenientes del estado de Morelos, México, han presentado un nivel de tolerancia elevado, como es el caso del Criollo de Morelos 334 (CM-334) que se ha utilizado como parámetro para la obtención de genotipos con resistencia a *P. capsici* (Palma, *et al.*, 2017).

Estudios anteriores han reportado que las variedades criollas son reservorio de genes de resistencia a *P. capsici*, la ventaja que tienen algunas de estas variedades con respecto al CM-334, es que tienen características agronómicas deseables (buen tamaño y producción de frutos principalmente) y se podrían utilizar directamente sin la necesidad de realizar cruza (Castro-Rocha, 2012). En 2023, Mendieta-Vásquez evaluó la resistencia de dos genotipos de chile con dos portainjertos, el primero fue con el CM-334 y el segundo con el chile pasilla 18M en donde obtuvo como resultado que la pasilla 18M ofrece la misma resistencia a *P. capsici* que el CM-334.

Algunos genotipos de chile pasilla se han reportado como tolerantes a diferentes fenotipos de virulencia de *P. capsici* (un fenotipo de virulencia, antes llamado raza fisiológica es un aislado que posee un patrón de virulencia en común al ser evaluado en un conjunto de hospedantes diferenciales de la misma especie) (Reyes-Tena *et al.*, 2019), entre los que se encuentran el PAS-1, PAS-2 y PAS-3, estos podrían ser utilizados en programas de fitomejoramiento como fuentes de tolerancia a *P. capsici*, ya que mostraron lo que se conoce como “marchitamiento lento”, esto quiere decir que hay una tasa infección/virulencia lenta por *P. capsici* lo cual podría permitir la cosecha del producto (Reyes-Tena *et al.*, 2021).

Villar-Luna *et al.*, (2022), en su trabajo evaluaron la genética de la resistencia de la línea de chile serrano 40-1 a *P. capsici*, encontrando que esta línea posee dos genes recesivos

duplicados de resistencia que de igual manera fueron encontrados en las generaciones descendientes de esta línea de chile. Además, Figueira *et al.* (2021), evaluaron la resistencia de tres líneas de chile tipo padrón a *P. capsici*, en su evaluación encontraron que una de las tres líneas mostró resistencia a *P. capsici*, esto puede ser debido a que es una línea híbrida y sus genes de resistencia se expresan en mayor proporción a las otras dos líneas que son líneas puras de chile tipo padrón. Anaya-López *et al.* (2011), identificaron dos accesiones del banco de germoplasma resistentes a *P. capsici* y a su asociación con otros patógenos, estas accesiones son las BG102 y BG107, las cuales tienen potencial para ser utilizadas en programas de fitomejoramiento.

Por otro lado Campos *et al.* (2024), evaluaron el estrés hídrico en plantas de chile pimiento morrón a través de la utilización de un aparato medidor de fotosíntesis y la fluorescencia de los cloroplastos, como resultado obtuvo que al presentar la planta estrés hídrico disminuye la capacidad de esta para absorber y transportar luz y convertirla en energía química, de igual forma observó la disminución de la transpiración de la planta por lo que concluye que la medición de la fotosíntesis es un parámetro que se puede implementar para la detección de estrés temprano en la planta.

6. JUSTIFICACIÓN

México, destaca en la producción de algunas variedades de chile como son el serrano, pasilla y jalapeño. La marchitez es considerada como la principal limitante del cultivo, originando el desplazamiento del cultivo a zonas libres del patógeno. Si el productor cuenta con una variedad de chile tolerante a este patógeno los rendimientos aumentarán y podría reducir el costo de producción. En este sentido, es necesaria la búsqueda de variedades que además de poseer genes de resistencia tengan las características agronómicas que el productor necesita para su cultivo. La búsqueda de estas variedades es un reto ya que existen pocas variedades que poseen genes de resistencia y cumplen con los requerimientos del productor, existen algunas variedades de chile con tolerancia a *P. capsici* en algunos estados del país; sin embargo, no se han evaluado con diferentes fenotipos de virulencia de *Phytophthora capsici*, o bien son probados como portainjertos en búsqueda de la resistencia en variedades susceptibles (Palma *et al.*, 2017; Mora y Vargas, 1981; Villar-Luna *et al.*, 2022). Esto es de gran importancia ya que la resistencia genética debe ser una parte fundamental del manejo integrado de la marchitez de este cultivo en México, debido a que el manejo de la marchitez del chile se suele llevar a cabo de manera convencional con el uso de agroquímicos que con el tiempo conlleva al desarrollo de cepas resistentes y daños al medioambiente, además de que su uso eleva los costos de producción de los agricultores (García-Rodríguez *et al.*, 2010).

7. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la resistencia de accesiones de chile pasilla a diferentes fenotipos de virulencia de *Phytophthora capsici*.

8. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una preselección de accesiones de chile pasilla en función de su resistencia/tolerancia a diferentes fenotipos de virulencia de *P. capsici*, bajo condiciones de invernadero.
- Cuantificar la biomasa seca de las accesiones de chile pasilla seleccionadas, inoculadas con los fenotipos de virulencia de *P. capsici*.
- Evaluar el nivel de estrés en la planta a través del rendimiento fotosintético y temperatura foliar, así como el peso seco en las accesiones seleccionadas inoculadas con *P. capsici*.
- Determinar el porcentaje de colonización de *P. capsici* en raíces de las accesiones evaluadas.

9. MATERIALES Y MÉTODOS

9.1 Preselección de las accesiones de chile pasilla

9.2 Material vegetal.

En el presente estudio se evaluaron 12 accesiones de chile: 9 de chile pasilla :27-P-2016, 28-P-2016, 29-P-2016, 35-P-2016, 44-P-2016, 47-P-2016, 58-P-2016, 59-P-2016, 71-P-2016, las semillas fueron proporcionadas por el Dr. José de Jesús Luna Ruiz de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Se utilizaron el criollo de Morelos CM-334 como control resistente y las variedades California Wonder (Hortaflo®) y Camino Real como controles susceptibles.

Las semillas se colocaron en charolas de germinación de seis cavidades cada una. Como sustrato se utilizó la mezcla Sunshine Mix 3[®], se regaron cuando así se requirió a saturación y se utilizó fertilizante universal Miracle-gro[®] 20 mL por semana y se mantuvieron en el invernadero de Patología Vegetal del Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (Coordenadas: 19.7689387, -101.1511207).

9.3 Aislados de *Phytophthora capsici*

Las cepas de *P. capsici* que se utilizaron fueron CPV-271 (fenotipo de virulencia MX-MX7, obtenido de Cuitzillo el Grande, Tarímbaro, Michoacán), CPV-279 (fenotipo de virulencia MX-1, Queréndaro, Michoacán) y CPV-283 (Yurécuaro, Michoacán), cuyos fenotipos de virulencia fueron determinados por (Reyes-Tena *et al.*, 2019). Estas cepas forman parte la colección de *Phytophthora* del Laboratorio de Patología Vegetal del Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

9.4 Preparación del inóculo de *Phytophthora capsici*.

Se reactivaron las cepas de *P. capsici* colocándolas en medio de cultivo agar harina de maíz (Sigma Aldrich[®]), en cajas Petri y se incubaron a 25 °C, durante cinco días. Una vez que se observó el crecimiento del patógeno en el medio de cultivo, se cortó una pequeña muestra de agar con micelio (1cm³) y se transfirió a una nueva caja Petri con medio de cultivo agar jugo V8 (Campbells[®]). Una vez que los aislados colonizaron por completo la caja Petri se siguió el protocolo mencionado por Fernández *et al.* (2007) con algunas

modificaciones: el medio con micelio se dividió en dos mitades y se transfirió a una caja Petri vacía, y la otra se mantuvo en la caja original para proceder a cortar en pequeños cuadros de aproximadamente 1 cm³ y así proceder a agregar agua desionizada estéril, y se incubaron bajo luz blanca a 25 °C. El agua se cambió cada 24 h, durante 3 días consecutivos, tiempo después del cual se observó esporulación. Posteriormente se colocaron por 30 min a 4°C y 30 min a 25 °C para inducir la liberación de zoosporas. Para cuantificar el número de zoosporas por mL, el líquido de cada caja se recuperó en un vaso de precipitados y se realizó el conteo en la cámara de Neubauer (Figura 1) y se preparó una suspensión con una concentración final de 2000 zoosporas/mL con agua desionizada estéril.

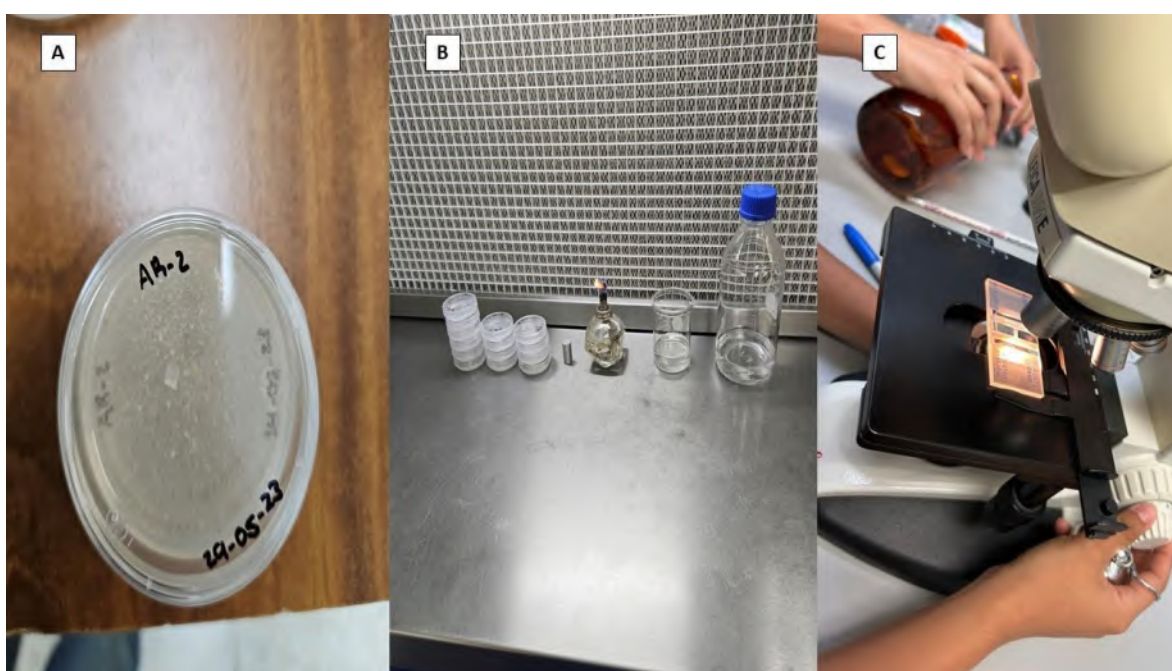


Figura 1. Producción de inóculo de *P. capsici*: A) Aislado en medio agar harina de maíz para su reactivación, B) Procedimiento de cambio de agua para la inducción de esporulación, C) Conteo de zoosporas en cámara de Neubauer.

9.5 Inoculación.

La inoculación se realizó de acuerdo con el protocolo descrito por Bosland y Lindsay (1991) con modificaciones. Las plantas de chile fueron inoculadas cuando tenían un mes de trasplantadas, con 5 mL de una suspensión de 2000 zoosporas/mL [10,000 zoosporas en total] en la base del tallo, con la ayuda de una jeringa dosificadora (Ape® 50 mL). Para favorecer una infección exitosa del patógeno se colocaron las charolas de germinación en

recipientes sin perforaciones, con aproximadamente 5 cm de agua, de esta forma el sustrato de las plantas hospedantes se saturó con agua durante 24 h después de la inoculación (Figura 2). Las plantas se mantuvieron durante 30 días bajo condiciones de invernadero (temperatura mínima de 20°C y máxima de 40°C).



Figura 2. Inoculación de *P. capsici* en plantas de chile bajo condiciones de invernadero: A) Inoculación de suspensión de zoosporas en la base del tallo con jeringa dosificadora, B) Plantas en contenedores sin perforaciones.

9.6 Variables de respuesta

9.6.1 Severidad de la enfermedad.

La severidad de la enfermedad se evaluó de acuerdo con la escala utilizada por Glosier et al. (2008) con modificaciones correspondientes a la descripción que se indica en la Tabla 1.

Tabla 1. Escala de severidad de la marchitez en plantas de chile pasilla.

Nivel de Severidad	Síntomas
--------------------	----------

Nivel 0

Planta sana sin síntomas.



Nivel 1

Hojas cloróticas, sin necrosis del tallo.



Nivel 2

Necrosis de <10% del tallo.



Nivel 3

Necrosis del 10-30% del tallo de la planta.



Nivel 4

Necrosis de >30% del tallo, puede presentarse marchitez y defoliación.



Nivel 5

Planta muerta.



Las evaluaciones se iniciaron tres días después de la inoculación (ddi), y continuaron durante 30 días. La relación de plantas resistentes/susceptibles se obtuvo al clasificar los cultivares según el porcentaje de plantas sanas de acuerdo con la clasificación descrita por Reyes-Tena et al. (2021) (Tabla 2).

Tabla 2. Clasificación de los cultivares de chile de acuerdo con el porcentaje de plantas resistentes, tolerantes o susceptibles.

Clasificación	Categoría	Plantas resistentes (%, Severidad 0–1)
Resistente	R	>90
Moderadamente Resistente	MR	61-90
Tolerante	T	41-60
Moderadamente tolerante	MT	30-40
Susceptible	S	<30

R = Resistente, MR = Moderadamente Resistente, T = Tolerante, MT = Moderadamente tolerante y S = Susceptible.

9.6.2 Porcentaje de colonización del patógeno en la raíz.

Posterior al registro de síntomas, se realizó el aislamiento del patógeno de acuerdo al protocolo descrito por Soto-Plancarte et al. (2017), los tejidos de raíz se enjuagaron con agua corriente; se cortaron pequeños fragmentos de tejido enfermo (1 cm), se desinfectaron con una solución de cloro al 10% (para ello se utilizó cloro comercial con hipoclorito de sodio al 6%) durante 30 s, se enjuagaron con agua destilada estéril tres veces, se secaron

con toallas de papel esterilizadas, y se colocaron ocho trozos en placas Petri con medio NARPH-V8 (50% natamicina, 50% lactosa (0.02 gL⁻¹); ampicilina (0.27 gL⁻¹), rifampicina (0.01 gL⁻¹), pentacloronitrobenceno (0.10 gL⁻¹) e himexazol (0,075 gL⁻¹)) por tres repeticiones. Se incubaron a 25 °C en la oscuridad para comprobar la infección del patógeno inoculado, una vez que se observó crecimiento del patógeno, se hizo el conteo de trozos colonizados para determinar el porcentaje de colonización por tratamiento (Figura 3).

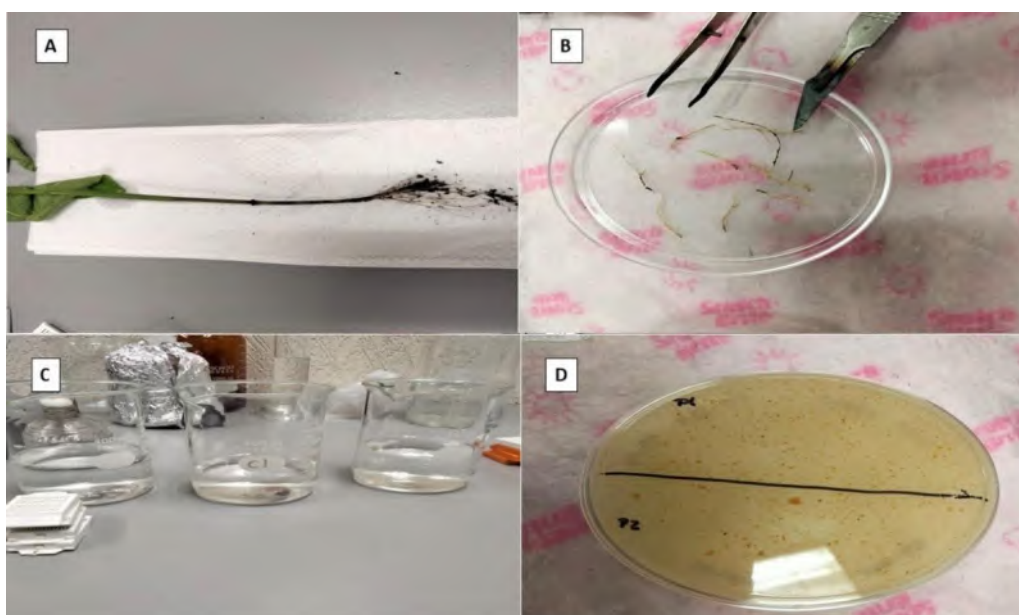


Figura 3. Determinación del porcentaje de colonización de *P. capsici* en la raíz: A) Planta enferma, B) Trozos de tejido enfermo, C) Proceso de enjuague del tejido enfermo, D) Distribución del tejido en medio NARPH-V8.

9.7 Diseño experimental.

Se utilizó un diseño factorial completamente al azar que constó de 9 accesiones y tres controles: uno resistente (CM-334) y dos susceptibles (California Wonder y Camino Real) evaluados con tres aislados de *P. capsici*, lo que originó 36 tratamientos (Tabla 3) por 12 repeticiones para un total de 432 unidades experimentales, donde una unidad experimental fue una planta de chile.

Tabla 3. Accesiones de chile pasilla y controles susceptibles y resistente inoculados con tres aislados de *Phytophthora capsici*.

GENOTIPOS	AISLADOS <i>P. capsici</i>
-----------	----------------------------

DE CHILE	CPV- 271	CPV- 279	CPV- 283
CM-334 (CR)	T1	T2	T3
California Wonder (CS)	T4	T6	T6
Camino Real (CS)	T7	T8	T9
27-P-2016	T10	T11	T12
28-P-2016	T13	T14	T15
29-P-2016	T16	T17	T18
35-P-2016	T19	T20	T21
44-P-2016	T22	T23	T24
47-P-2016	T25	T26	T27
58-P-2016	T28	T29	T30
59-P-2016	T31	T32	T33
71-P-2016	T34	T35	T36

CPV = Colección Patología Vegetal, CM = Criollo de Morelos, CR=Control resistente, CS=control susceptible, P = Pasilla.

9.8 Evaluación de las accesiones seleccionadas de chile pasilla frente a *Phytophthora capsici*

9.8.1 Material vegetal.

Se utilizaron las semillas de cuatro cultivares (28-P-2016, 35-P-2016, 44-P-2016 y 71-P-2016, seleccionados en el experimento de preselección), criollo de Morelos (CM-334) como control resistente y la variedad de pimiento California Wonder (Horta Flor®) como control susceptible. Las semillas se colocaron en charolas de germinación, se utilizó el sustrato comercial súper terra ST1® y se regaron a saturación cada tercer día hasta el trasplante. Las plantas de trasplantaron cuando presentaron seis hojas verdaderas, se colocaron en contenedores de medio kilo de volumen (ST1®) (Figura 4), se regaron a saturación cada tercer día hasta que finalizó el experimento y se fertilizaron una vez por semana agregando 20 mL del fertilizante comercial universal Miracle-gro® por cada planta, para la aplicación de este fertilizante se diluyó 1 cucharada dosificadora (incluida en el empaque del fertilizante) en 20 L de agua.



Figura 4. Producción de plántulas de las accesiones de chile pasilla A) Charola de germinación de 72 cavidades, B) Contenedores con medio kilo de sustrato súper terra ST1[®], C) Plántulas de chile con aproximadamente dos hojas verdaderas.

9.8 2 Aislados de *Phytophthora capsici*

Los aislados de *P. capsici* que se utilizaron fueron CPV-271 (Fenotipo de virulencia MX-7, Cuitzillo el Grande, Tarímbaro, Michoacán), CPV-259 (Fenotipo de virulencia MX-8, Copándaro, Michoacán) y CPV-280 (Queréndaro, Michoacán).

9.8.3 Preparación del inóculo.

La preparación del inóculo se realizó con la misma metodología descrita en el apartado 9.4, con la única variante de que en esta etapa se utilizó extracto de suelo en lugar de agua para promover la formación de esporangios. El extracto de suelo se preparó colectando 20 g de suelo rizosférico libre de *P. capsici* para posteriormente mezclarlo con 1L de agua destilada en un matraz, se puso en agitación a 25°C por 3 h con ayuda de un agitador magnético a 6,000 rpm, después de este tiempo se filtró 3 veces en un embudo con ayuda de una bomba de vacío y papel filtro (Whatman[®]). Se filtró dos veces con un filtro de 1.6 µm (grado GF/A) y una vez con un filtro de 1.2 µm, se cambiaron los filtros cada vez que los poros se saturaban, el filtrado se almacenó en frascos ámbar en volúmenes de 250 mL a 4°C y 24 h antes de su utilización se colocó a temperatura ambiente.

9.8.4 Inoculación de *Phytophthora capsici*.

La inoculación se llevó a cabo cuando las plantas tenían un mes de haber sido trasplantadas y se inocularon con 1 mL que contenía 10,000 zoosporas (Figura 5).



Figura 5. Inoculación de *P. capsici*: A) Inoculación del patógeno en la base del tallo con jeringa dosificadora (Ape® 50mL), B) Distribución al azar de los tratamientos en mesas del invernadero.

9.8.5 Variables de respuesta

9.8.5.1 Severidad de la enfermedad

La severidad de la enfermedad se evaluó de acuerdo con la escala de severidad descrita en el apartado 9.6.1 (Tabla 1) y se clasificaron las accesiones de acuerdo con la clasificación descrita en la Tabla 2.

9.8.5.2 Porcentaje de colonización de *P. capsici* en la raíz

El porcentaje de colonización se evaluó con la metodología descrita en el punto 9.6.2.

9.8.5.3 Biomasa seca

Se determinó la biomasa seca de todas las plantas; para ello se separó la parte aérea de la raíz, esta se cortó en pequeños trozos y se colocaron en papel aluminio con perforaciones; las raíces se enjuagaron para remover los residuos de suelo y se colocaron en papel

aluminio con perforaciones. Las muestras se colocaron en un horno a 65 °C durante dos días y posteriormente se pesaron en una balanza analítica (Figura 6).



Figura 6. Determinación de la biomasa seca vegetal: A) Muestras de biomasa vegetal en la estufa para su secado, B) Registro de la biomasa seca de la parte aérea, C) Registro de la biomasa seca de tejido radicular.

9.8.5.4 Rendimiento fotosintético

Se determinó el rendimiento fotosintético de las accesiones de chile pasilla inoculadas con el aislado CPV 271 debido a que en la preselección de las accesiones demostró ser el aislado más virulento. Se utilizó un fluorómetro (Fluor Pen FP150[®]), se realizó la medición una hora después del atardecer, es decir a las 8:30 pm (UTC-6) en oscuridad cuando el fotosistema II de la planta se encontraba inactivo, se realizó una medición en tiempo cero, un día después de la inoculación y posteriormente tres mediciones durante una semana cada tercer día a la misma hora indicada.

9.8.5.5 Temperatura foliar

La temperatura foliar se determinó con la ayuda de un termómetro digital para oídos (Citizen[®]), se registró la temperatura en tres puntos de una hoja la cual se seleccionó de la

parte superior de la planta, que estuviera sana, sin ninguna malformación o daño (Figura 7). Las mediciones se realizaron a partir de las 9:00 am, cuando la planta se encontraba en las condiciones ambientales óptimas (Temperatura: $23^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) y así poder detectar el estrés por la infección de *P. capsici*. Se realizó una medición en tiempo cero, un día después de la inoculación y tres mediciones durante una semana cada tercer día.



Figura 7. Determinación del rendimiento fotosintético y temperatura foliar en plantas de chile pasilla: A) Fluorómetro utilizado para las mediciones, B) Termómetro y medición de temperatura foliar, C) Hoja marcada para la medición de temperatura foliar y puntos en los que se realizó la medición.

9.8.5.6 Clorofila

La clorofila se cuantificó con la ayuda de un medidor de concentración de clorofila el cual reporta unidades de $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ (Apogee instruments[®]), esto se realizó a las 10:30 am y se registró la concentración de tres hojas de la planta para calcular el promedio. Se realizó una medición en tiempo 0, es decir el día en que se inocularon las plantas y seis mediciones cada tercer día durante las dos semanas que duró el experimento.

9.8.5.7 Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar que constó de 24 tratamientos por 6 repeticiones, dando un total de 144 unidades experimentales (Tabla 6), las cuales se

distribuyeron de manera aleatoria bajo condiciones de invernadero (Temperatura mínima: 21°C, temperatura máxima: 40°C).

Tabla 4. Accesiones de chile pasilla y controles susceptibles y resistente inoculados con tres aislados de *Phytophthora capsici*.

ACCESIONES	AISLADOS			
	CPV- 271	CPV- 259	CPV- 280	S/P
CM-334	T1	T2	T3	T4
CW	T5	T6	T7	T8
28-P-2016	T9	T10	T11	T12
35-P-2016	T13	T14	T15	T16
44-P-2016	T17	T18	T19	T20
71-P-2016	T21	T22	T23	T24

T = Tratamiento, P = Pasilla, CM = Criollo de Morelos, CW = California Wonder, S/P = Sin Patógeno, CPV = Colección Patología Vegetal.

El experimento se repitió dos veces para corroborar la reproducibilidad, en la repetición se evaluaron las accesiones inoculadas únicamente con el aislado CPV-271 y se añadió la variable de clorofila a las variables evaluadas.

El diseño experimental fue un diseño experimental completamente al azar y constó de 12 tratamientos con 3 repeticiones lo que originó un total de 36 unidades experimentales (Tabla 7).

Tabla 5. Accesiones de chile pasilla y controles susceptibles y resistente inoculados con tres aislados de *Phytophthora capsici*.

ACCESIONES	AISLADOS	
	CPV- 271	S/P
CM-334	T1	T2
CW	T3	T4
28-P-2016	T5	T6
35-P-2016	T7	T8
44-P-2016	T9	T10
71-P-2016	T11	T12

T = Tratamiento, P = Pasilla, CM = Criollo de Morelos, CW = California Wonder, S/P = Sin Patógeno, CPV = Colección Patología Vegetal.

10. RESULTADOS

10.1 Preselección de las accesiones de chile pasilla

Como resultado de las evaluaciones de las nueve accesiones iniciales de chile pasilla contra los tres fenotipos de virulencia de *P. capsici* los primeros síntomas se observaron una semana después de que se inocularon las plantas. La primera accesión en mostrar síntomas fue el control susceptible CW, el cual presentó clorosis y posteriormente se observó necrosis en el tallo y después de ocho días todas las plantas inoculadas de esta accesión se registraron como plantas. Posterior a esto se observó necrosis de menos del 10% en las accesiones 44-P-2016 y 71-P-2016 a excepción del control resistente CM-334. El experimento tuvo una duración de 30 días ya que fue el periodo en que se observó clorosis en la accesión CM-334 inoculada con el aislado CPV-271 y se pudo observar que las accesiones 28-P-2016, 35-P-2016, 44-P-2016 y 71-P-2016 mostraron un mayor número de plantas sanas al final del experimento.

Al clasificar las accesiones de acuerdo a su nivel de resistencia/tolerancia se obtuvo que únicamente el control CM-334 inoculado con los aislados CPV-279 y CPV-283 se comportó como resistente, las accesiones que mostraron moderada resistencia fueron 29-P-2016, 44-P-2016, 59-P-2016 y 71-P-2016 (Figura 6), al ser inoculadas con el aislado CPV-283, para el aislado CPV-279, las accesiones 35-P-2016, 44-P-2016 y 71-P-2016 mostraron moderada resistencia, mientras que para el aislado CPV-271 solo fue la accesión 28-P-2016, esta misma accesión fue la única que mostró moderada tolerancia frente al aislado CPV-283. Las accesiones 29-P-2016, 35-P-2016, 44-P-2016, 59-P-2016 y 71-P-2016 mostraron tolerancia al aislado CPV-271 (Figura 8) y las accesiones 27-P-2016, 28-P-2016 y 35-P-2016 mostraron tolerancia a los aislados CPV-279 y CPV-283. Las accesiones que mostraron susceptibilidad fueron la 27-P-2016, 47-P-2016 inoculadas con el aislado CPV-271, la 29-P-2016, 47-P-2016, 58-P-2016 inoculadas con el aislado CPV-279 y las accesiones 47-P-2016 y 59-P-2016 inoculadas con el aislado CPV-283 (Tabla 4).

Tabla 6. Categorización de las 9 accesiones de chile pasilla, en resistentes (R), moderadamente resistentes (MR), tolerantes (T), moderadamente resistentes (MR), susceptibles (S) y los controles resistente y susceptible.

Accesión	Aislado	Plantas inoculadas	Plantas sanas	% Plantas resistentes	Clasificación
CM-334	CPV-271	12	0	0	S
CM-334	CPV-279	12	12	100	R
CM-334	CPV-283	12	12	100	R
C.R.C. S	CPV-271	12	0	0	S
C.R.C. S	CPV-279	12	0	0	S
C.R.C. S	CPV-283	12	0	0	S
CW	CPV-271	12	0	0	S
CW	CPV-279	12	0	0	S
CW	CPV-283	12	0	0	S
27P-2016	CPV-271	12	3	25	S
27P-2016	CPV-279	12	6	50	T
27P-2016	CPV-283	12	4	33	MT
28P-2016	CPV-271	12	10	83	MR
28P-2016	CPV-279	12	7	58	T
28P-2016	CPV-283	12	6	50	T
29P-2016	CPV-271	12	6	50	T
29P-2016	CPV-279	12	0	0	S
29P-2016	CPV-283	12	9	75	MR
44P-2016	CPV-271	12	7	58	T
44P-2016	CPV-279	12	9	75	MR
44P-2016	CPV-283	12	9	75	MR
47P-2016	CPV-271	12	1	8	S
47P-2016	CPV-279	12	0	0	S
47P-2016	CPV-283	12	0	0	S
35P-2016	CPV-271	12	5	41	T
35P-2016	CPV-279	12	8	66	MR
35P-2016	CPV-283	12	6	50	T
58P-2016	CPV-271	12	5	41	T
58P-2016	CPV-279	12	0	0	S
58P-2016	CPV-283	12	3	25	S
59P-2016	CPV-271	12	7	58	T
59P-2016	CPV-279	12	0	0	S
59P-2016	CPV-283	12	9	75	MR

71P-2016	CPV-271	12	7	58	T
71P-2016	CPV-279	12	8	66	MR
71P-2016	CPV-283	12	9	75	MR

CM= Criollo de Morelos, C.R.C. S= Camino Real Chile Serrano, CW= California Wonder, P= Pasilla, CPV= Código Patología Vegetal.

Cuando finalizó el experimento, se realizó un muestreo destructivo para hacer aislamientos de la raíz de las accesiones y así determinar el porcentaje de colonización del patógeno (Tabla 5).

Tabla 7. Porcentaje de colonización de *Phytophthora capsici* en raíz de las 12 accesiones evaluadas.

ACCESIÓN	AISLADO		
	CPV-271	CPV-279	CPV-283
CM-334	93.70%	0	0
C.R.C. S	65.62%	65.62%	62.50%
CW	37.50%	53.12%	15.62%
27-P-2016	53.12%	50%	65.62%
28-P-2016	21.87%	53.12%	40.62%
29-P-2016	28.12%	28.12%	31.25%
44-P-2016	15.62%	9.37%	28.12%
47-P-2016	12.50%	37.50%	6.25%
35-P-2016	43.75%	25%	56.25%
58-P-2016	18.75%	37.50%	71.87%
59-P-2016	40.62%	25%	9.37%
71-P-2016	28.12%	18.75%	9.37%

CPV= Código Patología Vegetal, CM= Criollo de Morelos, C.R.C. S= Camino Real Chile Serrano, CW= California Wonder, P= Pasilla.

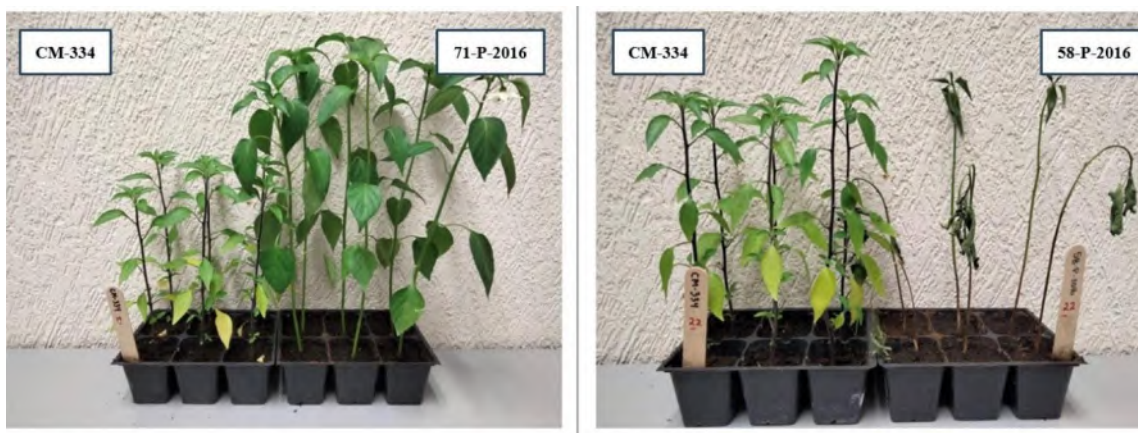


Figura 8. Comparación del control resistente (CM-334) con una accesión tolerante (71-P-2016) inoculadas con el aislado CPV-271 y del control resistente (CM-334) con una accesión susceptible (58-P-2016) inoculadas con el aislado CPV-279.

10.2 Evaluación de las accesiones preseleccionadas de chile pasilla frente a *Phytophthora capsici*

En la tabla 8, se muestra la clasificación de las accesiones de acuerdo con el número de plantas resistentes al final del experimento. Los primeros síntomas de la enfermedad se observaron al tercer ddi en el control susceptible, a los siete ddi, todas las plantas de CW murieron por lo que se concluyó el experimento para evaluar la biomasa seca de las accesiones. Para la repetición del experimento, los primeros síntomas de la enfermedad aparecieron a los cinco ddi en el control susceptible CW y al término de 14 días todas las plantas murieron, momento en el cual se concluyó el experimento para el registro de las variables restantes (Figuras 9, 10 y 11).



Figura 9. Comparación de las accesiones de chile pasilla evaluadas contra el aislado CPV-271 al final del experimento.



Figura 10. Comparación de las accesiones de chile pasilla evaluadas contra el aislado CPV-259 al final del experimento.



Figura 11. Comparación de las accesiones de chile pasilla evaluadas contra el aislado CPV- 280 al final del experimento.

Los resultados obtenidos mostraron que las accesiones 28-P-2016, 35-P-2016 y 71-P-2016 fueron clasificadas como moderadamente resistentes y la accesión 44-P-2016 como resistente al igual que el control resistente CM-334; en la repetición del experimento las accesiones mostraron un nivel de severidad más alto por lo que su clasificación se modificó quedando las accesiones 35-P-2016, 44-P-2016 y 71-P-2016 como moderadamente tolerantes y únicamente la accesión 28-P-2016 mantuvo su clasificación de moderadamente resistente en ambos experimentos (Tabla 8).

Al evaluar el porcentaje de colonización del patógeno en la raíz de las accesiones, se observó que las accesiones presentaron mayor porcentaje de colonización en el segundo experimento, de igual forma se observaron diferencias significativas entre las accesiones al evaluar la biomasa seca de la raíz en ambos experimentos. Las accesiones que menores valores de biomasa seca presentaron fueron 28-P-2016, 44-P-2016 y 71-P-2016 inoculadas con el aislado CPV-280 (Tabla 9), lo que indica que es el aislado con mayor virulencia en la raíz de las accesiones (Figura 15).

En la evaluación de la biomasa seca de la parte aérea y biomasa seca total no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, sin embargo, en el segundo experimento se observó una disminución de los valores de biomasa seca de la parte aérea y biomasa seca total. En cuanto a la biomasa seca de la raíz se observó que la accesión 71-P-2016 registró el menor peso, esta accesión fue evaluada con el aislado CPV-271, lo que indica que en el segundo experimento las accesiones fueron más susceptibles a la infección de *P. capsici*, o bien, los aislados resultaron ser más virulentos, ya que se tiene la hipótesis de que la temperatura afectó a las plantas ocasionándoles estrés hídrico y por consecuencia fueron más susceptibles, de igual manera se tiene la hipótesis de que los aislados al ser reaislados de plantas anteriores, estos adquirieron más virulencia y por ello el daño fue mayor (Tabla 9).



Figura 12. Comparación de las raíces al final del experimento, **A)** CM-334 sin inocular, **B)** California Wonder, **C)** CM-334 inoculado, **D)** 28-P-2016, **E)** 35-P-2016, **F)** 44-P-2016, **G)** 71-P-2016.

Las evaluaciones del rendimiento fotosintético presentaron diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$), en el primer experimento, registrando los valores más bajos el control susceptible CW, lo que indicó que la mayoría de las accesiones se comportaron similar al control resistente, sin embargo al desarrollar el segundo experimento, en todas las accesiones evaluadas el rendimiento fotosintético y la temperatura foliar disminuyeron (Tabla 10), esto es indicativo de que las plantas se encontraban más estresadas, esto puede ser debido a que la temperatura en el invernadero se elevó de manera considerable alcanzando los 40°C, lo que provocó que las plantas se estresaran más y el patógeno

infectara de manera más lenta ya que se observaron los primeros síntomas cinco ddi y no al tercer ddi como en el primer experimento.

La medición de la clorofila fue una variable de estrés fisiológico extra que se midió en el segundo experimento para evaluar si esta disminuye al estar la planta inoculada con *P. capsici*. Para esta variable se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$), sin embargo, se observó que la accesión 44-P-2016 fue la que registró mayor contenido de clorofila en comparación con las accesiones restantes. El control susceptible CW, registró una disminución en los valores de clorofila comparado con el control sin patógeno, pero estadísticamente los valores resultaron estadísticamente similares (Tabla 10).

Tabla 8. Categorización de las accesiones de chile evaluadas en el segundo experimento de acuerdo con el porcentaje de plantas sanas al final del experimento.

Accesión	Aislado	Plantas inoculadas	Plantas sanas	% plantas resistentes	Clasificación	Plantas inoculadas	Plantas sanas	% plantas resistentes	Clasificación
Repetición									
28-P-2016	CPV-271	6	5	83%	MR	3	2	66%	MR
28-P-2016	CPV-259	6	6	100%	R	-	-	-	-
28-P-2016	CPV-280	6	4	67%	MR	-	-	-	-
28-P-2016	S/P	6	6	100%	R	3	3	100%	R
35-P-2016	CPV-271	6	4	67%	MR	3	1	33%	MT
35-P-2016	CPV-259	6	5	83%	MR	-	-	-	-
35-P-2016	CPV-280	6	6	100%	R	-	-	-	-
35-P-2016	S/P	6	6	100%	R	3	3	100%	R
44-P-2016	CPV-271	6	6	100%	R	3	1	33%	MT
44-P-2016	CPV-259	6	6	100%	R	-	-	-	-
44-P-2016	CPV-280	6	3	50%	T	-	-	-	-
44-P-2016	S/P	6	6	100%	R	3	3	100%	R
71-P-2016	CPV-271	6	5	83%	MR	3	1	33%	MT
71-P-2016	CPV-259	6	6	100%	R	-	-	-	-
71-P-2016	CPV-280	6	5	83%	MR	-	-	-	-
71-P-2016	S/P	6	6	100%	R	3	3	100%	R

CM-334	CPV-271	6	6	100%	R	3	3	100%	R
CM-334	CPV-259	6	6	100%	R	-	-	-	-
CM-334	CPV-280	6	6	100%	R	-	-	-	-
CM-334	S/P	6	6	100%	R	3	3	100%	R
CW	CPV-271	6	0	0%	S	3	0	0%	S
CW	CPV-259	6	0	0%	S	-	-	-	-
CW	CPV-280	6	3	50%	T	-	-	-	-
CW	S/P	6	6	100%	R	3	3	100%	R

P= Pasilla, CM= Criollo de Morelos, CW= California Wonder, CPV= Código Patología Vegetal, R= Resistente, MR= Moderadamente resistente, T= tolerante, MT= Moderadamente tolerante, S= Susceptible, S/P= Sin patógeno.

Tabla 9. Porcentaje de colonización del patógeno y biomasa seca de las accesiones de chile evaluadas.

Accesión	Aislado	% Colonización 1er experimento	% Colonización 2do experimento	BSR	BSA	BST	BSR	BSA	BST
				1er experimento			2do experimento		
CM-334	CPV-271	4.3	0	0.74 c	3.9 a	4.65 ab	0.155 bc	0.919 abc	1.074 ab
CM-334	CPV-259	4.3	-	0.69 bc	4.0 ab	4.64 ab	-	-	-
CM-334	CPV-280	0	-	0.72c	4.2 ab	4.92 abc	-	-	-
CM-334	S/P	0	0	0.89 c	5.0 abc	5.85 abcd	0.168 abcd	1.766 ef	1.934 cd
28P-2016	CPV-271	46	20	0.58 abc	3.9 a	4.45 ab	0.269 d	1.313 cde	1.582 bcd
28P-2016	CPV-259	46.3	-	0.70 bc	4.5 abc	5.18 abcd	-	-	-
28P-2016	CPV-280	21	-	0.59 abc	4.0 ab	4.62 ab	-	-	-

28P-2016	S/P	0	0	0.79 c	5.8 bc	6.61 bc	0.267 cd	1.793 ef	2.06 cd
35P-2016	CPV-271	54.3	83	0.65 bc	4.4 abc	5.08 abcd	0.239 bcd	1.193 cde	1.361 bc
35P-2016	CPV-259	46	-	0.66 bc	3.7 a	4.40 ab	-	-	-
35P-2016	CPV-280	8.6	-	0.71 c	4.7 abc	5.38 abcd	-	-	-
35P-2016	S/P	0	0	0.82 c	4.8 abc	5.65 abcd	0.260 cd	1.970 f	2.23 d
44P-2016	CPV-271	0	80	0.74 c	5.4 abc	6.12 bcd	0.218 cd	1.360 def	1.578 bcd
44P-2016	CPV-259	71	-	0.73 c	4.6 abc	5.31 abdc	-	-	-
44P-2016	CPV-280	87.6	-	0.56 abc	3.9 a	4.43 ab	-	-	-
44P-2016	S/P	0	0	0.81 c	5.1 abc	5.88 abcd	0.264 cd	1.905 abcde	1.359 abcd
71P-2016	CPV-271	29.3	75	0.68 bc	3.7 a	4.41 ab	0.099 ab	0.590 a	.0.690 a
71P-2016	CPV-259	12.6	-	0.81 c	5.1 abc	5.95 abcd	-	-	-
71P-2016	CPV-280	8.6	-	0.68 bc	4.2 ab	4.85 abc	-	-	-
71P-2016	S/P	0	0	0.82 c	6.1 c	6.96 b	0.267 cd	0.926 abcd	1.191 abc
CW	CPV-271	21	100	0.26 a	3.8 a	4.08 a	0.028 a	0.703 ab	0.731 a
CW	CPV-259	12.6	-	0.33 ab	3.8 a	4.17 a	-	-	-
CW	CPV-280	33.3	-	0.65 bc	4.1 ab	4.76 abc	-	-	-
CW	S/P	0	0	0.87 c	4.7 abc	5.61 abcd	0.166 bc	0.807 abcd	0.937 ab

P= Pasilla, CM= Criollo de Morelos, CW= California Wonder, CPV= Colección Patología Vegetal, S/P= Sin patógeno, BSR= Biomasa seca de raíz, BSA= Biomasa seca de la parte aérea, BST= Biomasa seca total. Diferentes letras significan diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Kruskal-Wallis ($P<0.05$).

Tabla 10. Evaluación del rendimiento fotosintético y temperatura foliar en plantas de chile inoculadas y sin inocular.

Accesión	Rendimiento Fotosintético	Temperatura foliar °C	Rendimiento Fotosintético	Temperatura foliar °C	Concentración de clorofila $\mu\text{mol/m}^2$
	Primer experimento		Segundo experimento		
CM-334 CPV-271	0.78 b	31.8 ab	0.7 bc	28.3	248.9 a
CM-334 S/P	0.78 b	31.8 ab	0.69 bc	27.8	200.5 a
28-P-2016 CPV-271	0.77 b	31.0 ab	0.71 c	28	324.2 ab
28-P-2016 S/P	0.77 b	30.4 a	0.66 abc	28.3	211.3 a
35-P-2016 CPV-271	0.75 b	30.8 a	0.69 bc	28.5	325.3 ab
35-P-2016 S/P	0.78 b	31.6 ab	0.66 abc	28.5	314.1 ab
44-P-2016 CPV-271	0.78 b	31.1 ab	0.7 bc	27.6	428.6 b
44-P-2016 S/P	0.77 b	30.9 a	0.67 abc	27.9	297.9 ab
71-P-2016 CPV-271	0.77 b	31.1 ab	0.63 ab	28.1	319.6 ab
71-P-2016 S/P	0.78 b	31.4 ab	0.71 c	28.6	280.5 ab

CW CPV-271	0.68 a	31.3 ab	0.57 a	28.7	248.6 a
CW S/P	0.77 b	33.3 b	0.69 bc	27.1	181.3 a

P= Pasilla, CM= Criollo de Morelos, CW= California Wonder, CPV= Código Patología Vegetal, S/P= Sin patógeno. Diferentes letras significan diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Kruskal-Wallis ($P<0.05$).

En el segundo experimento, en la fase de preparación del inóculo, los aislados fueron observados al microscopio para corroborar la formación de esporangios (Figura 14) y se observaron además de estos, la formación de clamidosporas (Figura 13), esto toma relevancia ya que algunos autores mencionan que *Phytophthora capsici* no forma clamidosporas.

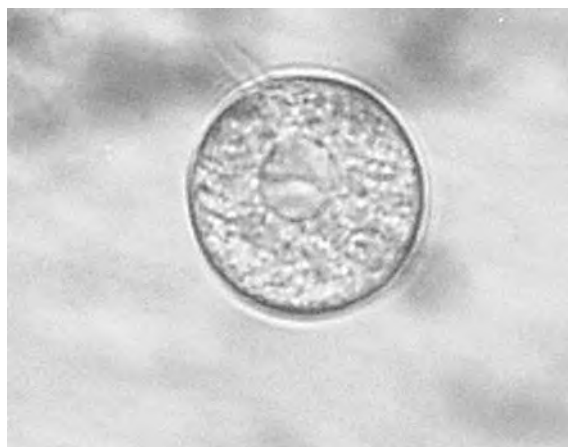


Figura 13. Clamidospora de *Phytophthora capsici* (aislado CPV-271).

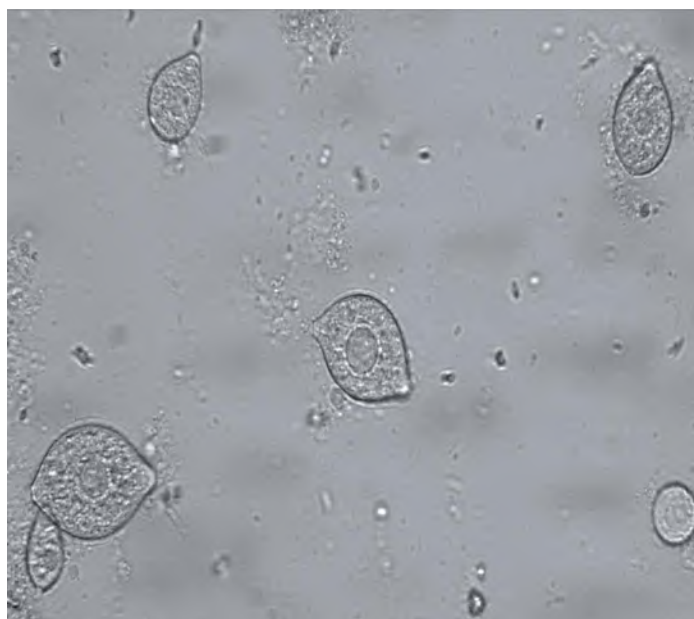


Figura 14. Esporângios de *Phytophthora capsici* (aislado CPV-271).

11. DISCUSIÓN.

Las evaluaciones realizadas demuestran que cuatro accesiones de chile pasilla son moderadamente resistentes o tolerantes a diferentes fenotipos de virulencia de *P. capsici*, lo que nos lleva a la hipótesis de que las accesiones de chile pasilla evaluadas en este estudio presentan genes de resistencia al patógeno. Al evaluar el porcentaje de colonización en raíz se observó que el control resistente CM-334 inoculado con el aislado CPV-271 presentó un alto porcentaje de colonización en la raíz, lo que indica que el control resistente no presenta resistencia universal a *P. capsici*, lo cual ya había sido observado en otro estudio desarrollado *in vitro* por Castro-Rocha, (2016). En el caso particular de las accesiones de chile pasilla evaluadas en el presente estudio, se podrían realizar cruces con cultivares de chile susceptibles e identificar mediante segregación genética en la descendencia la posible presencia de genes de resistencia, y emplearlos en programas de fitomejoramiento, como se ha realizado en otros estudios como el de Palma-Martínez et al. (2017) quienes evaluaron líneas de chile huacle tolerante a *P. capsici* las cuales al ser cruzadas con el chile susceptible NuMex, reportaron la presencia de individuos resistentes y susceptibles en proporción 3:1, lo cual indicó la presencia de un gen de resistencia en algunas variedades de chile huacle.

Por otro lado, se han reportado otras accesiones de chile pasilla como tolerantes a *P. capsici*, en un estudio realizado por Reyes-Tena et al. (2021), se encontró que las accesiones de chile pasilla PAS-2 y PAS-3 provenientes de Zacatecas, México, registraron moderada resistencia, tolerancia y moderada tolerancia al ser inoculadas con los fenotipos de virulencia MX-1, MX2, MX-7, MX-8 y MX-10, de *P. capsici*. En el caso particular de los fenotipos MX-7 y MX-8 que también fueron evaluados en el presente estudio, los resultados obtenidos son consistentes en cuanto al nivel de resistencia/tolerancia que presentan las accesiones de chile pasilla. En otro estudio realizado por Reyes-Tena et al. (2022), también se encontró tolerancia en un cultivar de chile pasilla (chilaca) obtenido de Queréndaro, Michoacán, incluso al ser inoculado con dosis más altas del patógeno (15,000 zoosporas/mL⁻¹ por planta); sin embargo, esta respuesta solo se evaluó frente a un aislado

del patógeno. La búsqueda de material vegetal con resistencia y tolerancia a *P. capsici* debe ser evaluado frente a diferentes fenotipos de virulencia o razas fisiológicas del patógeno (Oelke, *et al.*, 2003; Sy *et al.*, 2008, Monroy-Barbosa y Bosland 2011; Jiang *et al.*, 2015; Barchenger *et al.*, 2018), lo anterior debido a que si las variedades de chile son resistentes a diferentes fenotipos de virulencia que se pueden encontrar en las zonas de producción, especialmente del norte y centro de México, donde se ha reportado una alta diversidad genética de *P. capsici* (Castro-Rocha *et al.*, 2012) tienen más probabilidades de sobrevivir.

Otras fuentes de resistencia a *P. capsici* han sido reportadas en México por Retes-Manjarrez *et al.* (2020), quienes encontraron que seis cultivares de chile jalapeño, manzano y piquín registraron alta resistencia a un aislado virulento del patógeno obtenido de Sinaloa, México; estos resultados fueron consistentes en dos experimentos repetidos que realizaron bajo invernadero en las mismas condiciones experimentales (20 – 32 °C). En el caso particular del presente estudio, los resultados registrados en la repetición del experimento no fueron totalmente consistentes, debido principalmente a que las accesiones de chile pasilla evaluadas registraron un mayor nivel de severidad de la enfermedad en la mayoría de las interacciones accesión x aislado, lo anterior es posible que se deba a la variación ambiental registrada durante la repetición del experimento, donde, a pesar de que se desarrolló en las mismas fechas que el experimento anterior, se registraron temperaturas más elevadas (40°C temperatura máxima), lo que pudo afectar directamente el desempeño de las accesiones evaluadas de chile pasilla. En este sentido, las condiciones ambientales (Saltos *et al.*, 2022); y la etapa de crecimiento vegetal juegan un papel clave en el mantenimiento de la resistencia de las variedades vegetales que se pretenden evaluar frente a fitopatógenos como *P. capsici* (Develey-Rivière y Galiana *et al.*, 2007). Esta información es relevante ya que esto muestra una respuesta diferencial de las accesiones de chile pasilla bajo condiciones de estrés como resultado del cambio climático.

Otra estrategia para el uso de material resistente a *P. capsici* es la producción de injertos donde se coloque material vegetal con características agronómicas deseables. En este sentido, García-Rodríguez *et al.* (2010) evaluaron plantas de chile ancho variedad Rebelde injertadas con CM-334, donde observaron mejores rendimientos de las plantas y no observaron daños por la enfermedad. En el caso particular de las variedades de chile pasilla

tolerantes al patógeno, esta estrategia se podría explorar al injertar cultivares que son muy susceptibles como el pimiento (Votava y Bosland, 2002); sin embargo, al ser las accesiones de chile pasilla un chile comercial y atractivo para su mercadeo en estado verde (chilaca) o bien, mediante la transformación en alimentos derivados como el mole, lo más práctico podría resultar utilizarlas de manera directa para cultivo por parte de los productores en las zonas de donde es nativa (Reyes-Tena *et al.*, 2022).

Finalmente, el presente estudio contribuye con información importante en la búsqueda de material vegetal resistente a *P. capsici*, un patógeno agresivo y difícil de controlar con estrategias de manejo convencional. Actualmente, solo la compañía de semillas Seminis® perteneciente a Vegetables by Bayer® comercializa tres variedades de chile con resistencia intermedia a *P. capsici*: chile jalapeño “Tzotzil”, chile pasilla “Sombrerete” y chile caribe “Becan” (Gutiérrez-Vázquez, 2021; Vegetables-Bayer, 2024); sin embargo, el alto costo de estos híbridos limita su uso extensivo por parte de los productores. Por este motivo, la búsqueda de material vegetal local con resistencia al patógeno, especialmente los cultivares criollos que los mismos productores seleccionan, sigue siendo la mejor estrategia en términos de sostenibilidad para el manejo de esta enfermedad. Por otro lado, es importante considerar las condiciones ambientales, las cuales pueden romper la tolerancia al patógeno, por ejemplo, las altas temperaturas registradas en el segundo experimento provocaron un mayor estrés en las accesiones de chile pasilla y es de particular interés la formación de clamidosporas de un aislado del patógeno, lo cual favoreció su establecimiento y mayor virulencia en las condiciones de temperatura mencionadas. En este sentido, es importante continuar con la búsqueda de material vegetal con mayor rango de tolerancia al patógeno.

12. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se encontró que cuatro accesiones de chile pasilla presentaron resistencia, moderada resistencia, y moderada tolerancia a diferentes fenotipos de virulencia de *P. capsici*. La información presentada en esta tesis podría servir para la utilización de estas accesiones en programas de fitomejoramiento de chile, o bien, ser utilizadas directamente en sus cultivos por los productores, especialmente en las zonas de donde fueron obtenidos los aislados del patógeno. Por otro lado, las variables de respuesta de estrés fisiológico evaluadas en el presente estudio podrían ser útiles únicamente en casos

donde la especie vegetal presenta un daño muy avanzado, por lo que es necesario realizar evaluaciones posteriores para estandarizar las técnicas de medición.

13. LITERATURA CITADA.

- Agrios, G. N. (1995). Fitopatología. Tercera edición traducida del inglés por Manuel Guzmán Ortiz. *Editorial Limusa, SA de CV México*, 837.
- Aguilar-Rincón, V., Corona-T, H. T., y Morán B, S. H. (2006). Chiles criollos (*Capsicum* spp., Solanaceae) de los estados de Puebla y Morelos. En: L. López P, y H. Montes S, *Avances de investigación de la red de hortalizas del SINAREFI*. (págs. 28-58). Celaya, Guanajuato, México: Libro Científico Núm. 1. Campo Experimental Bajío INIFAP.
- Aguilar-Rincón, V. H., Corona-Torres, T., López-López, P., Latournerie-Moreno, L., Ramírez-Meraz, M., Villalón-Mendoza, H., y Aguilar-Castillo, J. A. (2010). *Los chiles de México y su distribución*. Montecillo, Texcoco, Estado de México: SINAREFI, Colegio de Posgraduados, INIFAP, IT-CONKAL, UANL y UAN.
- Aguirre-Hernández, E., y Muñoz-Ocoter, V. (2015). El chile como alimento. *Ciencia*, 16-23.
- Anaya-López, J. L., González-Chavira, M. M., Villordo-Pineda, E., Rodríguez-Guerra, R., Rodríguez-Martínez, R., Guevara-González, R. G., ... y Torres-Pacheco, I. (2011). Selection of chili pepper genotypes resistant to pathogenic wilt disease complex. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(3), 373-383.
- Aristizabal C. N. y Torres G. 2015. Caracterización morfológica y molecular de *Phytophthora* en ají (*Capsicum frutescens* var. Tabasco), Valle del Cauca. *Revista de Ciencias* 19(2): 71-89.
- Barchenger, D., Lamour, K. H., y Bosland, P. W. (2018). Challenges and strategies for breeding resistance in *Capsicum annuum* to the multifarious pathogen, *Phytophthora capsici*. *Frontiers in Plant Science*, 9, 628. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00628>
- Bartual, R., y Marsal, J. (1993). Efectos epistáticos en la resistencia a *Phytophthora capsici* Leon en pimiento (*Capsicum annuum*). *Boletín de Sanidad Vegetal. Plagas*, 19(3), 485-490.
- Bautista, C. J.; García, E. R.; Montes, B. R.; Zavaleta, M. E.; Pérez, M. J.; Ferrera, C. R.; García, C. R. y Huerta, L. M. (2010). Disminución de la marchitez del chile por introducción de antagonistas en cultivos de rotación. *INTERCIENCIA*, 35(9), 673-679.

- Bosland, P.W. y Lindsay, D.L. 1991. A seedling screening for *Phytophthora* root rot of pepper, *Capsicum annuum*. *Plant Disease* 75:1048-1050.
- Campos, H., Mancera, A. V., Trejo, C., Quintana, F. U., García, T. C., García-Díaz, S. E., ... y Parada, J. R. B. (2024). Intercambio de gases y su relación con la fluorescencia de clorofila en plantas de chile pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) bajo estrés hídrico. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 10(1), 1.
- Casas, A y Caballero, J. 1995. Domesticación de plantas y origen de la agricultura en Mesoamérica. *Ciencias*, 40, octubre-diciembre, 36-45. [En línea].
- Castro-Rocha A.; Fernández, P. S. P. y Osuna, A. P. (2012). Mecanismos de defensa del chile en el patosistema *Capsicum annuum-Phytophthora capsici*. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 30(núm. 1), 49-65.
- Castro-Rocha, A. 2016. *Phytophthora capsici* in Mexico: physiological races, genetic diversity and evaluation of the genetic expression. Tesis para obtener el grado de doctor. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.
- Chew-Madinaveitia, Y. I., Vega-Piña, A., Palomo-Rodríguez, M., y Jiménez-Díaz, F. (2008). Principales enfermedades del chile (*Capsicum annuum* L.). *Folleto Técnico num.15 SAGARPA, INIFAP*, 1-28.
- CIAD. 2019. El chile como parte de la cultura alimenticia de México. <https://www.ciad.mx/el-chile-como-parte-de-la-cultura-alimenticia-de-mexico/> Accesado el 26 de febrero 2024.
- Cowan, C. 2019. Tras los pasos del maíz criollo, 50 años después. Reportaje. CIMMYT.
- Develey-Rivière, M. P., y Galiana, E. (2007). Resistance to pathogens and host developmental stage: a multifaceted relationship within the plant kingdom. *New Phytologist*, 175(3), 405-416.
- Echemendia M., Y. 2000. *Phytophthora*: Características, diagnóstico y daños que provoca en algunos cultivos tropicales. *Medidas de control. FAO*. 30 p.
- FAOSTAT. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Obtenido de <http://www.fao.org/faostat/es/?#data/QC>. Accesada el 20 de marzo 2023.
- Figueira, A. C. (2021). Evaluación de la resistencia de tres líneas de pimiento de tipo Padrón frente a *Phytophthora capsici*. Trabajo de Fin de Máster.
- Fernández, P. S. P.; Biles, C. L.; Waugh, M. E.; Onsurez, W. K.; Rodríguez, A. G., y Liddell, C. M. (2004). Characterization of Southern New Mexico *Phytophthora capsici* Leonian isolates from pepper (*Capsicum annuum* L.). *Revista Mexicana de Fitopatología*, 22(1), 82-89.
- Fernández-Herrera, E., Acosta-Ramos, M., y Pinto, V.M. (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.
- García-Rodríguez, M.R., Chiquito-Almanza, E., Loeza-Lara, P.D. H. Godoy-Hernández, E., Villordo-Pineda, J.L., Pons-Hernández, M.M., González-Chavira, y Anaya-López, J.L. (2010). Producción de chile ancho injertado sobre Criollo de Morelos 334 para el control de *Phytophthora capsici*. *Agrociencia* 44:701-709.
- Glosier, B.R., Ogundiwin, E.A., Sidhu, G.S., Sisco, D.R. y Prince, J.P. 2008. A differential series of pepper (*Capsicum annuum*) lines delineates fourteen physiological races of *Phytophthora capsici*. *Euphytica* 162:23-30.
- Granke L. L., Quesada-Ocampo, L., Lamour, K. y Hausbeck, M. K. 2012. Advances in research on *Phytophthora capsici* on vegetable crops in the United States. *Plant Disease* 95: 1588-1600.
- Guigón-López, C., y González-González, P. A. (2001). Estudio regional de las enfermedades del chile (*Capsicum annuum*, L.) y su comportamiento temporal en el Sur de Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 19(1), 49-56.
- Gutiérrez Vázquez, J. J. 2021. Efecto de bioestimulantes y microorganismos en el crecimiento, rendimiento y calidad de frutos de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) var. Tzotzil. Tesis de licenciatura. UAAAN.
- Hodgson, E., y Rose, R. L. (2008). Metabolic interactions of agrochemicals in humans. *Pest Management Science*, 64(6), 617-621. <https://doi.org/10.1002/ps.1563>
- Huallanca, C. A., y Giraldo, C. A. C. (2014). Control de *Phytophthora capsici* Leonian en *Capsicum annuum* cv. Papri king con fungicidas, fertilizantes y biocontroladores. In *Anales Científicos*, 75 (1), pp. 130-137). Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Jiang, L., Sanogo, S. y Bosland, P.W. 2015. Using recombinant inbred lines to monitor changes in the race structure of *Phytophthora capsici* in chile pepper in New Mexico. *Plant Health Progress* 16:235-240.
- Jinwen, L., Jingping, Y., Pinpin, F., Junlan, S., Dongsheng, L., Changshui, G., y Wenyue, C. (2009). Responses of rice leaf thickness, SPAD readings and chlorophyll a/b ratios to different nitrogen supply in paddy field. *Field Crops Research*, 114(3), 426-432.
- Lamour, K. H., Remco, S., Jupe, J., y Huitema, E. (2012). The oomycete broad-host-range pathogen *Phytophthora capsici*. *Molecular Plant Pathology*, 13(4), 329-337. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2011.00754.x>
- Long-Solis, J. (1986). *Capsicum y cultura: La historia del chilli*. Fondo de Cultura Económica (FCE).

- Mendieta Vázquez, A. G. (2023). Histocompatibilidad y compuestos bioactivos en injertos de chile pimienta y serrano (*Capsicum annuum* L.) con dos portainjertos resistentes a *Phytophthora capsici* Leo. Tesis para obtener el grado de doctora. Universidad Autónoma de Aguascalientes.
- Mora, B. B., y Vargas, E. (1981). Evaluación de la resistencia de cultivares de chile (*Capsicum* spp.) a la pudrición basal causada por *Phytophthora capsici* Leonian. *Agronomía Costarricense*, 5, 109-113.
- Morán-Bañuelos, S.H., V.H. Aguilar-Rincón, T. Corona-Torres, y E. Zavaleta-Mejía. 2010. Resistencia a *Phytophthora capsici* Leo. de chiles nativos del sur de Puebla, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33: 21-26.
- Monroy-Barbosa, A. y Bosland, P.W. 2011. Identification of novel physiological races of *Phytophthora capsici* causing foliar blight using the New Mexico Recombinant Inbred pepper lines set as a host differential. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, 136:205–210, doi: 10.21273/JASHS.136.3.205.
- Oelke, L.M., Bosland, P.W., y Steiner, R. (2003). Differentiation of race specific resistance to *Phytophthora* root rot and foliar blight in *Capsicum annuum*. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, 128:213–218, doi: 10.21273/JASHS.128.2.0213.
- Palma, M., Aguilar, R., Corona, T., y Gómez, R. (2017). Resistencia a *Phytophthora capsici* Leo. en líneas de chile huacle (*Capsicum annuum* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 40(3), 359-363.
- Pavlović, D., Nikolić, B., Đurović, S., Waisi, H., Anđelković, A., y Marisavljević, D. (2014). Chlorophyll as a measure of plant health: Agroecological aspects in *Pesticidi I fitomedicina*. *Institute of Pesticides and Environmental Protection*, 29(1), 21-34.
- Pérez, M. L. ; Ramírez, M. L. J.; Sánchez, P. R.; Olalde, P. V. R. (2003). Compatibilidad fisiológica y sensibilidad a fungicidas de aislamientos de *Phytophthora capsici* Leo. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 21(1), 19-25.
- Pintado-López, L. M. (2017). Compatibilidad, fenología, rendimiento y tolerancia de cultivares de chile serrano susceptibles a *Phytophthora capsici* injertados sobre CM-334. Tesis para obtener el grado de maestra en ciencias. *Colegio de Postgraduados*.
- Ramírez L., A. Duran, D. Mora. 1998. Combate integrado de la pudrición radical de la papaya (*Phytophthora* sp) a nivel vivero. *Agronomía Mesoamericana* 9(1): 72-80.
- Reifschneider, F., Boiteux, L., Della Vecchia, P., Poulos, J., y Kuroda, N. (1992). Inheritance of adult-plant resistance to *Phytophthora capsici* in pepper. *Euphytica*, 62(núm. 1), 45-49.
- Retes-Manjarrez, J.E., W.A. Rubio-Aragon, I. Marques-Zequera, I. Cruz-Lachica, R.S. García-Estrada, y O. Sy. 2020. Novel sources of resistant to *Phytophthora capsici*

- on pepper (*Capsicum sp.*) landraces from Mexico. *Plant Pathology Journal*. 36:600–607, doi: 10.5423/ PPJ.OA.07.2020.0131.
- Reyes -Tena. A., Rodríguez, A. G., Vázquez, M. G., Pedraza S, M. E., Lamour, K., Larsen, J., y Fernández P, S. P. (2019). Virulence phenotypes on chile pepper for *Phytophthora capsici* isolates from Michoacán, Mexico. *HortScience*, 54, 1-6.
- Reyes-Tena. A., Rodríguez-Alvarado. G., Luna-Ruiz., J.J., Arreola-Romero. V., Arriaga-Solorio. K. L., Gómez-Dorantes. N., y Fernández-Pavía. S. (2021). Tolerance to virulence phenotypes of *Phytophthora capsici* in pasilla pepper cultivars. *HortScience*, 56, 1-6.
- Reyes-Tena, A., Ortega, J. M. G., Sarabia, M., Lopez, P. J., Pavia, S. P. F., Dorantes, N. G., ... y Larsen, J. (2022). Differential response of chili pepper genotypes to single and combined association with the mycorrhizal fungus *Rhizophagus irregularis* and the root pathogen *Phytophthora capsici*. *Rhizosphere*, 23, 100579.
- Rico, G. L., Medina, R. S., Muñoz, S. C., Guevara, O. L., y Guevara, G. R. (2004). Detección de *Phytophthora capsici* Leonian en plantas de chile (*Capsicum annum* L.) mediante PCR. *Revista Mexicana de Fitopatología*, vol. 22(1), 1-6.
- Ristaino, J.B., y Johnston, S.A 1999. Ecologically based approaches to management of *Phytophthora* blight on bell. *Plant Disease* 83:1080-1089.
- Salto, L. A., Monteros-Altamirano, Á., Reis, A., y Garcés-Fiallos, F. R. (2022). *Phytophthora capsici*: the diseases it causes and management strategies to produce healthier vegetable crops. *Horticultura Brasileira*, 40(1), 5-17.
- Sánchez, M. Á. A., Mejía, E. Z., Kawasoe, S. O., Espinosa, R. G., y Ureta, J. G. V. (2004). Pudrición de la corona del chile (*Capsicum annum* L.) en Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 22(1), 22-29.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, S. (2020). *El Chile es parte de nuestra riqueza mexicana [Artículo del blog]*. Obtenido de El Chile es parte de nuestra riqueza mexicana [Artículo del blog]: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/el-chile-es-parte-de-nuestra-riqueza-mexicana>
- SIAP. (2023) *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Obtenido de Anuario Estadístico de la Producción Agrícola: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. (Accesado el 15 de octubre 2023).
- Soto-Plancarte A., G. Rodríguez-Alvarado, Y. L. Fernández-Pavía, M. E. Pedraza-Santos, L. López-Pérez, M. Díaz-Celaya, y S. P. Fernández-Pavía. 2017. Protocolos de aislamiento y diagnóstico de *Phytophthora* spp. enfoque aplicado a la investigación. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8: 1867-1880.

- Sy, O., Steiner R., y Bosland, P.W. 2008. Recombinant inbred line differential identifies race-specific resistance to *Phytophthora* root rot in *Capsicum annuum*. *Phytopathology* 98-867-870.
- Vegetables-Bayer. 2024. Productos chile pimiento. <https://www.vegetables.bayer.com/mx/es-mx/productos/chile-pimiento.html> (accesada el 18 de octubre de 2024).
- Velásquez, V. R., Medina, A. M., & Luna, R. J. (2001). Sintomatología y géneros de patógenos asociados con las pudriciones de la raíz del Chile (*Capsicum annuum* L.) en el Norte-Centro de México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 19(2), 175-181.
- Villar-Luna, H., Corona-Torres, T., Castillo-González, F., Gómez-Rodríguez, O., Segura-León, O., y Aguilar-Rincón, Víctor H.. (2022). Genética de la resistencia a *Phytophthora capsici* de la línea de chile 41-1 (*Capsicum annuum*). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 45(2), 211-217. Epub 12 de diciembre de 2023. <https://doi.org/10.35196/rfm.2022.2.211>
- Votava, E. J., y Bosland, P. W. (2002). A cultivar by any other name: genetic variability in heirloom bell pepper 'California Wonder'. *HortScience*, Vol. 37, No. 7, 1100-1102 ref. 20

14. ANEXOS

Se escribió el artículo de divulgación que lleva por título “Las enfermedades en las plantas, un dolor de cabeza para los agricultores”, el cual fue enviado a la Revista Digital Universitaria de la Universidad Autónoma de México y se encuentra en proceso de aceptación para su posterior publicación.

Se participó en los siguientes congresos y seminario de los cuales se obtuvo constancias de participación:

XXVI Congreso Internacional, LI Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Fitopatología A.C. y 1er Encuentro Nacional de Estudiantes de Posgrado en Salud de Plantas.



XXX Congreso Internacional y L Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Fitopatología.



Segundo simposio del proyecto “Alternativas agroecológicas para minimizar el uso de plaguicidas en sistemas de hortalizas”



XVIII Coloquio Internacional Multidisciplinario de Divulgación Científica 2023.



XIII Seminario del Programa de Maestría en Producción Agropecuaria.



XII Seminario del Programa de Maestría en Producción Agropecuaria.



Idalia Itzel Ferreyra López

Evaluación de la respuesta de chile pasilla a diferentes fenotipos de virulencia de *Phytophthora* cap

 Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::3117:431453143

Fecha de entrega

18 feb 2025, 12:40 p.m. GMT-6

Fecha de descarga

18 feb 2025, 12:44 p.m. GMT-6

Nombre de archivo

Evaluación de la respuesta de chile pasilla a diferentes fenotipos de virulencia de *Phytophthora*....docx

Tamaño de archivo

8.7 MB

63 Páginas

13,067 Palabras

70,466 Caracteres

27% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Fuentes principales

- 27%  Fuentes de Internet
- 17%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



A quien corresponda,

Por este medio, quien abajo firma, bajo protesta de decir verdad, declara lo siguiente:

- Que presenta para revisión de originalidad el manuscrito cuyos detalles se especifican abajo.
- Que todas las fuentes consultadas para la elaboración del manuscrito están debidamente identificadas dentro del cuerpo del texto, e incluidas en la lista de referencias.
- Que, en caso de haber usado un sistema de inteligencia artificial, en cualquier etapa del desarrollo de su trabajo, lo ha especificado en la tabla que se encuentra en este documento.
- Que conoce la normativa de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en particular los Incisos IX y XII del artículo 85, y los artículos 88 y 101 del Estatuto Universitario de la UMSNH, además del transitorio tercero del Reglamento General para los Estudios de Posgrado de la UMSNH.

Datos del manuscrito que se presenta a revisión		
Programa educativo	Programa de maestría en producción agropecuaria	
Título del trabajo	Evaluación de la respuesta de chile pasilla a diferentes fenotipos de virulencia de <i>Phytophthora capsici</i>	
	Nombre	Correo electrónico
Autor/es	Idalia Hazel Terreyra López	zzz4558k@umich.mx
Director	Sylvia Patricia Fernández Pavia	patricia.pavia@umich.mx
Codirector	Alfredo Reyes Tena	alfredo.reyes@umich.mx
Coordinador del programa	Luis López Pérez	luis.lopez.perez@umich.mx

Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Asistencia en la redacción	NO	

Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Traducción al español	NO	
Traducción a otra lengua	Si	Uso de IA conversacional implementada por Google translate
Revisión y corrección de estilo	NO	
Análisis de datos	NO	
Búsqueda y organización de información	NO	
Formateo de las referencias bibliográficas	NO	
Generación de contenido multimedia	NO	
Otro	NO	

Datos del solicitante	
Nombre y firma	
Lugar y fecha	Copándaro de Galeana, Mich. a 17 de febrero del 2025