

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
SUBDIRECCION DE POSGRADO



EFFECTOS GENÉTICOS DE POBLACIONES CRIOLLAS DE CHILE DE AGUA  
(*Capsicum annuum* L.) EN RENDIMIENTO, FENOLOGÍA Y REACCIÓN A LA  
INOCULACIÓN DE *Phytophthora capsici*.

Tesis

Que presenta LUCIA PÉREZ VÁSQUEZ  
como requisito parcial para obtener el grado de  
MAESTRO EN CIENCIAS EN FITOMEJORAMIENTO

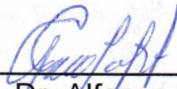
Saltillo, Coahuila

Octubre de 2025

EFFECTOS GENÉTICOS DE POBLACIONES CRIOLLAS DE CHILE DE AGUA  
(*Capsicum annuum* L.) EN RENDIMIENTO, FENOLOGÍA Y REACCIÓN A LA  
INOCULACIÓN DE *Phytophthora capsici*.

Tesis

Elaborada por LUCIA PÉREZ VÁSQUEZ como requisito parcial para obtener el  
grado de Maestro en Ciencias en Fitomejoramiento con la supervisión y  
aprobación del Comité de Asesoría



---

Dr. Alfonso López Benítez  
Director de tesis



---

Dr. Fernando Borrego Escalante  
Asesor



---

Dra. Leila Minea Vásquez Siller  
Asesor



---

M.C. Moisés Ramírez Meraz  
Asesor



---

Dr. Antonio Flores Naveda  
Subdirector de Postgrado UAAAN

## AGRADECIMIENTOS

A mi **Alma Terra Mater**, por ser mi segundo hogar, al permitirme estudiar una Maestría en esta valiosa institución, por los servicios brindados durante mi estancia. Y al **Departamento de Fitomejoramiento** por brindarme las herramientas necesarias para poder prepararme para el ámbito laboral.

A la ahora llamada Secretaria de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (**SECIHTI**), por el apoyo de beca.

Al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (**CIAD**), por el apoyo brindado durante mi estancia académica.

Al Dr. **Alfonso López Benítez**, por brindarme el apoyo durante todo el desarrollo de la investigación, escritura del artículo científico y la redacción de tesis. Y también por dejar a un lado su papel de profesor y brindarme amistad, demostrando empatía ante situaciones difíciles que se me presentaron a lo largo de mi estancia como estudiante.

Al Dr. **Fernando Borrego Escalante**, por su apoyo y comprensión en distintos escenarios que se me presentaron en el camino y tener disposición para escuchar y ayudarme en algunas situaciones.

Al M.C. **Moisés Ramírez Meraz**, por brindarme el apoyo en el establecimiento del proyecto en campo, y además tener paciencia y compartir su conocimiento para que las cosas salieran de la mejor manera.

A la Dra. **Leila Minea Vásquez Siller**, por sus aportaciones valiosas a mi proyecto de investigación.

A la Ing. **Lulú Hernández**, por ser una gran amiga y sacarme una sonrisa en momentos difíciles.

A mis amigas que hice en esta etapa; **Natali, Tere, Berta y Anahí**, gracias por todos los buenos momentos que pasamos, las quiero.

A mi amiga **Valeria** que, aunque se encuentre lejos, siempre me apoya a pesar de la distancia, me sabe escuchar, gracias por estar en momentos difíciles y momentos de felicidad.

## DEDICATORIA

A **Dios** por brindarme salud para cumplir mis metas, y poder cumplir lo que alguna vez con tanto entusiasmo anhele.

A mi querida hermana **Yayita** que me acompaño al inicio de este camino, aunque hoy no pueda estar físicamente para ver este logro, pero sé que desde donde sea que este espero se sienta orgullosa de su hermana pequeña, te amo y extraño todos los días, gracias por ser mi mejor amiga, por apoyarme siempre y darme ánimos para seguir adelante, los años que Dios me permitió compartir contigo.

A mi amada **madre**, cuquita que la quiero con todo mi corazón, gracias por nunca dejarme sola, y apoyarme de manera incondicional cuando más lo he necesitado.

A mi querido **padre**, Tolentino por ser una gran inspiración para mí a lo largo de todos estos años, y apoyarme en las decisiones que me han llevado hasta donde estoy.

A mis hermanos: **Raquel**, **Román** por siempre estar pendiente de mí a pesar de la distancia, brindarme todo su apoyo y quererme de manera incondicional, los amo.

A mis sobrinos: **Romina** por ser como un amor apache para mí y sacarme unas cuantas carcajadas a veces, a **Rubén** por ser tan lindo conmigo y enojón al mismo tiempo, a mi niña **Emma** que la quiero tanto, a los tres los amo demasiado.

A mis **abuelos** que, aunque ya no estén en este mundo, fueron un gran ejemplo para mí, gracias por creer en mí y darme ánimos.

A mis **familiares** y en especial a mi primo **Daniel** por ser un excelente primo y brindarme apoyo sin pensarlo.

## ÍNDICE GENERAL

Lista de cuadros.....	ix
Lista de figuras.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiv
I. INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivos.....	3
Hipótesis.....	3
I. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Importancia del género <i>Capsicum</i> .....	4
Origen del Chile de agua.....	5
Clasificación taxonómica.....	5
Descripción botánica.....	6
Importancia económica.....	7
Comercialización del Chile de Agua.....	8
Marchitez del chile ( <i>Phytophthora capsici</i> L.).....	8
Etiología.....	9
Sintomatología.....	10
Control de la enfermedad.....	10
Mejoramiento genético del género <i>Capsicum</i> .....	11
Parámetros de ACG y ACE.....	12
II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
Localización del área de estudio.....	15
Material Genético.....	15

Material fitopatógono .....	15
Metodología.....	16
Etapa I. Invernadero .....	16
Siembra del material genético de chile de agua .....	16
Programa de cruzamientos.....	16
Etapa II. Laboratorio e Invernadero.....	17
Laboratorio.....	17
Etapa III. Campo .....	20
Modelo lineal.....	20
Variables evaluadas .....	21
III.    RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
Etapa II. Laboratorio e invernadero .....	22
Etapa III. Campo .....	33
Análisis de Componentes Principales .....	39
IV.    CONCLUSIONES .....	41
V.    REFERENCIAS .....	43

## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro 2. 1.</b> Clasificación taxonómica de Chile de Agua ( <i>Capsicum annuum</i> L.). .....	<b>6</b>
<b>Cuadro 2. 2.</b> Producción de Chile de Agua en el estado de Oaxaca en el año 2023.....	<b>7</b>
<b>Cuadro 3. 1.</b> Genotipos utilizados para el cruzamiento dialélico.....	<b>15</b>
<b>Cuadro 3. 2.</b> Esquema del cruzamiento dialélico de siete genotipos de chile de agua ( <i>Capsicum annuum</i> L.).....	<b>16</b>
<b>Cuadro 3. 3.</b> Escala para la severidad. ....	<b>19</b>
<b>Cuadro 4. 1.</b> Cuadrados medios del análisis de varianza para la reacción de los genotipos progenitores y F1 a la inoculación con <i>Phytophthora capsici</i> . ...	<b>23</b>
<b>Cuadro 4. 2.</b> Cuadrados medios del análisis de varianza para la reacción de los genotipos progenitores a la inoculación con <i>P. capsici</i> .....	<b>24</b>
<b>Cuadro 4. 3.</b> Prueba de medias por el método de Tukey, así como el avance de la enfermedad (%) en los progenitores a través de todo el periodo de 27 días de evaluación cada tercer día. ....	<b>24</b>
<b>Cuadro 4. 4.</b> Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad (ABCPE) de progenitores.....	<b>25</b>
<b>Cuadro 4. 5.</b> Cuadrados medios del análisis de varianza para la reacción de los genotipos F1 a la inoculación con <i>P. capsici</i> .....	<b>27</b>
<b>Cuadro 4. 6.</b> Prueba de medias por el método de Tukey, así como el avance de la enfermedad (%) en las cruzas F1 a través de todo el periodo de 27 días de evaluación cada tercer día. ....	<b>28</b>
<b>Cuadro 4. 7.</b> Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad (ABCPE) de cruzas F1.....	<b>29</b>

<b>Cuadro 4. 8.</b> Cuadrados medios de progenitores y cruzas F1 de chile de agua, para la reacción a la inoculación con <i>P. capsici</i> , analizados bajo el método 2 de Griffing (1956).....	<b>32</b>
<b>Cuadro 4. 9.</b> Efectos de ACG y ACE de 21 cruzas simples de Chile de Agua, para la variable de Índice de la Enfermedad y la media genotípica del Índice de la Enfermedad. ....	<b>33</b>
<b>Cuadro 4. 10.</b> Cuadrados medios de cruzas de chile, para las variables fenológicas y de rendimiento, analizados bajo el método 2 de Griffing (1956). ....	<b>34</b>
<b>Cuadro 4. 11.</b> Efectos ACG y ACE de siete genotipos y 21 cruzas F1 evaluados en Tamaulipas para variables fenológicas y de rendimiento, bajo el método 2 de Griffing (1956).....	<b>36</b>
<b>Cuadro 4. 12.</b> Efectos de ACG y ACE de 21 cruzas simples de Chile de Agua evaluadas en Tamaulipas, para la variable rendimiento y la media genotípica de rendimiento.....	<b>38</b>
<b>Cuadro 4. 13.</b> Análisis de componentes principales en chile de agua y contribución de las variables.....	<b>39</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 4. 1.</b> Mapa de calor del progreso de la enfermedad en progenitores ....	<b>27</b>
<b>Figura 4. 2.</b> Mapa de calor del progreso de la enfermedad en cruzas F1.....	<b>30</b>
<b>Figura 4. 3.</b> Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad de los progenitores y sus cruzas F1.....	<b>31</b>
<b>Figura 4. 4.</b> Distribución de genotipos y variables en el plano de Análisis de Componentes Principales (ACP).....	<b>41</b>

## RESUMEN

EFFECTOS GENÉTICOS DE POBLACIONES CRIOLLAS DE CHILE DE AGUA  
(*Capsicum annuum* L.) EN RENDIMIENTO, FENOLOGÍA Y REACCIÓN A LA  
INOCULACIÓN DE *Phytophthora capsici*.

Por

LUCIA PÉREZ VÁSQUEZ  
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN FITOMEJORAMIENTO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DR. ALFONSO LÓPEZ BENÍTEZ – ASESOR-

Saltillo, Coahuila

Octubre 2025

El chile de agua (*Capsicum annuum* L.), originario de los Valles Centrales de Oaxaca, presenta rendimientos variables y alta incidencia de marchitez por *Phytophthora capsici*. El objetivo fue incrementar la productividad y reducir pérdidas por enfermedad. Se evaluaron siete progenitores y 21 cruzas F1 en invernadero (inoculación y evaluación de IE y cálculo del ABCPE). En campo (Bloques Completos al Azar), se registraron las variables fenológicas DAF, DAC y las variables de rendimiento, LF, DF, PPF FTO/PTA y RTO. El análisis dialélico (Método II de Griffing) estimó aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE). Se observaron efectos significativos de fechas y cruzas sobre IE ( $p \leq 0.01$ ). En sanidad, San Andrés x Santa Cruz, La Raya x Ocotlán y Ocotlán x Zimatlán, mostraron los IE más bajos (5.31, 7.96 y 9.58%, respectivamente), mientras que San Andrés x San Pablo, Zimatlán x Vigallo y San Andrés x Vigallo fueron más susceptibles; en ABCPE, San Andrés x Santa Cruz y La Raya x Ocotlán, presentaron los valores mínimos (116.25). En fenología (precocidad), predominaron efectos aditivos: los progenitores Ocotlán y Santa Cruz mostraron las ACG negativas más altas para DAF/DAC (reducción del ciclo), y las cruzas La Raya x Zimatlán y San Pablo x Zimatlán concentraron ACE negativas. En rendimiento y componentes, el progenitor San Pablo destacó con ACG positiva para RTO (+0.60), y cruzas Santa Cruz x Vigallo, San Andrés x Zimatlán y San Pablo x La Raya presentaron ACE altas (heterosis útil). Además, el progenitor San Pablo mostró efectos favorables en diámetro (+0.21 cm) y peso promedio de fruto (PPF +3.44), con San Andrés x Zimatlán y San Pablo x La Raya sobresaliendo en PPF. Los resultados apoyan combinar padres con ACG favorable y cruzas con ACE negativa/alta según el rasgo para generar materiales más precoces, con mayor rendimiento y resistencia a *P. capsici*.

Los resultados respaldan combinar padres con ACG favorable y cruzas con ACE negativa para generar híbridos o líneas más resistentes, sin detrimento de caracteres agronómicos, orientando un programa de mejoramiento adaptado a los Valles Centrales de Oaxaca.

## ABSTRACT

GENETIC EFFECTS OF CREOLE POPULATIONS OF CHILE DE AGUA  
(*Capsicum annuum* L.) ON YIELD, PHENOLOGY AND REACTION TO  
INOCULATION OF *Phytophthora capsici*.

By

LUCIA PÉREZ VÁSQUEZ  
MASTER OF SCIENCE IN PLANT BREEDING

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DR. ALFONSO LÓPEZ BENÍTEZ – ADVISER -

Saltillo, Coahuila

Octubre 2025

The chile of agua (*Capsicum annuum* L.), native to the Valles Centrales of Oaxaca, has variable yields and a high incidence of wilting caused by *Phytophthora capsici*. The objective was to increase productivity and reduce losses due to disease. Seven parents and 21 F1 crosses were evaluated in a greenhouse (inoculation and evaluation of IE and calculation of ABCPE). In the field (randomized complete blocks), the phenological variables DAF, DAC, and the yield variables LF, DF, PPF FTO/PTA, and RTO were recorded. Diallelic analysis (Griffing's Method II) estimated general combinatorial ability (GCA) and specific combinatorial ability (SCA). Significant effects of dates and crosses on IE were observed ( $p \leq 0.01$ ). In terms of health, San Andrés x Santa Cruz, La Raya x Ocotlán, and Ocotlán x Zimatlán showed the lowest IE (5.31, 7.96, and 9.58%, respectively), while San Andrés x San Pablo, Zimatlán x Vigallo, and San Andrés x Vigallo were more susceptible; in ABCPE, San Andrés x Santa Cruz and La Raya x Ocotlán had the lowest values (116.25). In phenology (precocity), additive effects predominated: the Ocotlán and Santa Cruz parents showed the highest negative ACGs for DAF/DAC (cycle reduction), and the La Raya x Zimatlán and San Pablo x Zimatlán crosses concentrated negative ACEs. In terms of yield and components, the San Pablo progenitor stood out with positive GCA for RTO (+0.60), and the Santa Cruz x Vigallo, San Andrés x Zimatlán, and San Pablo x La Raya crosses showed high SCA (useful heterosis). In addition, the San Pablo progenitor showed favorable effects on diameter (+0.21 cm) and average fruit weight (AFW +3.44), with San Andrés x Zimatlán and San Pablo x La Raya excelling in AFW. The results support combining parents with favorable GCA and crosses with negative/high SCA according to the trait to generate earlier maturing materials with higher yield and resistance to *P. capsici*.

The results support combining parents with favorable GCA and crosses with negative SCA to generate more resistant hybrids or lines, without detriment to agronomic traits, guiding a breeding program adapted to the Central Valleys of Oaxaca.

## INTRODUCCIÓN

El cultivo de chile (*Capsicum annuum* L.), de la familia de las solanáceas, es una de las más importantes en México por su valor nutricional, así como por su importancia cultural y gastronómica. Ocupa el segundo lugar en importancia después del tomate y es una fuente importante de vitaminas A, B1, B2 y C. También ampliamente utilizado en alimentos procesados como salsas, polvos y encurtidos, su consumo es particularmente en su forma fresca (Bravo et al., 2006).

Entre las variedades cultivadas en el estado de Oaxaca, el chile de agua (*Capsicum annuum* L.), como se le conoce comúnmente, es una especie con alto valor comercial en los Valles Centrales. Este chile, con un ciclo vegetativo de aproximadamente cuatro meses, es altamente apreciado por su sabor característico y nivel de pungencia, cualidades que lo hacen indispensable en la elaboración de diversos platillos típicos de la región. No obstante, su producción y calidad aún se ven limitadas debido a la escasa incorporación de tecnologías adecuadas, como el uso de variedades mejoradas y prácticas de manejo tecnificado. El mejoramiento genético de esta variedad ha sido principalmente empírico, basado en la selección masal realizada por los propios productores. Como resultado, los materiales disponibles presentan una alta variabilidad fenotípica y genética, la cual aún no ha sido completamente caracterizada. (López y Castro, 1999).

Al igual que otros cultivos, el chile es susceptible a una amplia gama de plagas y enfermedades, entre las que destaca la marchitez causada por *Phytophthora capsici*. Esta enfermedad puede afectar a la planta desde sus primeras etapas, como la fase semillero y plántula, hasta sus etapas maduras y productivas, pudiendo causar pérdidas de hasta un 80% en algunas zonas. (Chew et al., 2008).

La marchitez del chile es una enfermedad de importancia mundial, atribuida principalmente al oomiceto *Phytophthora capsici*, aunque otros patógenos como *Rhizoctonia solani*, *Fusarium oxysporum*, *Verticillium spp.* y *Ralstonia*

*solanacearum* también han sido reportados como causales. En la región de los Valles Centrales de Oaxaca, específicamente en el cultivo de chile de agua, no se había determinado con precisión la etiología de esta enfermedad hasta los estudios realizados por Vásquez et al. (2009), en el estudio realizado, se identificó a *Phytophthora capsici* y *Rhizoctonia solani* como los principales responsables de la marchitez y muerte del chile de agua (*Capsicum annuum* L.) en las localidades de San Jerónimo Tlacoahuaya, San Sebastián Abasolo y Cuilápam de Guerrero, en Oaxaca. Asimismo, se documentaron síntomas característicos como necrosis en la base del tallo, adelgazamiento en la zona del cuello de la raíz y daño en raíces secundarias.

Por su alta capacidad de evolución, diversidad genética, rápida dispersión y adaptabilidad a muchas condiciones ambientales del hospedante, *P. capsici* es considerado uno de los patógenos agronómicos más importantes (Kamoun et al., 2015; Lamour et al., 2011). Los estudios en México han abordado temas relacionados con su presencia, variabilidad genética, manejo biológico y el desarrollo de materiales resistentes (Castro-Rocha et al., 2012).

Durante la década de 1980, se reactivó el interés por estrategias de control genético tras el hallazgo de 19 materiales criollos resistentes a *P. capsici*, originarios del estado de Morelos. De entre estos, el material “Criollo de Morelos 334” (CM-334) destacó por presentar una resistencia consistente y eficaz frente al patógeno (Guerrero-Moreno & Laborde, 1980; Gil Ortega et al., 1991).

El mejoramiento genético es una herramienta clave para incrementar la productividad de los cultivos de forma eficiente y con bajos costos. En el caso del chile, su aplicación cobra especial relevancia frente a enfermedades como la provocada por *Phytophthora capsici*. El éxito de este proceso depende de la capacidad para identificar, dentro del germoplasma disponible, aquellos genotipos que expresen de manera óptima los caracteres de interés, como la resistencia a patógenos. Para ello, es indispensable contar con una adecuada variabilidad genética (Hallauer & Miranda, 1981).

En estudios recientes sobre *Capsicum annuum* L., se ha reafirmado que los análisis dialélicos constituyen una metodología esencial para estimar los

parámetros genéticos de progenitores y sus cruzamientos, empleando tanto la aptitud combinatoria general (ACG) como la aptitud combinatoria específica (ACE), lo que facilita la evaluación y selección de líneas superiores en generaciones tempranas y avanzadas para explotar la heterosis. Kumar et al. (2024), en una revisión sobre heterosis y aptitud combinatoria en pimiento morrón, destacan la importancia de los diseños dialélicos para desentrañar las interacciones genéticas aditivas y no aditivas, y orientan el desarrollo de híbridos de alto rendimiento.

La estimación de parámetros genéticos en colectas de chile de agua provenientes de diversas regiones de los Valles Centrales de Oaxaca podría proporcionar información valiosa para iniciar un programa de mejoramiento genético de esta variedad, con el objetivo de desarrollar cultivares adaptados a las necesidades específicas de la región.

De acuerdo con lo anterior se planteó el presente trabajo de investigación, el cual tuvo como objetivos e hipótesis lo siguiente:

### **Objetivos**

- I. Estimar la aptitud combinatoria general y específica de los componentes de rendimiento de diversos genotipos de chile de agua.
- II. Evaluar variables fenológicas de diversos genotipos de chile de agua.
- III. Determinar la respuesta de los genotipos estudiados a la inoculación con *Phytophthora capsici*.

### **Hipótesis**

Ha: Las poblaciones criollas de chile de agua presentan efectos genéticos que influyen en el rendimiento, fenología y resistencia y/o tolerancia a *Phytophthora capsici*.

Ho: Las poblaciones criollas de chile de agua no presentan efectos genéticos que influyen en el rendimiento, fenología y resistencia y/o tolerancia a *P. capsici*.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Importancia del género *Capsicum*

El cultivo de chile (*Capsicum annuum* L.) es de gran importancia en México debido al valor de su producción. Se cultiva en todos los estados de la República Mexicana, desde el nivel del mar hasta los 2500 m de altura. Además, por ser el centro de origen de la especie, se ha generado una gran diversidad de tipos, principalmente de la especie *C. annuum*, lo que lo convierte en un recurso valioso para el mejoramiento genético. Sin embargo, la falta de conocimiento sobre la diversidad genética que los productores mantienen en sus parcelas conduce a un conocimiento limitado sobre la distribución geográfica del género *Capsicum* en México y la variabilidad de las especies silvestres y cultivadas (Arroyo-Vargas et al., 2013 ).

De acuerdo con Aguirre y Muñoz (2015), el género *Capsicum* es originario del continente americano del extremo más meridional de lo que hoy se conoce como los Estados Unidos de América hasta las regiones costeras más meridionales de América del Sur. En Mesoamérica, el chile formó parte del grupo de cultivos básicos junto con el maíz, el frijol y la calabaza. Diversas fuentes señalan a México como el centro de domesticación del chile. Evidencias arqueológicas ubican su cultivo entre los años 7000 y 2555 a. C., principalmente en las regiones de Tehuacán (Puebla) y Ocampo (Tamaulipas).

De acuerdo con datos del SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2023), durante ese año se sembraron en México 173,869.11 hectáreas de chile, de las cuales se cosecharon 173,134.31 hectáreas, con una producción total de 3,681,061.47 toneladas. El rendimiento nacional promedio fue de 21.26 toneladas por hectárea. Los principales estados productores fueron Chihuahua (836,620 t), Sinaloa (813,081 t), Zacatecas (497,772 t), San Luis Potosí (348,651 t) y Sonora (197,884 t), con rendimientos respectivos de 21.41, 48.14, 12.89, 13.35 y 44.05 toneladas por hectárea. A nivel internacional, México se ubicó como el segundo mayor productor de chile.

El Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos (SINAREFI) en México conserva semillas de *Capsicum* en diversos bancos regionales de germoplasma. La Red

Chile del SINAREFI reporta 2673 accesiones recolectadas en 26 estados, con mayor representación en Oaxaca, Puebla, Veracruz y Tamaulipas. Actualmente se reconocen 40 especies del género *Capsicum*, de las cuales solo cinco han sido domesticadas. La especie más común, *C. annum* representa 75 %, seguida por *C. chinense* 2 %, *C. frutescens* 1.2 %, *C. pubescens* 0.2 %, *C. baccatum* y *C. rhomboideum* (ambas con 0.1 %). Siendo *annuum* la especie más relevante, ya que concentra la mayor diversidad de chiles tanto cultivados como silvestres, la presencia de formas silvestres es mínima, destacando *C. rhomboideum* con menos del 0.1 % del total. (Luna Ruiz et al., 2018).

Estudios recientes, como el de Pérez-Martínez et al. (2022), han evidenciado que en regiones de Oaxaca existe una considerable diversidad genética y diferenciación entre poblaciones silvestres, semicultivadas y criollas de chile, lo que resalta la importancia de caracterizar y conservar estos recursos genéticos para su uso en programas de mejoramiento.

### **Origen del Chile de agua**

El chile de agua (*Capsicum annum* L.) se considera que es originario y endémico de los Valles Centrales de Oaxaca, ya que la mayoría de los productores de la región mencionan que éste tiene una antigüedad de más de 100 años en esta área y no se siembra en otras regiones (Delín, 2023).

Recibe su nombre debido a su alta demanda hídrica durante el desarrollo del cultivo. Se considera una planta endémica de los Valles Centrales de Oaxaca, ya que esta es la única región del país donde se cultiva. (Montaño-Lugo et al., 2014).

### **Clasificación taxonómica**

Según el servicio de Conservación de Recursos Naturales de Estados Unidos (NRCS-USDA, 2025) el chile de agua tiene su clasificación taxonómica de la siguiente manera:

Cuadro 2. 1. Clasificación taxonómica de Chile de Agua (*Capsicum annuum* L.).

<b>Reino</b>	<b>Plantae</b>
<b>División</b>	Magnoliophyta
<b>Clase</b>	Magnoliopsida
<b>Orden</b>	Solanales
<b>Familia</b>	Solanaceae
<b>Genero</b>	<i>Capsicum</i>
<b>Especie</b>	<i>Capsicum annuum</i>

NRCS-USDA, 2025

### Descripción botánica

El chile de agua es una planta herbácea de ciclo anual que se caracteriza por una ramificación dicotómica y una altura media de aproximadamente 60 cm. Presenta una raíz principal de tipo axial que alcanza un promedio de 27 cm, acompañada de numerosas raíces secundarias. Su tallo es erecto, mientras que las hojas son alternas, ovaladas, con ápice acuminado, base atenuada, margen liso y nervaduras pinnadas; tanto el haz como el envés son glabros. Las flores se desarrollan en las axilas de las hojas, son solitarias, completas y hermafroditas, con una por axila. Su orientación puede ser pendular, intermedia o erecta. La corola tiene forma acampanada, fusionada en la base, y consta de entre cinco y ocho pétalos blancos y caducos. El cáliz, de margen entero, contiene sépalos membranosos y resistentes. Las anteras son de color azul con filamentos blancos. Además, las flores presentan un pecíolo de unos 3 cm de largo, un cáliz gamosépalo con siete sépalos y lóbulos apicales acutados o redondeados. Los estambres, en número de seis, tienen filamentos cortos y anteras que se abren longitudinalmente desde la base. El gineceo es súpero con estilo corto y estigma capitado, y cuenta con placentación axilar. El fruto es una baya alargada de forma cónica, con un tamaño promedio de 14 cm de largo y 6 cm de diámetro en su base. Durante su maduración, puede presentar una coloración que va del verde amarillo y verde oscuro al rojo intenso o brillante. El pericarpio tiene un grosor de entre 1 y 3 mm. El pedúnculo es robusto, mide entre 4 y 10 mm de grosor y

alrededor de 3 cm de largo, y carece de vellosidad. Las semillas son reniformes, lisas y sin brillo; en estado fresco son blancas y, al secarse, adquieren un tono amarillento. Miden en promedio 4 mm de diámetro, y un gramo contiene entre 160 y 170 semillas. Su viabilidad germinativa se mantiene hasta por diez meses, reduciéndose posteriormente. (Valeriano *et al.*, 2014; López, 1999; Llescas, 2001; Castro, 2007).

### Importancia económica

El chile de agua es una hortaliza de gran importancia económica y social en la región de los Valles Centrales de Oaxaca. Según datos del SIAP (2023), fueron 38 los municipios productores (Cuadro 2.2), el cultivo abarcó una superficie sembrada de 272.18 hectáreas, con un rendimiento de 7.85 toneladas por hectárea, con una producción de 2,137.14 toneladas y un valor en la producción total de poco más de 41.8 millones de pesos.

Cuadro 2. 2.Producción de Chile de Agua en el estado de Oaxaca en el año 2023.

Municipio	Superficie (Ha)	Municipio	Superficie (Ha)	Municipio	Superficie (Ha)	Municipio	Superficie (Ha)
Ayoquezco de Aldama	3.00	San Bernardo Mixtepec	23.50	San Sebastián Teitipac	1.50	Santo Domingo Teojomulco	1.00
Cuicilápam de Guerrero	6.00	San Francisco Lachigoló	7.50	Santa Cruz Papalutla	6.00	Santo Tomás Jalieza	0.75
Ejutla de Crespo	26.30	San Jacinto Tlacotepec	2.50	Santa Cruz Xoxocotlán	1.75	Taniche	3.70
Miahuatlán de Porfirio Díaz	4.73	San Jerónimo Tlacoahuaya	22.50	Santa Cruz Zenzontepec	8.25	Trinidad Zaachila	5.50
Monjas	5.60	San Mateo Yucutindoo	2.00	Santa María Atzompa	1.50	Villa Sola de Vega	5.50
Ocotlán de Morelos	4.25	San Miguel Ejutla	6.55	Santa María Guelacé	1.50	Yaxe	2.00

Rojas de Cuauhtémoc	5.00	San Pablo Huitzo	4.50	Santa María Sola	3.20	Zimatlán de Álvarez	19.00
San Andrés Ixtlahuaca	3.75	San Pablo Huixtepec	23.70	Santa María Zoquitlán	1.00	Animas Trujano	0.75
San Antonino Castillo Velasco	10.50	San Pedro Ixtlahuaca	0.30	Santa María del Tule	1.10		
San Baltazar Chichicapan	2.00	San Sebastián Abasolo	39.00	Santiago Suchilquitongo	5.00		

SIAP, 2023.

### Comercialización del Chile de Agua

Los productores de chile de agua suelen vender su cosecha al mayoreo utilizando una unidad de medida local conocida como “carga”, que equivale a dos canastos. La cantidad de frutos por canasto varía según la calidad: unos 400 chiles de primera, entre 450 y 500 de segunda, y de 550 a 600 de tercera. Los precios por carga también dependen de la calidad, con un valor aproximado de \$1,200 para la de primera, \$900 para la de segunda y \$600 para la de tercera. (Aguilar-Rincón et al., 2010).

Durante la Semana Santa, cuando se registra la mayor demanda en la región, las esposas de los productores suelen encargarse de vender el chile al menudeo. Lo ofrecen por centenas, medias centenas o en charolas con ocho piezas de calidad primera, cuyo precio oscila entre 20 y 30 pesos en los mercados locales. Aunque el mercado principal es el regional, en los últimos años ha crecido el interés por este producto entre comunidades migrantes en Estados Unidos y Europa, abriendo nuevas posibilidades comerciales para los productores (Cruz, 2019).

### Marchitez del chile (*Phytophthora capsici* L.)

*Phytophthora capsici*, es un oomiceto identificado por primera vez en *Capsicum annuum* por Leonian en 1922. Esta enfermedad fue identificada por primera vez en cultivos de chile en Nuevo México, EE.UU., por Leonian, (1922), y posteriormente en México por Galindo (1960), en plantas de la entonces Escuela Nacional de Agricultura en Chapingo. Este patógeno es capaz de inducir una

variedad de enfermedades en diferentes especies de *Capsicum*, así como en otras pertenecientes a las familias Cucurbitaceae y Solanaceae.

La enfermedad provocada puede afectar diversas partes de la planta de chile, en cualquier etapa de su desarrollo. Los síntomas más comunes es la podredumbre en la base del tallo, lo que provoca una marchitez súbita. En regiones productoras como México, se estima que aproximadamente el 40 % de las plantas infectadas mueren a causa de este patógeno. Las pérdidas provocadas por este hongo pueden oscilar entre el 10 % y el 60 %, llegando incluso al 100 % de mortalidad en casos severos (Mendoza, 1999; Pérez et al. 2003).

Tiene una amplia distribución geográfica y es una de las principales enfermedades de la mayoría de las áreas productoras de chile, especialmente en zonas de riego (Gil, 1988).

En la región de los Valles Centrales de Oaxaca, estudios realizados por Vásquez et al. (2009), en los cuales identificó a *Phytophthora capsici* y *Rhizoctonia solani* como los principales responsables de la marchitez y muerte del chile de agua (*Capsicum annuum* L.).

### **Etiología**

*Phytophthora capsici* es un oomiceto que pertenece a la clase *Oomycetes*, orden *Peronosporales* y familia *Peronosporaceae*. En condiciones de laboratorio, este fitopatógeno puede cultivarse en medios preparados con jugo V8, zanahoria, tomate o agar con agua, según lo reportado por Bowers et al. (2007) y Granke et al. (2012). A pesar de que el crecimiento de *Phytophthora capsici* puede variar entre aislamientos, sus colonias suelen ser redondeadas y blanquecinas, algunas con un patrón ligeramente estrellado (Rohmah et al., 2019). Morfológicamente, presenta hifas cenocíticas alargadas, con células multinucleadas de 3 a 8  $\mu\text{m}$  de ancho (Smith et al., 2019; Aragaki & Uchida, 2001), y oosporas que miden entre 25.6 y 52.4  $\mu\text{m}$  (Rai et al., 2020). Produce esporangios abundantes, individuales o ramificados, con formas diversas como globosas, elipsoides, ovoides, limoniformes e irregulares, cuyas dimensiones varían entre 32.1–51.3  $\mu\text{m}$  de largo y 23.3–37.1  $\mu\text{m}$  de ancho (Rohmah et al., 2019; Smith et al., 2019; Aragaki & Uchida, 2001). Los pedicelos principales pueden alcanzar hasta 84.4  $\mu\text{m}$  (Rai

et al., 2020), mientras que las zoosporas liberadas miden entre 5.84 y 11.3  $\mu\text{m}$  (Smith et al., 2019). Aunque algunas especies del género *Phytophthora* pueden formar clamidosporas como estructuras de resistencia (Aragaki & Uchida, 2001), esto no es común en *P. capsici* (Granke et al., 2012).

### **Sintomatología**

*Phytophthora capsici* puede causar varios síntomas a lo largo de distintas etapas fenológicas de la planta (Lee et al., 2008), dependiendo de la resistencia del hospedero, el tejido afectado y las condiciones climáticas (Lamour et al., 2011). En plantas susceptibles, los síntomas iniciales aparecen entre cuatro y siete días después de la inoculación (DDI), y la planta puede morir a los 10 DDI (Reifschneider et al., 1986; Babadoost et al., 2015). En plantas resistentes, se observan lesiones leves tras los 10 DDI debido a la capacidad de contrarrestar la colonización (Saltos et al., 2020; Dunn & Smart, 2015). El sistema radicular es el primer tejido afectado, mostrando pudrición marrón (Saltos et al., 2020), seguido de lesiones en los tejidos del cuello (Steekelenburg, 1980). También se observa enanismo y marchitez generalizada en plantas adultas (Callaghan et al., 2016; Babadoost et al., 2015). En el área foliar, el tizón comienza con lesiones pequeñas y oscuras, que se tornan necrosadas con bordes oscuros (Ristaino & Johnston, 1999; Hyder et al., 2018). Los frutos, especialmente los jóvenes, presentan pequeñas lesiones que rápidamente se transforman en pudrición total (Naegele & Hausbeck, 2014; Reis et al., 2007). Los frutos maduros tienen más resistencia a la enfermedad (Biles, 1993).

### **Control de la enfermedad**

El control de este fitopatógeno suele basarse en el uso de fungicidas sintéticos, los cuales han demostrado poca eficacia, además de representar riesgos considerables para la salud humana y el medio ambiente. Se han propuesto diversas estrategias de manejo, hasta el momento no se dispone de métodos realmente efectivos para su control. Es por ello por lo que el uso de genotipos con resistencia genética se presenta como una alternativa viable a largo plazo, con ventajas en términos de competitividad, rentabilidad y sostenibilidad

ambiental (Barchenger et al., 2018; Barchenger et al., 2019; Castro et al., 2012; Majid et al., 2016).

El proceso de desarrollo de germoplasma de *Capsicum* con resistencia a *P. capsici* representa un proceso complejo que implica el uso de múltiples estrategias de mejoramiento genético y la evaluación de materiales genéticos, entre ellos variedades criollas, como potenciales fuentes de resistencia (Barchenger et al., 2018).

La resistencia genética a *Phytophthora capsici* se ha identificado principalmente en variedades nativas, mutantes, especies silvestres y parientes cercanos del Chile (Khan et al., 2020; Steuernagel et al., 2016). Se han reportado a lo largo de los años diversos estudios sobre fuentes de resistencia en el cultivo de Chile (Barksdale et al., 1984; Gómez-Rodríguez et al., 2017; Retes-Manjarrez et al., 2020; Wartono et al., 2019), mientras que algunos han mostrado efectividad limitada en condiciones de campo. Entre estas, la variedad Criollo de Morelos 334 (CM334) ha sido ampliamente reconocida como la fuente de resistencia más relevante a nivel mundial (Oelke et al., 2003; Sy et al., 2008). Sin embargo, su uso en mejoramiento ha sido desafiante debido a la complejidad genética que presenta: se han propuesto desde genes recesivos (Guerrero & Laborde, 1980), genes dominantes independientes (Gil et al., 1991; Monroy-Barbosa & Bosland, 2008; Reifschneider et al., 1992), hasta un control poligénico con interacciones epistáticas (Chunthawodtiporn et al., 2019; Siddique et al., 2019). Esta variabilidad en los modelos genéticos propuestos ha dificultado su aprovechamiento en programas de mejoramiento genético.

### **Mejoramiento genético del género *Capsicum***

El mejoramiento convencional de cultivares de Chile implica la selección de los individuos más sobresalientes dentro de una población genética diversa, seguido de la hibridación entre los progenitores seleccionados. Posteriormente, se realiza la selección mediante el sistema de pedigrí o se introducen caracteres en la población a través del mejoramiento por retro cruza. Para mejorar características cuantitativas, es común realizar cruzamientos entre un grupo

selecto de progenitores, con el fin de iniciar un programa de mejoramiento general de la población (Greenleaf, 1986).

Los diseños dialélicos son herramientas clave para estudiar la variabilidad genética de características específicas deseadas, permitiendo identificar las cruzas más adecuadas para obtener segregantes de alto rendimiento. Griffing (1956) propuso cuatro métodos de diseño dialélico para estimar la aptitud combinatoria general y específica, los cuales son especialmente útiles cuando el número de progenitores es limitado. Sin embargo, a medida que este número aumenta, la complejidad del procedimiento también crece.

Método I: Incluye tanto cruzas directas como recíprocas de los padres y los progenitores.

Método II: Solo considera cruzas directas entre los progenitores y los progenitores.

Método III: Requiere tanto cruzas directas como recíprocas entre los progenitores; no incluye progenitores.

Método IV: Solo se utilizan cruzas directas entre los progenitores; no incluye progenitores.

### **Parámetros de ACG y ACE**

Los conceptos de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE), propuestos por Sprague & Tatum (1942), sirven como base para el uso actual de los diseños dialélicos. La ACG se refiere al rendimiento promedio de una línea o clon cuando se utiliza en diversas combinaciones híbridas, mientras que la ACE corresponde a las desviaciones observadas en cruzas específicas que resultan ser significativamente mejores o peores que el rendimiento esperado en función del promedio de las líneas parentales involucradas.

Según Griffing (1956), es posible estimar tanto los componentes aditivos como los no aditivos de la varianza genotípica de los progenitores mediante el análisis de la aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE). El autor sugiere dos enfoques de análisis basados en diferentes supuestos de muestreo. El primero corresponde al modelo de efectos aleatorios, en el cual se asume que las líneas

parentales o el conjunto de materiales experimentales representan una muestra aleatoria de una población mayor sobre la cual se desea hacer inferencias. El segundo es el modelo de efectos fijos, que se aplica cuando los progenitores han sido seleccionados deliberadamente y, por lo tanto, constituyen la totalidad de la población de estudio, permitiendo hacer inferencias únicamente sobre ese grupo específico.

Martínez *et al.* (2005), utilizando el método II de Griffing (1956), el cual contempla tanto a los progenitores como a todas las cruzas posibles entre ellos, identificaron efectos significativos ( $P \leq 0.05$ ) en la aptitud combinatoria general (ACG) de los padres para las variables rendimiento y tasa de pérdida de peso. Asimismo, encontraron efectos significativos en la aptitud combinatoria específica (ACE) de las cruzas para el rendimiento. En consecuencia, se sugiere que características como la vida de anaquel y el peso del fruto pueden mejorarse mediante el aprovechamiento de los efectos de dominancia en programas de obtención de híbridos, mientras que la reducción de la pérdida de peso podría lograrse mediante métodos tradicionales de endogamia y selección.

Pech May *et al.* (2010), utilizando el Método II, Modelo I de Griffing, reportaron que los efectos aditivos calculados a través de la Aptitud Combinatoria General (ACG) fueron superiores a los efectos de dominancia estimados por la Aptitud Combinatoria Específica (ACE), y que ambos tipos de efectos fueron modulados por el ambiente de evaluación. En ese estudio, tres progenitores (P2, P3 y P4) presentaron los valores más altos y positivos de ACG en cuanto al rendimiento de fruto. Además, dos de estos progenitores produjeron híbridos con elevados valores de ACE y heterosis. A partir de los valores de ACG de los parentales y la heterosis observada en las progenies, se dedujo que la hibridación constituye el método de mejoramiento genético más apropiado para aumentar el rendimiento de fruto y el número de frutos por planta. Por otro lado, para mejorar características como la altura de planta, el peso individual del fruto, los días a inicio de cosecha, y las dimensiones del fruto (longitud y diámetro), se sugiere emplear un enfoque de mejoramiento por endogamia y selección como estrategia más adecuada para el desarrollo de nuevas variedades.

Hernández-Mendoza et al. (2021) realizaron un estudio para analizar los componentes genéticos relacionados con el rendimiento en el chile guajillo (*Capsicum annuum*), utilizando el Método II de Griffing. En su investigación, emplearon un diseño dialélico parcial que incluyó 36 cruces entre diferentes genotipos. Se evaluó el número de frutos por planta y el rendimiento tanto de frutos frescos como cosidos. Los resultados mostraron efectos altamente significativos tanto en ACG como en ACE, lo que sugiere que tanto los efectos aditivos como los no aditivos son importantes en el control genético de estas características. Además, los cruces P1xP9 y P2xP6 mostraron una heterosis positiva, lo que indica el potencial de obtener híbridos con mayores rendimientos de frutos secos. Este estudio aporta información valiosa para el mejoramiento genético del chile Guajillo, identificando los genotipos más promisorios para mejorar la calidad y rendimiento del fruto.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización del área de estudio

El trabajo de investigación se realizó en tres etapas, la primera fue en el invernadero número siete de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) en Saltillo, Coahuila, y la segunda etapa en laboratorio de INIFAP-Saltillo e invernadero número siete de la UAAAN, la tercera etapa se realizó en el Campo Experimental “Las Huastecas” del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en estación Cuauhtémoc, Tamaulipas.

### Material Genético

Los materiales genéticos fueron siete genotipos diferentes de Chile de Agua proveniente de los Valles Centrales del Estado de Oaxaca.

Cuadro 3. 1. Genotipos utilizados para el cruzamiento dialélico.

	<i>Genotipo</i>	<i>Tipo</i>
1	San Andrés	Chile de agua
3	San Pablo	Chile de agua
4	La Raya	Chile de agua
5	Santa Cruz	Chile de agua
6	Ocotlán	Chile de agua
7	Zimatlán	Chile de agua
8	Vigallo	Chile de agua

### Material fitopatógeno

La cepa del hongo *Phytophthora capsici* fue proporcionada por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) ubicado en la ciudad de Culiacán, Sinaloa, por el Dr. Raymundo Saul García Estrada y su equipo de trabajo.



La semilla de los Progenitores y F1 obtenida fue evaluada en invernadero para determinar su reacción al oomiceto *Phytophthora capsici* y en campo para analizar su rendimiento y fenología, con el fin de evaluar sus efectos genéticos.

## **Etapa II. Laboratorio e Invernadero**

### **Laboratorio**

#### **Medio de cultivo**

Se utilizó medio de cultivo agar-V8, para una preparación de 500 ml, se colocaron 100 ml de jugo V8 en probeta para su filtración, posteriormente se colocó el líquido filtrado en un matraz de Erlenmeyer de 1000 ml de capacidad, se agregaron 400 ml de agua destilada, 10 gr de agar bacteriológico y 1.5 gr de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>), en un matraz , posteriormente se colocó en un agitador para disolver la mezcla. El medio se esterilizó en autoclave a 15 lb/pulg<sup>2</sup>, durante 15 a 20 minutos, se enfrió y se vació a cajas de petri en condiciones de esterilidad.

#### **Preparación del inóculo**

Se reactivó la cepa 20 de *Phytophthora capsici*, de los medios en los cuales fue conservada para su uso, se sembraron colocando una pequeña parte en el centro de la caja, para después incubarse a una temperatura de 27°C durante ocho días. Para el inóculo, se siguió la metodología propuesta por Fernández Pavía et al. (2004), con algunas modificaciones: tras el periodo de incubación, se verificó que las cajas petri estuvieran libres de contaminación y de cualquier otro patógeno u organismo, y cada caja petri se agregó 20 ml de agua destilada estéril. Posteriormente las cajas se sellaron y se sometieron a incubación adicional por 72 h para promover la formación de esporangios. Para promover la liberación de zoosporas en el medio acuoso, las cajas con esporangios fueron expuestas a un choque térmico de 4 y 27°C por 30 min en cada condición de temperatura. El líquido de cada caja fue depositado en un matraz esterilizado para después cuantificar el número de zoosporas por ml utilizando una cámara de Neubauer (Marca Neubauer-imp®, Marienfeld, Alemania). La suspensión fue ajustada a 10<sup>5</sup> zoosporas ml<sup>-1</sup>.

### Invernadero

El experimento se estableció en un Diseño de Bloques Completos al Azar en arreglo de parcelas divididas

Modelo lineal

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_i + A_j + \beta A_{ij} + G_k + GA_{JK} + \varepsilon_{ijk}$$

$Y_{ijk}$  = Índice de enfermedad en la i-ésima repetición, j-ésimo tratamiento y k-ésimo genotipo.

$\mu$  = Media general de todas las observaciones

$\beta_i$  = Efecto del i-esima repetición

$A_j$  = Efecto de la j-esimo tratamiento

$\beta A_{ij}$  = error A

$G_k$  = Efecto del k-esimo genotipo

$GA_{JK}$  = Interacción entre tratamiento y genotipo

$\varepsilon_{ijk}$  = Error B

Se realizaron dos fechas de siembra con una diferencia de una semana entre ellas, con la finalidad de asegurar el mayor número de plantas posible para realizar la inoculación, se llevó a cabo de la misma forma que los progenitores iniciales, se sembraron 20 semillas de cada material genético, dando un total de ocho charolas.

Cuando las plántulas tuvieron de cuatro a cinco hojas verdaderas, después de cuatro semanas de emergidas, se trasplantaron en vasos de unicel de 12 Oz, con Peat Moss turba, para inocularlas con *Phytophthora capsici* y someter a la infección para evaluar su respuesta al oomiceto.

### Inoculación con *Phytophthora capsici*

Se trasplantaron 16 plántulas de cada genotipo, en los vasos de unicel, se colocaron en los bancos del invernadero para posteriormente ser regadas y se creó un ambiente húmedo para cada banco con suficiente agua, para la inoculación, se utilizó una jeringa de 20 ml y se aplicó 1 ml de solución a cada planta.

### Evaluación de los genotipos

La evaluación de la respuesta de los genotipos de Chile a la inoculación con *Phytophthora capsici* se inició al aparecer los primeros síntomas de la enfermedad, a los ocho días de la inoculación y se continuó cada tercer día hasta que la enfermedad causara la muerte de las plantas o bien se detuviera el progreso de la enfermedad. La evaluación se hizo con base a plantas sanas, plantas enfermas y plantas muertas, siguiendo la escala descrita por Glosier *et al.*, (2008) para severidad.

Cuadro 3. 3. Escala para la severidad.

Escala	Severidad	Porcentaje de severidad
0	Planta sana sin síntoma de la enfermedad	0
1	Amarillamiento en las hojas sin necrosis de tallo	0-30
2	Ligera necrosis del tallo	>30-50
3	Moderada necrosis del tallo y ligero marchitamiento	>50-70
4	Severa necrosis del tallo y severo marchitamiento	>70-90
5	Plantas muertas. Marchitez	>90-100

Fuente: Glosier *et al.*, 2008.

Con los datos obtenidos de la escala de la severidad, se elaboró un índice de la enfermedad de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$IE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n \frac{X_i}{n}}{n} \right] (100)$$

Donde:

$X_i$  = Severidad de la enfermedad en la i-ésima plántula

n = Número de plantas evaluadas

Los índices de enfermedad obtenidos en los diferentes genotipos se utilizaron para calcular el Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad (ABCPE) de acuerdo con el modelo propuesto por Shaner y Finney (1977).

$$ABCPE = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{X_{(i+1)} + X_i}{2} \right] (T_{i+1} - T_i)$$

Donde:

$X_i$  = Proporción de enfermedad en la  $i$ -ésima observación

$T_{(i+1)} - T_i$  = Tiempo entre dos lecturas

$n$  = Número de evaluaciones

### Etapa III. Campo

La siembra se llevó a cabo de la misma forma que en las etapas anteriores, el trasplante en campo se estableció en surcos de 1.5 m de longitud con una separación entre surcos de 1 m, teniendo una superficie de 1.5 m<sup>2</sup>. El número de plantas por surco fue de cinco con una distancia entre plantas de 30 cm, teniendo una densidad de 33, 333 plantas por hectárea.

Se utilizó un Diseño de Bloques Completos al Azar, con tres repeticiones.

### Modelo lineal

$$Y_{ij} = \mu + V_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Respuesta observada con el tratamiento  $i$  en el bloque  $j$

$\mu$  = Efecto de la media general

$V_i$  = Efecto del  $i$ -ésimo genotipo,  $i = 1, 2, \dots, V$

$\beta_j$  = Efecto de la  $j$ -ésima repetición,  $j = 1, 2, 3$

$\varepsilon_{ij}$  = Efecto del error correspondiente al  $j$ -ésimo genotipo en la  $j$  ésima repetición

### Análisis dialélico

Se realizó un análisis de aptitud combinatoria general y específica, con base en el método II propuesto por Griffing (1956), el cual incluye Progenitores y F1.

Modelo lineal aditivo:

$$Y_{ijk} = \mu + g_i + g_j + s_{ij} + y_k + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:

$Y_{ijk}$  = Valor del fenotipo observado de la cruce.

$\mu$  = Media general de todas las observaciones.

$g_i, g_j$  = Efecto de la aptitud combinatoria general de los progenitores i y j.

$s_{ij}$  = Efecto de la aptitud combinatoria específica de la cruce (i x j).

$y_k$  = Efecto de la k-ésima repetición

$\varepsilon_{ijk}$  = Efecto experimental asociado a la observación ijk

### **Variables evaluadas**

**Días a floración (DAF)**, se contaron los días a partir de la fecha de trasplante hasta que los genotipos presentaron una floración de aproximadamente el 50%.

**Días a cosecha (DAC)**, son los días que transcurrieron desde la fecha de trasplante hasta el primer corte de los frutos con madurez deseable.

**Longitud del fruto (LONG FTO)**, se midió la longitud de dos frutos representativos de cada genotipo en cada corte para obtener una longitud promedio de fruto en cm.

**Diámetro del fruto (DIAM FTO)**, se midió el diámetro promedio de fruto en cm, se midió en los mismos dos frutos utilizados para la longitud promedio.

**Número de frutos (NOFTO)**, se cosecharon todos los frutos con madurez deseada de todas las plantas por repetición y el total se dividió entre el número de repeticiones.

**Peso promedio de frutos (PPF)**, se pesaron todos los frutos y se dividieron entre el número de frutos.

**Rendimiento ( $t\ ha^{-1}$ )**, se determinó el rendimiento promedio por parcela experimental de  $1.5\ m^2$  y después se calculó el rendimiento en  $10,000m^2$ , mediante un razonamiento proporcional.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Etapa II. Laboratorio e invernadero

Para estimar la respuesta genética de estos materiales a la inoculación de *Phytophthora capsici*, durante esta fase se evaluaron siete genotipos progenitores y 21 genotipos (F1). Los resultados (Cuadro 4.1) muestran que hubo una diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.01$ ) en la reacción de los genotipos progenitores y F1 ante la inoculación a *P. capsici*. En el análisis de varianza, los cuadrados medios indican que las fechas presentan una influencia notable con un valor muy significativo de 8924, lo que provocó que la severidad cambia significativamente a lo largo del tiempo, en el caso de los genotipos presentan también un valor muy significativo de 6060, lo cual nos indica que existen diferencias promedio en la severidad entre progenitores y F1, a pesar de ser más resistentes que otros, no presentas diferencias significativas en la interacción genotipos x fechas, la cual no muestra diferencias significativas. Debido a que los genotipos se colectaron en diversas comunidades de los Valles Centrales de Oaxaca, cada colecta difirió de las demás, esto permitió que cada una reaccione de forma distinta ante la inoculación de *P. capsici*, lo cual pudo haber contribuido a variaciones en la agresividad del patógeno durante la evolución de la enfermedad.

También puede indicar que existen genes mayores en los genotipos de progenitores y F1 lo cual les permite tener mayor tolerancia al hongo, ya que la aparición de síntomas se presentó después de seis días, y teniendo un progreso más lento de la enfermedad en algunos genotipos a lo largo de los 27 días de evaluación. Es relevante destacar que los altos valores de cuadrados medios en el análisis de varianza reflejan una fuerte interacción entre los factores estudiados.

En un estudio de Hernández (2009), evaluó 128 materiales de diferentes tipos de chile para la resistencia a *P.capsici* y solo una colecta llamada 118 mostro resistencia durante su periodo de evaluación que fue de diez semanas.

En un estudio similar se evaluaron 32 razas locales mexicanas de *Capsicum* inoculadas con 10,000 zoosporas de *P. capsici* en condiciones controladas. Se identificaron seis razas altamente resistentes, cuatro moderadamente resistentes y cinco con baja resistencia, destacando que las variedades altamente resistentes no mostraron alteraciones fenotípicas por la infección, a diferencia de aquellas con menor resistencia (Retes-Manjarrez et al., 2020).

Cuadro 4. 1. Cuadrados medios del análisis de varianza para la reacción de los genotipos progenitores y F1 a la inoculación con *Phytophthora capsici*.

<b>F.V.</b>	<b>GL</b>	<b>C.M.</b>
<b>Fechas de evaluación</b>	7	8924 **
<b>Rep/Fechas</b>	7	262
<b>Genotipos</b>	27	6060**
<b>Gen x Fechas</b>	189	186
<b>Error</b>	216	849
<b>Total</b>	447	
<b>C.V.</b>	82.9	

\*\*Muy significativo 0.01.

Los resultados de la inoculación a *P.capsici*, fueron concentrados en el Cuadro 4.2., donde podemos observar en las fechas diferencias muy significativas ( $P \leq 0.01$ ), resultado de las condiciones favorables para que el oomiceto se presentara, y también puede deberse a las diferencias por los cambios de temperatura y humedad, los genotipos también presentaron diferencias muy significativas ( $P \leq 0.01$ ) para la reacción a la inoculación de *P.capsici*, las diferencias pueden atribuirse a que los genotipos fueron colectados en diferentes comunidades pertenecientes a los Valles Centrales de Oaxaca, existiendo diferencias entre cada una de las colectas, lo que permite que cada una reaccione de forma distinta ante la inoculación de *P. capsici*.

Por el contrario, un estudio de Martínez (2011), donde utilizo distintas colectas de Chile mirador de diferentes regiones del estado de Veracruz usando como inóculo *P. capsici*, no obtuvo diferencias significativas entre las colectas de Chile, pero en su caso los síntomas aparecieron de forma más rápida y causando mayor severidad de la enfermedad.

Cuadro 4. 2. Cuadrados medios del análisis de varianza para la reacción de los genotipos progenitores a la inoculación con *P. capsici*.

F.V.	GL	C.M.
Fechas de evaluación	7	3266**
Rep/Fechas	7	34
Genotipos	6	8558**
Gen x Fechas	42	157
Error	48	1099
Total	111	
C.V.	94.32	

\*\*Muy significativo 0.001.

En la prueba de medias por el método de Tukey (Cuadro 4.3), se puede observar tres grupos de los cuales los genotipos uno, cinco, ocho y tres (San Andrés, Santa Cruz, Vigallo y San Pablo, respectivamente), presentaron menor incidencia a la enfermedad situados en el último grupo b, teniendo al progenitor tres (San Pablo) con menor incidencia a la enfermedad en comparación con todos los progenitores evaluados, los progenitores que mostraron menor tolerancia a la enfermedad fueron el siete y cuatro (Zimatlán y La Raya) ubicándose en el grupo a. A partir de la cuarta evaluación la mayoría de los progenitores se mantuvo constante hasta finalizar las evaluaciones. De acuerdo con lo anterior, los progenitores que se podrían usar para un programa de mejoramiento genético para la resistencia y/o tolerancia a *P. capsici* son los progenitores del grupo b, ya que pueden tener genes poligénicos los cuales permiten la reducción de la tasa de infección y la severidad de la enfermedad.

Cuadro 4. 3. Prueba de medias por el método de Tukey, así como el avance de la enfermedad (%) en los progenitores a través de todo el periodo de 27 días de evaluación cada tercer día.

Genotipo	Media	Grupo	I.E. / Días después de la inoculación							
			6 días	9 días	12 días	15 días	18 días	21 días	24 días	27 días
7	78.13	a	22.5	43.75	70	88.75	100	100	100	100
4	76.56	a	45	62.5	77.5	85	85	85	85	87.5
6	49.38	ab	18.75	31.25	47.5	57.5	60	60	60	60
1	41.41	b	18.75	23.75	31.25	42.5	43.75	53.75	58.75	58.75
5	30.94	b	6.25	7.5	17.5	27.5	40	43.75	50	55

<b>8</b>	29.38	b	11.25	22.5	32.5	33.75	33.75	33.75	33.75	33.75
<b>3</b>	19.38	b	10	11.25	16.25	21.25	22.5	23.75	23.75	26.25

Un parámetro epidemiológico muy utilizado en el estudio de la resistencia cuantitativa de las plantas a las enfermedades es el Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad (ABCPE), conocido en inglés como Area Under the Disease-Progress Curve (AUDPC), es un índice epidemiológico que resume en un único valor la dinámica temporal de la enfermedad. (Shaner & Finney, 1977). Con los datos obtenidos como respuesta a la inoculación de *P. capsici* de los siete progenitores, transformados a índice de enfermedad (IE) de cálculo el ABCPE (Cuadro 4.4) para establecer diferencias en el nivel de resistencia o susceptibilidad.

En el Cuadro 4.3., el avance de la enfermedad fue más lento en los progenitores tres, ocho, cinco y uno (San Pablo, Ocotlán, Santa Cruz y San Andrés), mostraron una susceptibilidad menor a la enfermedad, de acuerdo con Van Der Plank (1984) indica un tipo de resistencia poligénica que no bloquea por completo el desarrollo de la enfermedad, sino que permite cierto desarrollo del patógeno.

El progreso de la enfermedad mostro, un incremento constante desde la primera a la última fecha de evaluación, el incremento fue menor y más lento en los progenitores tres, ocho, cinco y uno que los progenitores cuatro y siete. Estas diferencias observadas en el avance de la enfermedad, a través del desarrollo del experimento, indican diferencias genéticas con respecto al desarrollo de la enfermedad.

Cuadro 4. 4. Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad (ABCPE) de progenitores.

Genotipo Progenitor	06-09	09-12	12-15	15-18	18-21	21-24	24-27	Total
	días %/días	días %/días	días %/días	días %/días	días %/días	días %/días	días %/días	
1	67.5	93.75	120	131.25	161.25	176.25	176.25	926.25
3	33.75	48.75	56.25	67.5	71.25	71.25	78.75	427.50
4	157.5	210	247.5	255	255	255	255	1635
5	18.75	30	52.5	82.5	123.75	150	157.5	615
6	82.5	138.75	165	180	180	180	180	1106.2

7	112.5	183.75	225	266.25	300	300	300	1687.5
8	37.5	71.25	97.5	101.25	101.25	101.25	101.25	611.25

Los valores menores de ABCPE corresponden a materiales con menor incidencia de enfermedad, esto quiere decir que son los materiales con un mayor nivel de resistencia y/o tolerancia, como se muestra en el Cuadro 4.4., para el ABCPE que indicó diferencias observables entre los progenitores (tres, ocho y cinco), los cuales tiene diferentes niveles de resistencia horizontal.

Al analizar el ABCPE, se encontró que el progenitor con el valor más alto fue el siete con 1687.5 porcentaje en días, seguido del cuatro, seis, uno, cinco, ocho y tres, siendo este último con 427.5.

En un estudio de Cíntora Portuguez (2016), se evaluó la resistencia de cinco híbridos de chile manzano (MARUCA, CLARIS, YOLI, DALI y JHOS) y sus progenitores tras inocular con  $1 \times 10^6$  esporas  $\times \text{mL}^{-1}$  y medir incidencia, severidad y ABCPE. *Phytophthora capsici* alcanzó el ABCPE más alto, confirmando su gran agresividad en raíz. En cambio, YOLI, DALI y MARUCA mostraron ABCPE bajos frente a *Fusarium oxysporum*, y todos redujeron ABCPE ante *Rhizoctonia solani*, con marcadores de resistencia a *Fusarium*. Estos hallazgos subrayan la importancia de seleccionar genotipos con ABCPE reducido frente a *P. capsici*.

En la Figura 4.1., observamos el ABCPE de los siete progenitores en la que se muestra, el progenitor cuatro (La Raya), mostro una mayor severidad de la enfermedad con respecto al resto de progenitores. La enfermedad continuó avanzando, siendo el genotipo siete (Zimatlán) el que mostro mayor severidad. Al finalizar la evaluación, el progenitor tres fue el más resistente, seguidos de los progenitores ocho y seis (Vigallo y Ocotlán). Aun así, todos los progenitores son susceptibles, pues se trata de materiales criollos.

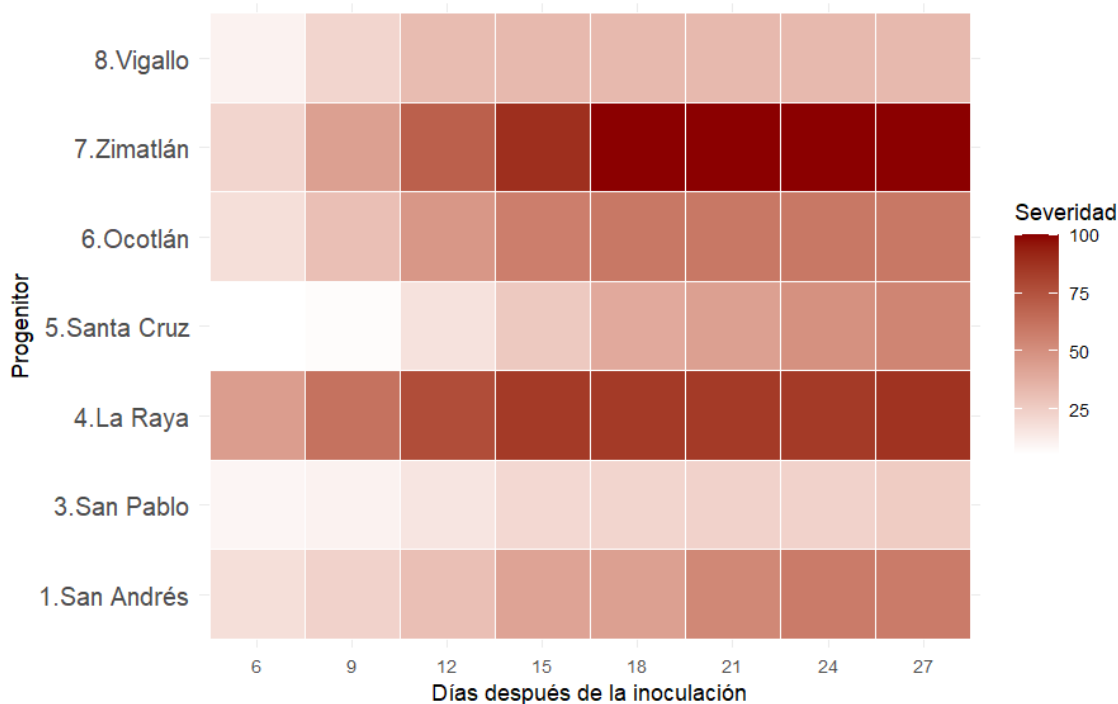


Figura 4. 1. Mapa de calor del progreso de la enfermedad en progenitores.

Los cuadrados medios del análisis de varianza para la reacción a la inoculación de las F1 (Cuadro 4.5) muestran en las fechas y las cruzas, diferencias muy significativas ( $P \leq 0.01$ ) para los índices de la enfermedad. Las diferencias pueden atribuirse a que las cruzas generadas entre los progenitores, en los que se detectó un nivel moderado de resistencia y en otros completa susceptibilidad completa.

Cuadro 4. 5. Cuadros medios del análisis de varianza para la reacción de los genotipos F1 a la inoculación con *P. capsici*.

F.V.	GL	C.M.
<b>Fechas de evaluación</b>	7	5887 **
<b>Rep/Fechas</b>	7	312
<b>Cruzas</b>	20	4660**
<b>Cruzas x Fechas</b>	140	192
<b>Error</b>	160	809
<b>Total</b>	335	
<b>C.V.</b>	80.92	

\*\*Muy significativo 0.01.

En la prueba de medias por el método de Tukey (Cuadro 4.6), la mejor cruza fue 1x5 ubicada en el grupo (f) con una media de 5.31, seguida por las del grupo (ef) correspondieron a las cruzas 4x6, 6x7 y 3x8, con una media 7.97, 9.58 y 11.17 respectivamente. En el caso contrario la cruza 1x3 ubicada en el grupo (a) con una media de 60, con un mayor índice de la enfermedad, Días Después de la Inoculación (DDI).

Según Ristaino (1990) solo los índices de enfermedad de 0 a 20 son considerados como resistentes, todas las cruzas, excepto la cruza 1x5, son consideradas susceptibles. Sin embargo, el progreso de la enfermedad fue más lento en algunas cruzas, alcanzando un nivel moderado, lo cual de acuerdo con Van Der Plank (1984) indica un tipo de resistencia poligénica que no detiene por completo el desarrollo de la enfermedad, sino que permite el desarrollo de la enfermedad de manera parcial, siendo considerados parcialmente resistente a *P. capsici*.

Cuadro 4. 6. Prueba de medias por el método de Tukey, así como el avance de la enfermedad (%) en las cruzas F1 a través de todo el periodo de 27 días de evaluación cada tercer día.

Genotipo	Media	Grupo	I.E. / Días después de la inoculación							
			6 días	9 días	12 días	15 días	18 días	21 días	24 días	27 días
1x3	60.00	a	20.0	32.5	45.0	63.7	75.0	78.7	81.2	83.7
7x8	58.28	ab	17.5	32.5	46.2	57.5	72.5	80.0	80.0	80.0
1x8	52.50	abc	17.5	25.0	45.0	55.0	62.5	65.0	72.5	77.5
6x8	51.31	abc	25.5	39.2	51.7	56.7	59.2	59.2	59.3	59.3
5x6	48.75	abc	6.2	25.0	47.5	55.0	57.5	63.8	66.2	68.7
4x5	44.69	abcd	25.0	28.7	36.2	38.7	52.5	58.7	58.7	58.7
3x5	39.38	abcde	12.5	17.5	36.2	40.0	50.0	52.5	52.5	53.7
3x6	38.75	abcde	16.2	21.2	30.0	33.7	36.2	42.5	52.5	77.5
1x7	36.41	abcdef	8.7	11.2	13.7	16.2	38.7	60.0	65.0	77.5
4x8	32.81	abcdef	5.0	5.0	16.2	33.7	47.5	50.0	52.5	52.5
4x7	32.03	abcdef	16.2	21.2	31.2	35.0	36.2	38.7	38.7	38.7
1x4	27.31	bcdef	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3
3x4	26.88	bcdef	16.9	22.5	25.6	27.5	28.7	30.6	30.6	32.5
3x7	23.28	cdef	5.0	11.2	13.7	22.5	25.0	31.2	38.7	38.7
1x6	21.68	cdef	21.7	21.7	21.7	21.7	21.7	21.7	21.7	21.7
5x8	15.78	def	8.75	10.0	10.0	10.0	12.5	20.0	25.0	30.0
5x7	15.16	def	1.25	3.75	11.2	17.5	18.7	21.2	23.7	23.7
3x8	11.17	ef	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2
6x7	9.58	ef	7.7	7.7	7.7	7.7	10.2	10.2	11.4	14.2

<b>4x6</b>	7.97	ef	0.0	0.0	2.5	3.7	6.2	8.7	13.7	28.7
<b>1x5</b>	5.31	f	2.5	2.5	3.7	5.0	6.2	7.5	7.5	7.5

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.  
I.E: Índice de la enfermedad

Al analizar el Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad (ABCPE), las diferencias observadas en el avance de la enfermedad (Cuadro 4.7), indican que la enfermedad tuvo una progresión rápida en algunas cruzas como 1x3, 7x8, 6x8 y 1x8, de 1282.5, 1275, 1154.88 y 1098.75 respectivamente, su mayoría todas las cruzas mostraron susceptibilidad a la enfermedad. Sin embargo, después de cuatro lecturas algunas cruzas detuvieron el avance de la enfermedad como las cruzas, 1x5, 4x6, 4x5 y 4x7.

Un estudio realizado por Martínez (2011) reportó que la mayoría de sus cruzas presentaron valores de ABCPE inferiores al 100 %, lo que sugiere un mayor nivel de resistencia a la enfermedad.

Cuadro 4. 7. Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad (ABCPE) de cruzas F1.

Genotipo	06-09 días	09-12 días	12-15 días	15-18 días	18-21 días	21-24 días	24-27 días	Total
<b>Cruza</b>	<b>%/ días</b>	<b>% /días</b>	<b>% /días</b>	<b>%/ días</b>	<b>% /días</b>	<b>%/ días</b>	<b>% /días</b>	<b>%/días</b>
1X3	60	112.5	165	213.7	236.2	243.7	251.2	1282.5
1X4	81.9	81.9	81.9	81.9	81.9	81.9	81.9	573.4
1X5	7.5	7.5	15	18.7	22.5	22.5	22.5	116.2
1X6	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	455.3
1X7	33.7	41.2	48.7	116.2	161.2	180	195	776.2
1X8	63.7	90	157.5	187.5	187.5	195	217.5	1098.7
3X4	60	71.2	80.6	84.3	86.2	91.9	97.5	571.9
3X5	37.5	52.5	112.5	120	150	157.5	161.2	791.2
3X6	56.2	86.2	97.5	101.2	108.7	127.5	157.5	735
3X7	22.5	41.2	63.7	75	90	116.2	116.2	525
3X8	33.5	33.5	33.5	33.5	33.5	33.5	33.5	234.5
4X5	86.2	105	116.2	153.7	172.5	176.2	176.2	986.2
4X6	0	7.5	11.2	11.2	18.7	26.2	41.2	116.2
4X7	63.7	93.7	101.2	105	116.2	116.2	116.2	712.5
4X8	15	45	101.2	138.7	150	157.5	157.5	765
5X6	75	120	165	172.5	172.5	191.2	198.7	1095

5X7	11.2	18.7	37.5	56.2	56.2	67.5	71.2	318.7
5X8	26.2	30	30	30	37.5	60	75	288.7
6X7	23.0	23.0	23.0	30.5	30.5	34.3	42.5	207.0
6X8	117.8	155.3	170.3	177.8	177.8	177.8	177.8	1154.9
7X8	90	131.2	138.7	202.5	232.5	240	240	1275

De acuerdo con los resultados obtenidos la mayoría de las cruzas mostraron avance de la enfermedad a través del tiempo a excepción de las cruzas 1x5 y 4x6 las cuales tuvieron el mismo avance que fue de 116.25% de días siendo las de menor desarrollo.

La Figura 4.2., se observa el ABCPE de las cruzas en las cuales se muestra un desarrollo rápido de la enfermedad en la materia de las cruzas, se revela que la enfermedad progresó con mayor rapidez y se mantuvo constante en la cruz 1x3, que alcanzó la incidencia más alta. A partir de la cuarta evaluación la mayoría de las cruzas evidenciaron un incremento en el avance del patógeno. Al final del ensayo, las cruzas 1x5 y 4x6 presentaron la menor incidencia.

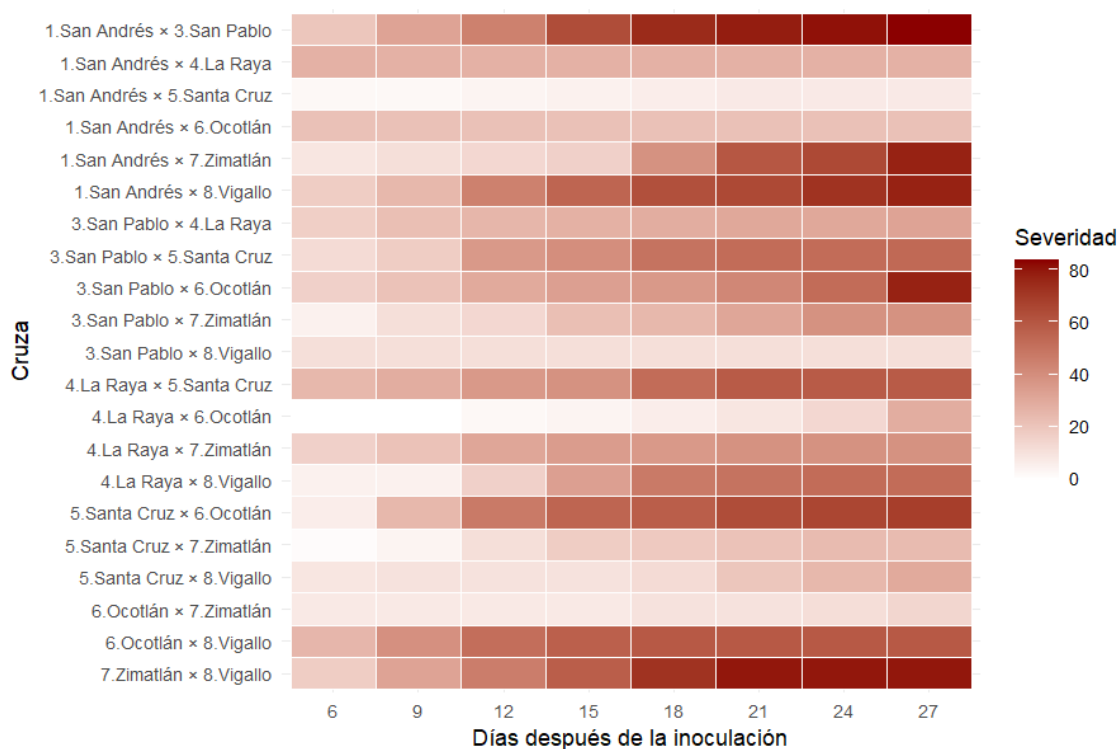


Figura 4. 2. Mapa de calor del progreso de la enfermedad en cruzas F1.

El progreso de la enfermedad, mostro en términos generales, un incremento constante a través de cada evaluación como se observa en la Figura 4.3., en la cual se observa que los Progenitores mostraron un progreso de la enfermedad superior a sus cruza F1 a excepción de los progenitores 3 y 5.

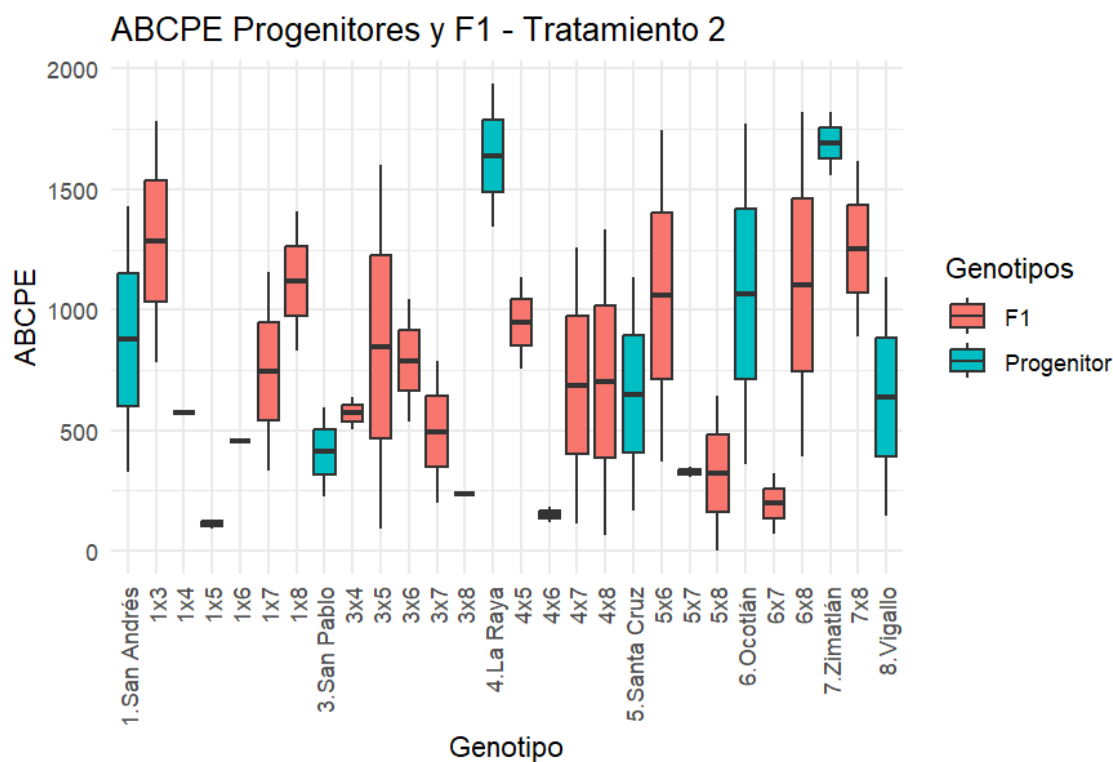


Figura 4. 3. Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad de los progenitores y sus cruza F1.

Los resultados de los cuadrados medios (Cuadro 4.8), aplicando el Método II de Griffing se puede apreciar que más allá de la variación ambiental que aportan las dos repeticiones ( $CM = 7\ 285.81$ ;  $p \leq 0,01$ ), la respuesta a *Phytophthora capsici* cambia drásticamente según la combinación parental ( $CM$  "Cruzas" =  $6\ 060.15$ ;  $p \leq 0,01$ ). La Aptitud Combinatoria General (ACG) también resultó muy significativa ( $MS = 5\ 235.60$ ;  $p \leq 0,01$ ), lo que nos indica que algunos padres transmiten resistencia de manera consistente a su descendencia. En cuanto a la Aptitud Combinatoria Especifica (ACE), superó incluso a la ACG ( $CM = 6\ 719.81$ ;  $p \leq 0,01$ ): esto señala que ciertos cruces de padres generan híbridos cuya

resistencia es mucho mejor (o peor) de lo que cabría esperar solo por sus valores medios. Por último, el error experimental sigue siendo alto (CM error = 674.82; CV = 73,9 %), lo que nos muestra es que se pudieron haber establecido más repeticiones para mejorar la precisión del experimento. En conjunto, estos hallazgos nos muestran que conviene seleccionar padres con buena ACG como explorar cruzas específicas para aprovechar al máximo la heterosis en el programa de mejoramiento.

Cuadro 4. 8. Cuadrados medios de progenitores y cruzas F1 de chile de agua, para la reacción a la inoculación con *P. capsici*, analizados bajo el método 2 de Griffing (1956).

<b>F.V</b>	<b>GL</b>	<b>C.M</b>
<b>Rep</b>	<b>1</b>	7285.81 **
<b>Cruza</b>	<b>27</b>	6060.15 **
<b>ACG</b>	<b>6</b>	5235.60 **
<b>ACE</b>	<b>15</b>	6719.81 **
<b>EE</b>	<b>419</b>	674.82
<b>TOTAL</b>	<b>447</b>	
<b>C.V</b>	<b>73.90</b>	
<b>Media</b>	<b>35.15</b>	
<b>Máx</b>	<b>100</b>	
<b>Mín</b>	<b>0</b>	

\*\* Muy significativo 0.01.

En el análisis de ACG y ACE de las 21 cruzas simples de chile de agua evaluadas, los valores de ACG negativos de los progenitores 3 (-4.78) y 5 (-5.58) destacan su capacidad aditiva para reducir el índice de enfermedad, lo cual los convierte en candidatos prometedores para la selección de líneas parentales. Sin embargo, son las ACE fuertemente negativas las que revelan las combinaciones más heteróticas: cruzas como 1x5 (ACE = -24.79; IE = 5.31 %), 4x6 (ACE = -31.54; IE = 7.96 %) y 6x7 (ACE = -30.61; IE = 9.58 %) muestran reducciones de severidad muy superiores a las esperadas por la ACG de sus padres, lo que sugiere interacciones génicas favorables (dominancia o epistasis) que podrían explotarse en híbridos altamente resistentes.

Por el contrario, las cruzas como 1x3, 7x8 y 1x8 exhiben ACE positivas y medias de IE cercanas al 60 %, señalando cruzas particularmente susceptibles. En conjunto, estos resultados indican que un programa de mejoramiento eficaz debería combinar la selección de progenitores con ACG favorable y la identificación de cruzas específicas con ACE muy negativa para maximizar la resistencia a *P. capsici*.

Cuadro 4. 9. Efectos de ACG y ACE de 21 cruzas simples de Chile de Agua, para la variable de Índice de la Enfermedad y la media genotípica del Índice de la Enfermedad.

CRUZAS	ACG	ENFERMEDAD		IE (%)
		ACG	ACE	
1X3	0.54	-4.78	29.09 **	60
1X4	0.54	4.85	-13.22 *	27.31
1X5	0.54	-5.58	-24.79 **	5.31
1X6	0.54	-0.49	-13.52 *	21.68
1X7	0.54	5.53	-4.81	36.40
1X8	0.54	-0.07	16.88 **	52.50
3X4	-4.78	4.85	-8.34	26.87
3X5	-4.78	-5.58	14.59 *	39.37
3X6	-4.78	-0.49	8.87	38.75
3X7	-4.78	5.53	-12.62	23.28
3X8	-4.78	-0.07	-19.14 **	11.16
4X5	4.85	-5.58	10.28	44.68
4X6	4.85	-0.49	-31.54 **	7.96
4X7	4.85	5.53	-13.50 *	32.81
4X8	4.85	-0.07	-7.12	30.93
5X6	-5.58	-0.49	19.67 **	48.75
5X7	-5.58	5.53	-19.94 **	15.15
5X8	-5.58	-0.07	-13.72 *	15.78
6X7	-0.49	5.53	-30.61 **	9.58
6X8	-0.49	-0.07	16.72 *	51.31
7X8	5.53	-0.07	17.66 **	58.28

\*\* Muy significativo 0.01, \* Significativo 0.05.

### Etapa III. Campo

En el cuadro 4.10., del análisis dialélico (Método II de Griffing) evidenció que las fuentes de varianza asociadas a la craza fueron muy significativas ( $p \leq 0.01$ ) para

todos los rasgos evaluados, lo que confirma la existencia de divergencia genética amplia entre los progenitores involucrados. En los componentes de precocidad, días a floración (DAF) y días a cosecha (DAC), los cuadrados medios de la aptitud combinatoria general (ACG) superaron en más del doble a los de la aptitud combinatoria específica (ACE), indicando un control predominantemente aditivo. Este predominio sugiere que la ganancia por selección directa sobre líneas élite será eficiente para acortar el ciclo fenológico sin depender de heterosis.

En las variables de tamaño de fruto, la longitud (LF) mostró, además del efecto aditivo dominante, una fracción no-aditiva significativa, pero de magnitud reducida; en contraste, el diámetro (DF) estuvo gobernado casi exclusivamente por efectos aditivos, de modo que la mejora de líneas puras resulta más estable que la explotación de híbridos para esa variable. El peso promedio de fruto (PPF) constituyó un caso intermedio: aun cuando la ACG quintuplicó la ACE, esta última fue altamente significativa, lo que revela un potencial de heterosis que puede capitalizarse mediante pruebas dirigidas de combinaciones F1 específicas. Para el número de frutos por planta (FTO/PTA) la ACE no alcanzó significancia, corroborando la supremacía aditiva y la conveniencia de enfatizar la selección recurrente.

El rendimiento (RTO) presentó significancias en ACG ( $p \leq 0.01$ ) y ACE ( $p \leq 0.05$ ), con la fracción aditiva aportando aproximadamente dos tercios de la varianza intercruza. Por otro lado, los efectos de repetición fueron significativos únicamente en PPF y RTO, lo que indica cierta interacción ambiente-genotipo; sin embargo, los coeficientes de variación (<20%) confirman precisión experimental aceptable.

Cuadro 4. 10. Cuadrados medios de cruza de Chile, para las variables fenológicas y de rendimiento, analizados bajo el método 2 de Griffing (1956).

F.V	GL	DAF (días)	DAC (días)	LF (cm)	DF (cm)	PPF (gr)	FTO/PTA (núm)	RTO (t ha <sup>-1</sup> )
<b>Rep</b>	<b>2</b>	4.41	0.59	2.40 **	0.07	83.40 **	109.39 *	17.68 **
<b>Cruza</b>	<b>27</b>	81.29 **	40.52 **	1.14 **	0.10 **	31.40 **	62.79**	9.30 **

<b>ACG</b>	<b>6</b>	120.17 **	59.57 **	2.29 **	0.16 **	56.02 **	101,36**	12.38 **
<b>ACE</b>	<b>15</b>	50.20 **	25.29 **	0.23*	0.049	11.70*	31.93	6.83 *
<b>EE</b>	<b>54</b>	4.92	2.53	0.11	0.03	5.78	28.99	2.87
<b>TOTAL</b>	<b>83</b>							
<b>C.V</b>		7.66	2.82	4.08	5.27	6.97	13.06	13.27
<b>Media</b>		28.94	56.42	8.36	3.57	34.48	41.23	12.77
<b>Máx</b>		40.18	64.00	9.75	4.18	45.83	60.00	20.08
<b>Mín</b>		18.00	50.00	6.75	3.03	26.33	27.00	7.70

\*\* , \* , muy significativo 0.01, significativo 0.05, resp, DAF(Días a Floración), DAC(Días a Cosecha), LF(Longitud de Fruto), DF(Diámetro de Fruto), PPF(Peso Promedio de Fruto), FTO/PTA(Frutos por Planta), RTO(Rendimiento)

A partir de los estimadores de aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) obtenidos con el método II de Griffing (Cuadro 4.11), se puede establecer una jerarquía clara de progenitores y cruzas para cada rasgo agronómico.

En precocidad (DAF y DAC) los efectos aditivos predominaron: los progenitores 6 y 5 mostraron los valores ACG negativos más altos (-3.13 y -1.91 días en DAF; -2.12 y -2.03 días en DAC, respectivamente), lo que evidencia su aporte consistente a la reducción del ciclo. De forma concordante, las cruzas 4x7 (-7.37) y 3x7 (-5.33) concentraron la ACE más negativa. Este predominio aditivo coincide con lo descrito por Hernández-Mendoza et al. (2021) en Chile guajillo, donde la precocidad estuvo controlada mayoritariamente por varianza aditiva.

Para el número de frutos por planta (NOFTO), el progenitor 4 presentó la mayor ACG positiva (+2.74), mientras que los progenitores 1 y 3 ejercieron efectos significativamente negativos (-2.24 y -1.86), respectivamente, aportan menos frutos de lo normal: cada uno reduce, en promedio, alrededor de siete o seis décimas de fruto por planta respecto al promedio. Lo anterior indica, que el progenitor 4 tiene buen ACG para incrementar el número de frutos, mientras que los progenitores 1 y 3 deberían descartarse o usarse con precaución si el objetivo es maximizar la producción de fruto. Entre las cruzas, 5x8 (+9.49) 6x8 (+4.68) y 3x8 (+4.68) expresaron la ACE más alta, indicando heterosis útil para incrementar la fructificación. Patrones similares de ACG dominante, pero con ACE puntual fueron reportados por do Nascimento et al. (2014) para *Capsicum annuum* ornamental.

En diámetro de fruto y peso promedio de fruto, el progenitor 3 destacó: efecto positivo en diámetro (+0.21 cm) y el ACG más alto para peso promedio (PPF = +3.44), aunque redujo la longitud (-0.22). Las cruzas 1x7 (+6.50 ) y 3x4 (+2.69) registraron las ACE más favorables en PPF, confirmando que al menos uno de los padres debe poseer una ACG positiva elevada para que la heterosis sea expresiva, como también observó Nascimento et al. (2014).

En rendimiento total (RTO) sólo el progenitor 3 exhibió ACG significativamente positiva (+0.60); no obstante, varias cruzas mostraron ACE destacada: 5x8 (+3.67), 1x7 (+2.67) y 3x4 (+2.26). Este resultado confirma que, aunque el componente aditivo es la base del rendimiento, existen combinaciones específicas con expresiones heteróticas relevantes, tal como se ha documentado en otros estudios de dialélico en *Capsicum*.

Cuadro 4. 11. Efectos ACG y ACE de siete genotipos y 21 cruzas F1 evaluados en Tamaulipas para variables fenológicas y de rendimiento, bajo el método 2 de Griffing (1956).

Progenitores	DAF	DAC	NOFTO	DF	LF	PPF	RTO
<b>1</b>	4.01 **	2.03**	-2.24**	-0.04**	-0.20**	-0.93**	-0.70
<b>3</b>	-0.23 **	-0.81**	-1.86 *	0.21*	-0.22**	3.44**	0.60**
<b>4</b>	3.48	2.89	2.74	-0.03	-0.30	-1.00	0.24
<b>5</b>	-1.91	-2.03	-0.46	-0.03	-0.22	-0.43	-0.21
<b>6</b>	-3.13	-2.12	-0.82	-0.04	0.73	0.70	-0.20
<b>7</b>	-1.06	0.36	0.60	-0.03	-0.04	-0.82	0.04
<b>8</b>	-1.15	-0.32	2.05	-0.04	0.24	-0.96	0.22
<b>Cruzas</b>							
<b>1X3</b>	1.94 **	3.03 **	-6.46 **	-0.13 **	0.08 **	-1.04 **	-2.12
<b>1X4</b>	3.76 **	2.08 **	-0.28 *	0.07 *	-0.15 **	2.43 **	0.48**
<b>1X5</b>	-2.04 **	-2.43 **	1.48 **	-0.05 **	-0.10 **	0 **	0.17
<b>1X6</b>	-0.02 **	0.52 **	-2.32 **	-0.06 **	0.02 **	0.83 **	-0.76
<b>1X7</b>	2.10 **	1.51 **	2.75 *	0.34 *	0.79 **	6.5 **	2.67 **
<b>1X8</b>	2.21 **	2.26 **	-1.67 **	-0.25 **	0.15 **	-0.49 **	-1.95
<b>3X4</b>	3.14	3.50	4.57	0.16	-0.50	2.69	2.26
<b>3X5</b>	0.20 **	-1.58 **	3.77 *	0.07 *	0.64 **	2.07 **	1.85 **
<b>3X6</b>	1.73 **	0.28 **	-0.59 **	-0.17*	-0.05 **	-1.26 **	-0.36 **
<b>3X7</b>	-5.33	-4.97	-0.30	0.11	-0.04	-0.21	0.37

<b>3X8</b>	-1.39 **	-0.66 **	4.68 **	0.04 *	0.24 **	2.04 **	2.05 **
<b>4X5</b>	2.16	3.38	-0.17	-0.13	0.08	-0.16	-0.01
<b>4X6</b>	-5.62	-1.19	-0.81	-0.11	-0.08	-2.51	-1.54
<b>4X7</b>	-7.37 **	-5.35 **	1.10 **	-0.05 **	0.03 **	-2.10 **	-0.48
<b>4X8</b>	3.73	2.67	0.99	0.13	0.51	2.26	1.14
<b>5X6</b>	-1.57 **	-2.27 **	-2.28 **	0.09 **	-0.16 **	0.08 **	0.02
<b>5X7</b>	5.77 **	4.12 **	-2.36 *	0.08 *	0.07 **	0.78 **	-1.07 **
<b>5X8</b>	-0.93 **	-0.49 **	9.49 **	0.07 **	0.26 **	1.91 **	3.67
<b>6X7</b>	2.90	0.46	3.20	0.06	0.43	0.14	0.90
<b>6X8</b>	-0.58 **	-0.76 **	4.68 *	0.04 *	0.22 **	1.38 **	2.04 **
<b>7X8</b>	-7.74	-0.13	-4.87	-0.14	-0.65	0.13	-0.87

\*\* Muy significativo 0.01, \* Significativo 0.05.

El Cuadro 4.12., sintetiza los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) de cada progenitor distinguidos según su función como hembra o macho, junto con la aptitud combinatoria específica (ACE) y la media genotípica de rendimiento (RTO) de las 21 cruzas simples analizadas. Los valores de rendimiento estimados abarcaron desde 10.34 t ha<sup>-1</sup> (1x8) hasta 16.45 t ha<sup>-1</sup> (5x8), evidenciando una variabilidad suficientemente amplia para fines comerciales.

En términos de varianza aditiva, el progenitor 3 se posiciona como el combinador general más destacado: presentó ACG positiva y significativa. Esta consistencia respalda su empleo como línea recurrente para elevar el rendimiento, coincidiendo con lo señalado por Hernández-Mendoza et al. (2021) para chile guajillo, donde la fracción aditiva resultó predominante.

La superioridad de varias cruzas se explica por sus elevados efectos de aptitud combinatoria específica (ACE), lo que revela una fuerte contribución no aditiva. En todos los casos, la magnitud de la ACE superó la suma de los efectos aditivos de los padres, lo que indica que la heterosis específica vinculada a dominancia y epistasia, es el principal factor detrás de la ganancia productiva. Resultados similares han sido descritos por Arisha et al. (2024) y do Nascimento et al. (2014), quienes señalan que los híbridos derivados de progenitores con alta ACG y ACE positiva maximizan el rendimiento en *Capsicum annuum*.

Aiswarya et al. (2020) evaluaron cinco líneas progenitoras de *Capsicum annuum* y sus F<sub>1</sub> en un diseño dialélico medio sin recíprocos para quince caracteres morfológicos (incluyendo longitud y diámetro de fruto, espesor de pulpa) y cinco

bioquímicos (vitamina C, capsaicinoides, etc.). Encontraron que tanto la aptitud combinatoria general (ACG) como la específica (ACE) fueron altamente significativas para espesor de pulpa y contenido de vitamina C, identificando híbridos con ACG positivo (+0.12 mm de espesor extra) y ACE significativa (+8 mg kg<sup>-1</sup> de vitamina C) que sugieren combinaciones promisorias en fases tempranas de selección. Por su parte, Sahid et al. (2020) emplearon un dialélico completo de siete líneas y seis testers para componentes de rendimiento (número de frutos, rendimiento total) y contenido de capsaicina. Reportaron varianzas de ACG altamente significativas para número de frutos ( $p < 0.01$ ) y de ACE para capsaicina ( $p < 0.05$ ), destacando F1 con heterosis positiva de hasta 35 % en rendimiento y 27 % en capsaicina, lo que subraya la efectividad del análisis dialélico para optimizar la selección de híbridos de Chile.

Cuadro 4. 12. Efectos de ACG y ACE de 21 cruzas simples de Chile de Agua evaluadas en Tamaulipas, para la variable rendimiento y la media genotípica de rendimiento.

CRUZAS	RENDIMIENTO ( $t\ ha^{-1}$ )			X RTO ( $t\ ha^{-1}$ )
	ACG	ACG	ACE	RTO
1X3	-0.70	0.60**	-2.12	10.56
1X4	-0.70	0.24	0.48**	12.79
1X5	-0.70	-0.21	0.17	12.04
1X6	-0.70	-0.20	-0.76	11.11
1X7	-0.70	0.04	2.67 **	14.78
1X8	-0.70	0.22	-1.95	10.34
3X4	0.60**	0.24	2.26	15.88
3X5	0.60**	-0.21	1.85 **	15.02
3X6	0.60**	-0.20	-0.36 **	12.82
3X7	0.60**	0.04	0.37	13.79
3X8	0.60**	0.22	2.05 **	15.65
4X5	0.24	-0.21	-0.01	12.79
4X6	0.24	-0.20	-1.54	11.27
4X7	0.24	0.04	-0.48	12.57
4X8	0.24	0.22	1.14	14.37
5X6	-0.21	-0.20	0.02	12.38
5X7	-0.21	0.04	-1.07 **	11.53

5X8	-0.21	0.22	3.67	16.45
6X7	-0.20	0.04	0.90	13.51
6X8	-0.20	0.22	2.04 **	14.83
7X8	0.04	0.22	-0.87	12.16

\*\* Muy significativo 0.01.

### Análisis de Componentes Principales

En el Cuadro 4.13., se muestran los valores obtenidos con el análisis de componentes principales, donde los tres principales componentes explican el 75.2 % de la variabilidad con una contribución de 33.8 % del primer componente (C1), 24.9% del segundo componente (C2) y 16.5% del tercer componente (C3). La contribución más significativa por componente de cada variable fue en C1: el rendimiento promedio acumulado, peso promedio del fruto y el diámetro de fruto. En el componente C2: los días a floración y días a cosecha y en el componente C3 el número de fruto fue el que mayor contribución presento y el diámetro de fruto.

Cuadro 4. 13. Análisis de componentes principales en chile de agua y contribución de las variables.

Variables	C1	C2	C3
Valores propios	2.708	1.994	1.318
Contribución (%)	33.8	24.9	16.5
% Acumulado	33.8	58.8	75.2
DAF	2.903	40.423	0.083
DAC	4.000	38.533	0.894
LONGFTO	5.622	7.376	6.984
DIAMFTO	19.862	2.990	22.981
PPF	22.649	2.315	15.770
NOFTO	9.884	3.182	46.816
REND	27.572	4.587	6.427
ABCPE	7.508	0.595	0.044

La figura 4.4., refleja la representación gráfica de los componentes C1 y C2 y la distribución de los distintos genotipos (progenitores y F1) de Chile de Agua,

teniendo tres grupos de acuerdo con las variables. Se aprecia en la figura 4.4., que el componente C1 muestra a los genotipos con mayor rendimiento, peso promedio de fruto y diámetro de fruto, se distribuyen hacia la parte superior e inferior del gráfico y en la dirección opuesta del componente C2.

El grupo I, de color naranja incluye a los genotipos con mayor rendimiento.

En el grupo I, en el C1 positivo se encuentra los genotipos tres (San Pablo), con un rendimiento de  $11.96 \text{ t ha}^{-1}$  y la cruza 3x8, mientras que en el C1 negativo se encuentran el genotipo seis (Ocotlán) y las cruzas 3x5, 5x8, 6x7, 6x8, 3x7, estos presentan rendimientos menores.

En el grupo II se agrupan las variables fenológicas que comprenden días a floración y días a cosecha ubicadas en el C2, en la parte superior positiva se observan los genotipos con ciclo más largo, como el progenitor cuatro (La Raya), siete (Zimatlán) y uno (San Andrés) con días a floración superiores a los 30 días y días a cosecha superiores a 57 días y las cruzas 1x4, 1x3, 1x8 con días a floración mayores a 35 días y días a cosecha superiores a los 60 días.

En el grupo III se distribuye en la parte central de los grupos I y II donde se ubican los genotipos promedio, que tienen menor asociación con las variables más destacadas. En este se ubican el C2 negativo, donde se ubican los genotipos más precoces en días a floración con menos de 30 días y días a cosecha menores a 60 días y rendimiento más bajos y frutos con menor longitud.

Los genotipos 3x4, 1x7 y 4x8 no se agruparon y se distanciaron del resto ya que presentaron un mayor rendimiento de 15.87, 14.78 y  $14.36 \text{ t ha}^{-1}$  respectivamente, peso promedio de fruto mayor y diámetro de fruto.

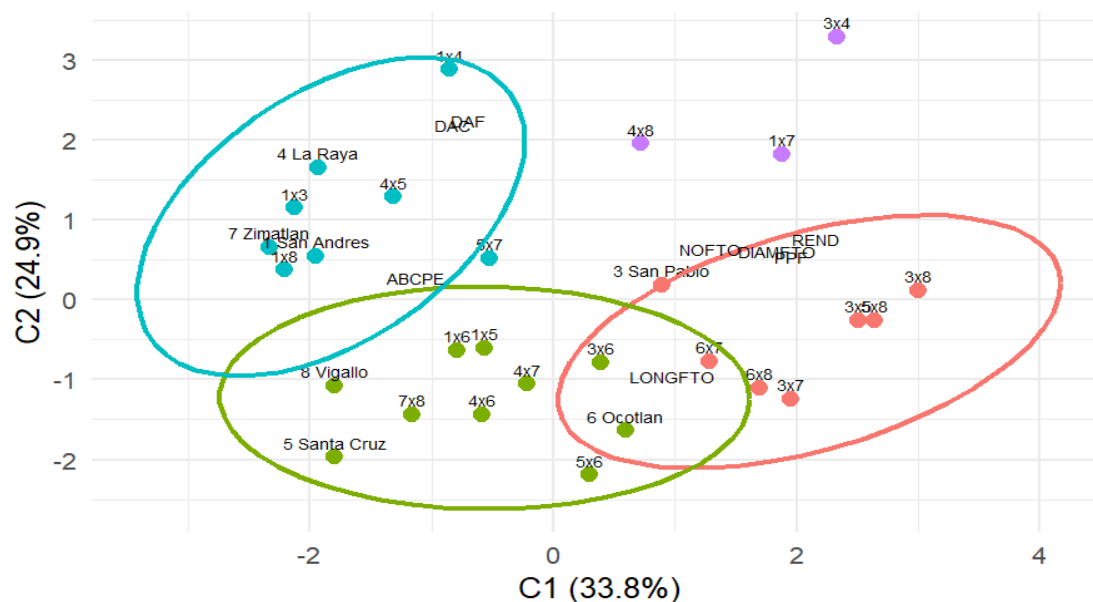


Figura 4. 4. Distribución de genotipos y variables en el plano de Análisis de Componentes Principales (ACP).

## CONCLUSIONES

De acuerdo con el análisis y la discusión de los resultados del presente trabajo de investigación, es posible llegar a las siguientes conclusiones:

Respuesta a la inoculación con *Phytophthora capsici*

1. Se detectó una respuesta diferencial significativa (CM = 6060;  $p < 0.01$ ) entre los 28 genotipos evaluados .
2. Las cruzas, 1x5, 4x6 y 6x7 presentaron los menores índices de enfermedad y los valores más bajos de ABCPE (116 – 207% x día), clasificándose como las fuentes más promisorias de resistencia parcial.
3. La progresión lenta de la enfermedad sugiere resistencia poligénica de tipo moderado, lo que posibilita combinar tolerancia con alto rendimiento dentro de un mismo esquema de mejoramiento.

Evaluación de variables fenológicas

4. Los progenitores 6 y 5 redujeron el ciclo biológico (ACG de  $-3.13$  y  $-1.91$  días en DAF), y las cruzas 4x7 y 3x7 acortaron la floración hasta 7.4 días gracias a dominancia complementaria.

### Estimación de ACG y ACE de los componentes de rendimiento

5. El análisis dialélico (Método II de Griffing) reveló varianza altamente significativa entre cruzas para todas las variables de rendimiento y fenología. Los cuadrados medios de ACG superaron claramente a los de ACE en DAF y DAC, lo que confirma un predominio aditivo en la precocidad.
6. El progenitor 3 (San Pablo) mostró la mejor aptitud combinatoria general para diámetro de fruto, peso promedio y rendimiento (+0.60), mientras que los híbridos 5x8, 1x7 y 3x5 registraron los mayores efectos ACE (1.85 – 3.67) y rindieron 14.78 – 16.45 t ha<sup>-1</sup>, superando la expectativa aditiva y evidenciando heterosis específica útil.

### Conclusiones generales

- I. Se confirma la hipótesis de que las poblaciones criollas de Chile de agua poseen efectos genéticos que influyen simultáneamente en rendimiento, fenología y resistencia a *P. capsici*.
- II. Utilizar el progenitor 3 como línea recurrente por su alta ACG.
- III. Explorar en F2 las cruzas 5x8, 1x7 y 3x5 para producción comercial, y, 1x5, 4x6 y 6x7 como donantes de resistencia.
- IV. La variabilidad genética observada indica la posibilidad de realizar un exitoso programa de mejoramiento genético.

## REFERENCIAS

- Aguilar-Rincón, V. H., Corona Torres, T., López López, P., Latournerie Moreno, L., Ramírez Meraz, M., Villalón Mendoza, H., & Aguilar Castillo, J. A. (2010). *Los chiles de México y su distribución*. SINAREFI, Colegio de Postgraduados, INIFAP, IT-Conkal, UANL, UAN. (114 p.) ISBN 978-607-7533-68-9.
- Aguirre, H. E., & Muñoz, V. O. (2015). El chile como alimento. *Ciencia*, 66(3), 16–23. [https://amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/66\\_3/PDF/Chile.pdf](https://amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/66_3/PDF/Chile.pdf)
- Aiswarya, C. S., Vijeth, S., Sreelathakumary, I., & Kaushik, P. (2020). Diallel analysis of chilli pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes for morphological and fruit biochemical traits. *Plants*, 9(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/plants9010001>
- Aragaki, M., & Uchida, J. Y. (2001). Morphological distinctions between *Phytophthora capsici* and *P. tropicalis* sp. nov. *Mycologia*, 93(1), 137–145. <https://doi.org/10.1080/00275514.2001.12061285>
- Arisha, M. H., Bardisi, E. A., & Zyada, H. G. (2024). *Study of diallel cross for yield and fruit characters in chili pepper*. *Journal of Plant Production*, 15(8), 449-454. <https://doi.org/10.21608/jpp.2024.306385.1356>
- Arroyo–Vargas, L., Tirado–Torres, J. L., Volke–Haller, V. H., & Valdez–Cepeda, R. D. (2013). Normas preliminares de diagnóstico de nutrimento compuesto y correlaciones entre nutrimentos y rendimiento en pimiento (*Capsicum annuum* L.). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 16(1), 69-82. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93927469008>
- Babadoost, M., Pavon, C., Islam, S. Z., & Tian, D. (2015). *Phytophthora* blight (*Phytophthora capsici*) of pepper and its management. *Acta Horticulturae*, 1105, 61-66. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2015.110>
- Barchenger D. W., K. H. Lamour and P. W. Bosland (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>

- Barchenger D. W., P. Naresh and S. Kumar. (2019) .Genetic resources of Capsicum. In: The Capsicum Genome. Compendium of Plant Genomes. N. Ramchiary and C. Kole (eds.). Springer. Cham, Switzerland. pp:9-23, [https://doi.org/10.1007/978-3-319-97217-6\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-97217-6_2)
- Barksdale T. H., G. C. Papavizas and S. A. Johnston (1984) Resistance to foliar blight and crown rot of pepper caused by *Phytophthora capsici*. *Plant Disease* 68:506-509, <https://doi.org/10.1094/PD-68-506>
- Biles, C. L. (1993). Relationship of *Phytophthora* fruit rot to fruit maturation and cuticle thickness of new Mexican-type peppers. *Phytopathology*, 83(6), 607. <https://doi.org/10.1094/phyto-83-607>
- Bowers, J. H., Martin, F. N., Tooley, P. W., & Luz, E. D. M. N. (2007). Genetic and morphological diversity of temperate and tropical isolates of *Phytophthora capsici*. *Phytopathology*, 97(4), 492–503. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-97-4-0492>
- Bravo, L. A. G., Galindo, G. G., Amador, R. M. D. 2006. Tecnología de producción de chile seco. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de investigación regional norte centro. Libro Técnico N° 5. Campo experimental Zacatecas.
- Callaghan, S. E., Williams, A. P., Burgess, T., White, D., Keovorlajak, T., Phitsanoukane, P. (2016). First report of *Phytophthora capsici* in the Lao PDR. *Australasian Plant Disease Notes*, 11(1), 22. <https://doi.org/10.1007/s13314-016-0210-9>
- Castro G. F. H., P. López L., S. Montes H. y F. Andrés J. (2007). Caracterización morfológica de la diversidad de los chiles nativos (*Capsicum* spp.) en el Estado de Oaxaca. Memorias Cuarta Convención Mundial del Chile.
- Castro-Rocha, A., Fernández-Pavía, S. P., & Osuna-Ávila, P. (2012). Mecanismos de defensa del chile en el patosistema *Capsicum annuum*–*Phytophthora capsici*. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 30(1), 49-65. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S018533092012000100005&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018533092012000100005&lng=es&nrm=iso)

- Chew, M. Y. I., Piña, A. V., Rodríguez, M. P., & Díaz, F. J. (2008). Principales enfermedades del chile. INIFAP, Campo Experimental La Laguna. <https://www.compucampo.com/tecnicos/principalesenfermedades-chile.pdf>
- Chunthawodtiporn, J., Hill, T., Stoffel, K., & Van Deynze, A. (2019). Genetic analysis of resistance to multiple isolates of *Phytophthora capsici* and linkage to horticultural traits in bell pepper. *HortScience*, 54(7), 1143–1148. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI113359-18>
- Cíntora Portuguez, E. (2016). *Resistencia de híbridos y progenitores de chile manzano a enfermedades causadas por virus y hongos* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma Chapingo]. Repositorio Institucional Chapingo. <https://repositorio.chapingo.edu.mx/handle/123456789/1567>
- Cruz Andrés, O. R. (2019). *Manejo intensivo del chile de agua en ambientes protegidos, para mejorar su rendimiento, la calidad y propiedades nutricionales del fruto* (Tesis de doctorado, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca). Instituto Politécnico Nacional. [http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/handle/LITER\\_CIIDIROAX/520](http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/handle/LITER_CIIDIROAX/520)
- Delín Reynoso, H. (2023). *Caracterización morfológica, molecular y calidad en chile de agua (Capsicum annuum L.)* [Tesis doctoral, Universidad Autónoma Chapingo]. Universidad Autónoma Chapingo. <https://repositorio.chapingo.edu.mx/handle/123456789/2249>
- do Nascimento, N. F. F., do Rêgo, E. R., Nascimento, M. F., Bruckner, C. H., Finger, F. L., & do Rêgo, M. M. (2014). *Combining ability for yield and fruit quality in the pepper Capsicum annuum*. *Genetics and Molecular Research*, 13(2), 3237–3249. <https://doi.org/10.4238/2014.April.29.2>
- Dunn, A. R., & Smart, C. D. (2015). Interactions of *Phytophthora capsici* with resistant and susceptible pepper roots and stems. *Phytopathology*, 105, 1355-1361. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-02-15-0045-R>
- Fernández-Pavía S. P., C. L. Biles, M. E. Waugh, K. Onsurez-Waugh, G. Rodríguez-Alvarado and C. M. Liddell. (2004). Characterization of Southern

- New Mexico *Phytophthora capsici* Leonian isolates from pepper (*Capsicum annuum* L.). *Revista Mexicana de Fitopatología* 22:82-89.
- Gil Ortega, R., Cuartero Zueco, J., & Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Biotecnología. (1988). *Resistencia a «Phytophthora capsici» leon en pimiento/*. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias.
- Gil Ortega, R., C. Palazón E. and J. Cuartero Z. (1991). Genetics of resistance to *Phytophthora capsici* in the pepper line 'SCM-334'. *Plant Breeding* 107:50-55, <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.1991.tb00527.x>
- Gómez-Rodríguez O., T. Corona-Torres and V. H. Aguilar-Rincón (2017) Differential response of pepper (*Capsicum annuum* L.) lines to *Phytophthora capsici* and root-knot nematodes. *Crop Protection* 92:148-152, <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.10.023>
- Glosier, B., Ogundiwin, E., Sidhu, G., Sischo, D., and Prince, J. (2008). A differential series of pepper (*Capsicum annuum*) lines delineates fourteen physiological races of *Phytophthora capsici*. *Euphytica*, 162, 23-30. <http://dx.doi.org/10.1007/s10681-007-9532-1>
- Granke, L. L., Quesada-Ocampo, L., Lamour, K., & Hausbeck, M. K. (2012). Advances in research on *Phytophthora capsici* on vegetable crops in the United States. *Plant Disease*, 96(11), 1588–1600. <https://doi.org/10.1094/PDIS-02-12-0211-FE>
- Greenleaf, W. H. (1986). Pepper Breeding. In: Basset, J. (Ed.) *Breeding Vegetable Crops*. AVI Publishing Co. Inc. USA. P. 67-127.
- Griffing, B. (1956). Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. J. Biol. Sci.* 9:463-493.
- Guerrero, A., & Laborde, J. A. (1980). Current status of pepper breeding for resistance to *Phytophthora capsici* in Mexico. In *Synopses of the IVth Meeting of the Capsicum Working Group of EUCARPIA* (pp. 52–56). Wageningen, The Netherlands.
- Hallauer, A. R., & Miranda, J. B. (1981). *Quantitative genetics in maize breeding* (2nd ed.). Iowa State University Press.

- Haynes, K. G. and Weingartner, D. P. (2004). Use of Area Under the Disease Progress Curve to Assess Resistance to Late Blight in Potato Germplasm. *American Journal of Potato Research*. 81: 137-141
- Jones, J. B., Jones, J. P., Stall, R. E., Zitter T. A. 1997. *Compendium of Tomato Diseases*. APS. PRESS. The American Phytopathological Society. p. 13-14. USA.
- Hernández-Mendoza, F., Corona-Torres, T., García-Gaytán, V., Aguilar-Rincón, V. H., & Gómez-Merino, F. C. (2021). Genetic components of characters related to yield in pepper guajillo: Method II of Griffing. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 33(2), 120–129. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2021.v33.i2.2568>
- Hernández Pérez, M. (2009). *Efectos genéticos en la resistencia a la marchitez causada por Phytophthora capsici en chile (Capsicum annuum) y en caracteres agronómicos importantes en rendimiento* [Tesis doctoral, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/handle/123456789/7959>
- Hyder, S., Inam-ul-Haq, M., Ahmed, R., Gondal, A. S., Fatima, N., Hanan, A. (2018). First report of *Phytophthora capsici* infection on bell peppers (*Capsicum annuum* L.) from Punjab, Pakistan. *International Journal of Phytopathology*, 7(1), 51. <https://doi.org/10.33687/phytopath.007.01.2543>
- Jeger, M. J., & Viljanen-Rollinson, S. L. H. (2001). The use of the area under the disease-progress curve (AUDPC) to assess quantitative disease resistance in crop cultivars. *Theoretical and Applied Genetics*, 102(1), 32–40. <https://doi.org/10.1007/s001220051615>
- Kamoun, S., Furzer, O., Jones, J. D. G., Judelson, H. S., Ali, G. S., Dalio, R. J. D., Roy, S. G., Schena, L., Zambounis, A., Panabières, F., Cahill, D., Ruocco, M., Figueiredo, A., Chen, X. R., Hulvey, J., Stam, R., Lamour, K., Gijzen, M., Tyler, B. M., Grünwald, N. J., Mukhtar, M. S., Tomé, D. F. A., Tör, M., Van den Ackerveken, G., McDowell, J., Daayf, F., Fry, W. E., Lindqvist-Kreuzer, H., Meijer, H. J. G., Petre, B., Ristaino, J., Yoshida, K., Birch, P. R. J., & Govers, F. (2015). The top 10 oomycete pathogens in

- molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology*, 16(4), 413-434. <https://doi.org/10.1111/mpp.12141>
- Khan A. H., M. Hassan and M. N. Khan. (2020). Conventional plant breeding program for disease resistance. *In: Plant Disease Management Strategies for Sustainable Agriculture through Traditional and Modern Approaches. Sustainability in Plant and Crop Protection* . Vol. 13. I. U. Haq and S. Ijaz (eds.). Springer. Cham, Switzerland. pp:27-51, [https://doi.org/10.1007/978-3-030-35955-3\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-35955-3_3)
- Kumar, R., Chatterjee, R., & Praanjal, P. (2024). *Heterosis, combining ability and gene action in bell pepper (Capsicum annuum L.)*. *Journal of Agriculture and Technology*, 11(1–2), 127–136.
- Lamour, K. H., Stam, R., Jupe, J., & Huitema, E. (2011). 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>
- Lee, K. J., Kamala-Kannan, S., Sub, H. S., Seong, C. K., & Lee, G. W. (2008). Biological control of *Phytophthora* blight in red pepper (*Capsicum annuum* L.) using *Bacillus subtilis*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 24(7), 1139-1145. <https://doi.org/10.1007/s11274-007-9585-2>
- Leonian, L.H. (1922). Stem and fruit blight of peppers caused by *Phytophthora capsici* sp. nov. *Phytopathology* 12:401-408.
- Llascalas J., J. A. (2001). Caracterización Fenotípica del chile de agua en los Valles Centrales de Oaxaca. Memoria de Residencia Profesional, Instituto Tecnológico Agropecuario de Oaxaca, 50 pp.
- López L. P. S. (1999). El chile de agua (*Capsicum annuum* L.) en los Valles Centrales de Oaxaca. Instituto nacional de Investigaciones Forestales, agrícolas y Pecuarias. Publicación Especial No. 2, Oaxaca, México, 22 pp.
- Luna Ruiz, J., Chávez, S. P., de Anda, J. A. M., & Ramírez, J. S. (2018). *Distribución ecogeográfica del chile silvestre en México y su conservación ex situ*. IRD Éditions. <https://books.openedition.org/irdeditions/30934?lang=es>

- Majid M. U., M. F. Awan, K. Fatima, M. S. Thair, Q. Ali, B. Rashid, ... and T. Husnain. (2016). *Phytophthora capsici* on chilli pepper (*Capsicum annuum* L.) and its management through genetic and bio-control: a review. *Zemdirbyste-Agriculture* 103:419-430, <https://doi.org/10.13080/z-a.2016.103.054>
- Martínez Osorio, A. (2011). *Efectos de aptitud combinatoria en cinco diferentes poblaciones de "chile mirador" (Capsicum annuum) nativas del estado de Veracruz* (Tesis de maestría, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro). <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/8007/T19487%20%20MARTINEZ%20OSORIO%2C%20ANA%20%20TESIS%20%2062379.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Martínez Zambrano, G., Dorantes González, J. R. A., Ramírez Meraz, M., de la Rosa Loera, A., & Pozo Campodónico, O. (2005). Efectos genéticos y heterosis en la vida de anaquel del chile serrano. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 28(4), 327–332.
- Mendoza, Z. C. (1999). Enfermedades Fungosas de Hortalizas y Fresa. Memorias Programa de Entomología y Acaralogía. Montecillo, Texcoco, Estado de México. Resumen, p 17.
- Monroy-Barbosa, A., & Bosland, P. W. (2008). Genetic analysis of *Phytophthora* root rot race-specific resistance in chile pepper. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 133(6), 825–829. <https://doi.org/10.21273/JASHS.133.6.825>
- Montaño-Lugo, M. L., Velasco Velasco, V. A., Ruíz Luna, J., Campos Ángeles, G. V., Rodríguez Ortiz, G., & Martínez Martínez, L. (2014). Contribución al conocimiento etnobotánico del chile de agua (*Capsicum annuum* L.) en los Valles Centrales de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(3), 503–511. Recuperado el 02 de abril de 2025, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342014000300013&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342014000300013&lng=es&tlng=es)
- Moreira-Morrillo, A., Monteros-Altamirano, Á., Reis, A., & Garcés Fiallos, F. R. (2023). *Phytophthora capsici* on *Capsicum* plants: A destructive pathogen in

chili and pepper crops. En IntechOpen.  
<https://doi.org/10.5772/intechopen.104726>

Naegele, R. P., & Hausbeck, M. K. (2014). Evaluation of pepper fruit for resistance to *Phytophthora capsici* in a recombinant inbred line population, and the correlation with fruit shape. *Plant Disease*, 98(7), 885-890.  
<https://doi.org/10.1094/pdis-03-13-0295-re>

Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture. (2025). *Plant profile: Capsicum annuum L.*  
<https://plants.usda.gov/plant-profile/CAAN4>

Oelke L. M., P. W. Bosland and R. Steiner. (2003). Differentiation of race specific resistance to *Phytophthora* root rot and foliar blight in *Capsicum annuum*. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 128:213-218,  
<https://doi.org/10.21273/JASHS.128.2.0213>

Pech May, A. M., Castañón Nájera, G., Tun Suárez, J. M., Mendoza Elos, M., Mijangos Cortés, J. O., Pérez Gutiérrez, A., & Latournerie Moreno, L. (2010). Efectos heteróticos y aptitud combinatoria en poblaciones de chile dulce (*Capsicum annuum L.*). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(4), 353–360.  
<https://revfitotecnia.mx/index.php/RFM/article/view/624>

Pérez-Martínez, A. L., Eguiarte, L. E., Mercer, K. L., Martínez-Ainsworth, N. E., McHale, L., Van der Knaap, E., & Jardón-Barbolla, L. (2022). Genetic diversity, gene flow, and differentiation among wild, semiwild, and landrace chile pepper (*Capsicum annuum*) populations in Oaxaca, Mexico. *American Journal of Botany*, 109(6), 1–13. <https://doi.org/10.1002/ajb2.16019>

Pérez, M. L., Durán, O. L. J., Ramírez, M. R., Sánchez P. J. R., Olalde, P. V. 2003. Compatibilidad Fisiológica y Sensibilidad a Fungicidas de Aislamientos de *Phytophthora capsici* Leo. *Revista Mexicana de Fitopatología*, enero-julio, año/vol. 21, número 001. Sociedad Mexicana de Fitopatología, A.C. Ciudad Obregón, México. pp. 19-25

Rai, G. S., Liew, E. C. Y., & Guest, D. I. (2020). Survey, identification and genetic diversity of *Phytophthora capsici* causing wilt of chilli (*Capsicum annuum L.*)

- in Bhutan. *European Journal of Plant Pathology*, 158(3), 655–665.  
<https://doi.org/10.1007/s10658-020-02108-4>
- Reifschneider, F. J. B., Boiteux, L. S., Della Vecchia, P. T., Poulos, J. M., & Kuroda, N. (1992). Inheritance of adult-plant resistance to *Phytophthora capsici* in pepper. *Euphytica*, 62(1), 45–49.  
<https://doi.org/10.1007/BF00036086>
- Reis, A., Café-Filho, A. C., & Henz, G. P. (2007). *Phytophthora capsici*: Patógeno agressivo e comum às solanáceas e cucurbitáceas. Embrapa.  
[https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPH-2009/33435/1/ct\\_55.pdf](https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPH-2009/33435/1/ct_55.pdf)
- Retes-Manjarrez J. E., W. A. Rubio-Aragón, I. Márques-Zequera, I. Cruz-Lachica, R. S. García-Estrada and O. Sy (2020) Novel sources of resistance to *Phytophthora capsici* on pepper (*Capsicum* sp.) landraces from Mexico. *The Plant Pathology Journal* 36:600-607,  
<https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.07.2020.0131>
- Ristaino, J. B., & Johnston, S. A. (1999). Ecologically based approaches to management of *Phytophthora* blight on bell pepper. *Plant Disease*, 83(12), 1080-1089. <https://doi.org/10.1094/pdis.1999.83.12.1080>
- Ristaino, J. B. (1990). Intraspecific variation among isolates of *Phytophthora capsici* from pepper and cucurbit fields in North Carolina. *Phytopathology*, 80, 1253–1259. <https://doi.org/10.1094/Phyto-80-1253>
- Rohmah, B., Hadisutrisno, B., Manohara, D., & Priyatmojo, A. (2019). Karakteristik morfologi dan sebaran tipe kawin *Phytophthora capsici* asal lada di Pulau Jawa. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 14(5), 166.  
<https://doi.org/10.14692/jfi.14.5.166>
- Sahid, Z. D., Syukur, M., & Maharijaya, A. (2020). Combining ability and heterotic effects of chili pepper (*Capsicum annum* L.) genotypes for yield components and capsaicin content. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*, 52(4), 390–401.
- Saltos, L. A., Corozo-Quiñones, L., Pacheco-Coello, R., Santos-Ordóñez, E., Monteros-Altamirano, L., & Garcés-Fiallos, F. R. (2020). Tissue specific

- colonization of *Phytophthora capsici* in *Capsicum* spp.: Molecular insights over plant-pathogen interaction. *Phytoparasitica*, 49(1), 113-122. <https://doi.org/10.1007/s12600-020-00864-x>
- Shaner, G. & Finney, R. E. (1977). *The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat*. *Phytopathology*, 67, 1051–1056
- SIAP – Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2023). *Anuario estadístico de la producción agrícola*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. [https://nube.agricultura.gob.mx/cierre\\_agricola/](https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/)
- Siddique, M. I., Lee, H.-Y., Ro, N.-Y., Han, K., Venkatesh, J., Solomon, A. M., Patil, A. S., Changkwian, A., Kwon, J.-K., & Kang, B.-C. (2019). Identifying candidate genes for *Phytophthora capsici* resistance in pepper (*Capsicum annuum*) via genotyping-by-sequencing-based QTL mapping and genome-wide association study. *Scientific Reports*, 9, 9962. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46342-1>
- Smith, B. A., Eudoxie, G., & Saravanakumar, D. (2019). Identification of *Phytophthora capsici* causing collar rot in hot peppers in Trinidad. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 41(1), 129–134. <https://doi.org/10.1080/07060661.2018.1564940>
- Sprague G F, L A Tatum (1942) General vs specific combining ability in single crosses of corn. *J. Amer. Soc. Agron.* 34:923-932.
- Steekelenburg, N. A. M. (1980). *Phytophthora* root rot of sweet pepper. *Netherlands Journal of Plant Pathology*, 86(5), 259-264. <https://doi.org/10.1007/bf01977301>
- Steuernagel B., S. K. Periyannan, I. Hernández-Pinzón, K. Witek, M. N. Rouse, G. Yu, ... and B. B. H. Wulff (2016) Rapid cloning of disease-resistance genes in plants using mutagenesis and sequence capture. *Nature Biotechnology* 34:652-655, <https://doi.org/10.1038/nbt.3543>
- Sy O., R. Steiner and P. W. Bosland. (2008). Recombinant inbred line differential identifies race-specific resistance to *Phytophthora* root rot in *Capsicum*

*annuum*. *Phytopathology* 98:867-870. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-98-8-0867>

- Valeriano R., C., V. A. Velasco V., E. Hernández S. y J. Ruiz L. (2014). Descripción morfológica de las piezas florales del chile de agua (*Capsicum annuum* L.). *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 1(suplemento): 29.
- Vásquez López, A., Tlapal Bolaños, B., Yáñez Morales, M. de J., Pérez Pacheco, R., & Quintos Escalante, M. (2009). Etiología de la marchitez del *chile de agua* (*Capsicum annuum* L.) en Oaxaca, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 32(2), 127–134. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-73802009000200008&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802009000200008&lng=es&tlng=es)
- Van Der Plank, J.E. (1984). *Disease Resistance in Plants*. Second Edition. Academic Press, Inc. Orlando, San Diego, San Francisco, N. Y., London. p. 194
- Villar-Luna, H., Corona-Torres, T., Castillo-González, F., Gómez-Rodríguez, O., Segura-León, O., & Aguilar-Rincón, V. 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. <https://doi.org/10.35196/rfm.2022.2.21>
- Wartono, S. Wiyono, M. Syukur and P. Lestari. (2019). Resistance of *Capsicum annuum* genotypes against various isolates of *Phytophthora capsici* from Java, Indonesia. *Biodiversitas* 20:3723-3730. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d201235>
- Wong, R. R., Gutiérrez, R. E., Palomo, E. G. A., Rodríguez, S., Córdoba, H., Espinoza, A. B. (2007). Aptitud combinatoria de componentes del rendimiento en líneas de maíz para grano en la comarca lagunera, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(2), 181-189.

