



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
INSTITUTO DE HORTICULTURA

RESISTENCIA GENÉTICA AL CARBÓN BLANCO (*Entyloma australe* Speg.) EN TOMATE DE CÁSCARA (*Physalis spp.*)

TESIS

**Que como requisito parcial para obtener el grado de:
DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA**

Presenta:

MONCAYO PÉREZ CRISTHYAN DAVID

Bajo la supervisión de:

Dr. Aureliano Peña Lomelí



Chapingo, Estado de México, junio de 2020.

RESISTENCIA GENÉTICA AL CARBÓN BLANCO (*Entyloma australe* Speg.) EN TOMATE DE CÁSCARA (*Physalis spp.*)

Tesis realizada por MONCAYO PÉREZ CRISTHYAN DAVID bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIA EN HORTICULTURA

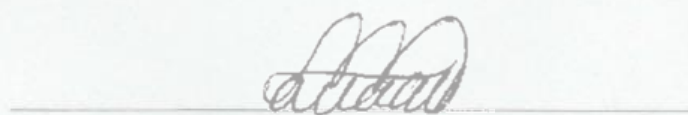
Director


Dr. Aureliano Peña Lomeli

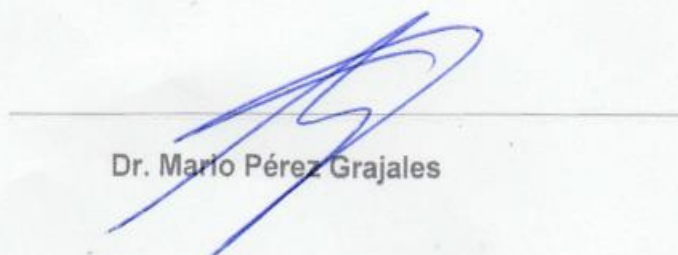
Co-Director


Dr. Santos Gerardo Leyva Mir

Asesor


Dr. Jaime Sahagún Castellanos

Asesor


Dr. Mario Pérez Grajales

Lector externo


Dr. Moisés Camacho Tapia

CONTENIDO

CONTENIDO	ii
ÍNDICE DE CUADROS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
DEDICATORIA.....	viii
DATOS BIBLIOGRÁFICOS	ix
RESUMEN GENERAL	x
GENERAL ABSTRACT.....	xi
CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1. <i>Objetivo general</i>	3
1.2. <i>Objetivos particulares</i>	3
1.3. <i>Hipótesis</i>	3
CAPITULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. <i>Generalidades del cultivo</i>	4
2.1.1. Origen	4
2.1.2. Importancia económica	4
2.2. <i>Características botánicas y agronómicas del género <i>Physalis</i></i>	5
2.2.1. Taxonomía	5
2.2.2. Fisiología	6
2.2.3. Morfología	7
2.2.4. Aspectos fitosanitarios	8
2.2.5. Plagas	8
2.2.6. Enfermedades	9
2.3. <i>Generalidades de <i>Entyloma</i> sp.</i>	9
2.3.1. <i>Entyloma browalliae</i> Sydow	10
2.3.2. <i>Entyloma nierenbergiae</i> Lagerheim	10
2.3.3. <i>Entyloma petuniae</i> Speg.	10
2.4. <i><i>Entyloma australe</i> Speg.</i>	11
2.4.1. Taxonomía	11
2.4.2. Síntomas	12
2.4.3. Morfología	12
2.5. BIBLIOGRAFÍA	13
CAPITULO 3. RESISTENCIA AL CARBÓN BLANCO (<i>Entyloma australe</i> Speg.) EN GERMOPLASMA DE TOMATE DE CÁSCARA (<i>Physalis spp.</i>)¹.....	17
RESUMEN.....	17
ABSTRACT	18

3.1. INTRODUCCIÓN.....	19
3.2. MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
3.3.1. Sintomatología	25
3.3.2. Análisis de varianza.....	25
3.3.3. Pruebas de comparación de medias del primer ciclo de cultivo	26
3.3.4. Pruebas de comparación de medias para el segundo ciclo de evaluación	28
3.4. CONCLUSIONES.....	29
3.5. BIBLIOGRAFÍA.....	30
CAPÍTULO 4. IDENTIFICACIÓN MORFOLÓGICA DE <i>Entyloma spp.</i> CAUSANTE DEL CARBÓN BLANCO EN <i>Physalis spp</i>¹.....	40
RESUMEN.....	40
ABSTRACT	41
4.1. INTRODUCCIÓN.....	42
4.2. MATERIALES Y MÉTODOS	44
4.2.1. Sitio de estudio y muestreo	44
4.2.2. Colecta de material	44
4.2.3. Aislamiento.....	44
4.2.4. Caracterización morfológica.....	45
4.2.5. Pruebas de patogenicidad.....	45
4.2.6. Material vegetal	45
4.2.7. Inoculación artificial	46
4.2.8 Incidencia después de la inoculación	47
4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
4.3.1. Inoculación artificial	47
4.3.2 Incidencia después de la inoculación	48
4.3.3. Caracterización morfológica.....	49
4.4. CONCLUSIONES.....	53
4.5. BIBLIOGRAFÍA.....	54

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Relación de poblaciones de <i>Physalis spp.</i> Evaluadas.....	35
Cuadro 2. Escala ordinal para medir la severidad del ataque de “carbón blanco” (<i>Entyloma australe</i> Speg.) en 24 materiales de tomate de cáscara (<i>Physalis spp.</i>).....	35
Cuadro 3. Análisis de varianza del primer ciclo de nueve variables medidas en 24 poblaciones de tomate de cáscara (<i>Physalis spp.</i>) de acuerdo al comportamiento en presencia de <i>Entyloma australe</i> Speg.....	36
Cuadro 4. Análisis de varianza del segundo ciclo de dos variables medidas en 24 poblaciones de tomate de cáscara (<i>Physalis spp.</i>) de acuerdo al comportamiento en presencia de <i>Entyloma australe</i> Speg.....	36
Cuadro 5. Comparación de medias del primer ciclo de cuatro variables medidas en 24 poblaciones de tomate de cáscara (<i>Physalis spp.</i>) de acuerdo al comportamiento en presencia de <i>Entyloma australe</i> Speg.....	37
Cuadro 6. Comparación de medias del primer ciclo de cinco variables medidas en 24 poblaciones de tomate de cáscara (<i>Physalis spp.</i>) de acuerdo al comportamiento en presencia de <i>Entyloma australe</i> Speg.....	38
Cuadro 7. Comparación de medias del segundo ciclo de dos variables medidas en 24 poblaciones de tomate de cáscara (<i>Physalis spp.</i>) de acuerdo al comportamiento en presencia de <i>Entyloma australe</i> Speg.....	39
Cuadro 8. Relación de poblaciones de <i>Physalis spp.</i> Evaluadas.....	46
Cuadro 9. Comparación de medias para la variable incidencia medida en 24 poblaciones de tomate de cáscara (<i>Physalis spp.</i>) posterior a la inoculación con <i>Entyloma australe</i> Speg.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Caracterización morfológica de <i>Entyloma australe</i> Speg. A) Soros presentes en área foliar de <i>Physalis spp.</i> B) Sintomatología en haz. C) Sintomatología en envés.....	51
Figura 2. Caracterización morfológica de <i>Entyloma australe</i> Speg. observado a microscopio. A) Observación de grupo de esporas formadas dentro del tejido del huésped. B) Esporas redondas de pared simple. C) Esporas redondas de pared doble.....	51
Figura 3. Germinación de espora de <i>Entyloma australe</i> Speg. A y B) Observación de conidios formando conidióforos.....	52

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)**, por haberme otorgado la beca que hizo posible lograr un grado más en mi formación académica.

A la **Universidad Autónoma Chapingo**, especialmente al Instituto de Horticultura del Departamento de Fitotecnia, por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de Posgrado.

A mi comité asesor **Dr. Aureliano Peña Lomelí, Dr. Santos Gerardo Leyva Mir, Dr. Jaime Sahagún Castellanos y Dr. Mario Pérez Grajales** del Departamento de Fitotecnia y Parasitología Agrícola por su asesoría, correcciones y contribuciones para realizar esta investigación.

Al **Dr. José Oscar Mascorro Gallardo**, coordinador del Posgrado en Horticultura por su disposición y ayuda brindada para la mejora del presente trabajo.

Especial agradecimiento al personal técnico del Programa de Mejoramiento Genético de Tomate de Cáscara (César Ayala Monsalvo), del Laboratorio de Fitopatología (Marianita y Juanito) por su amabilidad y disposición para conmigo en las etapas de este trabajo.

Al Dr. Moisés Camacho Tapia, la Dra. Leticia Robles Yerena y al Dr. Natanael Magaña Lira por su asesoría y apoyo en la parte Molecular, morfológica y estadística de este trabajo.

DEDICATORIA

A Dios:

Por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mis padres:

Por su esfuerzo al concederme la oportunidad de estudiar y por su constante apoyo a lo largo de mi vida.

A mis hermanos:

Por creer en mí, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ustedes hoy puedo ver alcanzada mi meta ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos cruciales de mi vida y mi carrera, y porque la fe que tienen en mí fue lo que me hizo llegar a este punto del camino.

A mis amigos:

El desarrollo de esta tesis no lo puedo catalogar como algo fácil, pero lo que sí puedo afirmar es que durante todo este tiempo pude disfrutar de cada momento fuera malo o bueno, y no fue simplemente porque así me dispuse que fuera, fue porque mis amigos estuvieron ahí. Así que agradezco la amistad de mis compañeros de generación y de mis más cercanos aliados, Monse, Ismael, Plácido, Natanael, Cesar, Gustavo y Carlos.

DATOS BIBLIOGRÁFICOS

Cristhyan David Moncayo Pérez nació el 09 de noviembre de 1989 en la Delegación Iztapalapa, Ciudad de México. Realizó sus estudios de licenciatura en el Departamento de Parasitología Agrícola en la Universidad Autónoma Chapingo, generación 2008-2012.

Participó en el proyecto “APOYO AL PROYECTO VIABILIDAD GENÉTICA, EPIDEMIOLOGÍA Y MANEJO INTEGRADO DE *Micosphaerella fijiensis*”.

Estancia pre-profesional realizada en la empresa Químicos y Lubricantes S.A., perteneciente al grupo corporativo DISAGRO en la sede de la Ciudad de Estelí, Nicaragua.

- Impartición de charlas técnicas sobre hongos fitopatógenos en Estelí, Nicaragua.
- Establecimiento de parcelas de investigación en Estelí, Nicaragua.
- Visita a campo en zonas productoras de tabaco en Estelí, Nicaragua.
- Capacitaciones técnicas en manejo de hongos fitopatógenos en Estelí, Nicaragua.

En enero de 2014 ingresó a la Maestría en Ciencias en Horticultura en el Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo.

En 2015 presentó la tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura titulada: CONTROL QUÍMICO DEL CARBÓN BLANCO (*Entyloma australe* Speg.) EN TOMATE DE CÁSCARA (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) para obtener el grado de Maestro en Ciencias.

En enero de 2016 ingresó al Doctorado en Ciencias en Horticultura en el Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo.

RESUMEN GENERAL

RESISTENCIA GENÉTICA AL CARBÓN BLANCO (*Entyloma australe* Speg.) EN TOMATE DE CÁSCARA (*Physalis spp.*)¹

GENETIC RESISTENCE TO WHITE SMUT (*Entyloma australe* Speg.) IN HUSK TOMATO (*Physalis spp.*)

RESUMEN

El tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) es una especie originaria de México, que pertenece a la familia Solanaceae, y al igual que la mayoría de las plantas cultivadas, es atacada por una gran diversidad de patógenos, lo cual generalmente produce grandes pérdidas. El carbón blanco es uno de los principales problemas, el cual no ha sido controlado satisfactoriamente, y al interactuar con otros patógenos, o bien atacando solo, reduce considerablemente el rendimiento. Dicha enfermedad se presenta ciclo tras ciclo, aumentando cada vez más su incidencia y, por lo tanto, causando mayores daños debido a que su control no es satisfactorio, como consecuencia del desconocimiento cabal del agente causal. Una propuesta viable para su manejo es el mejoramiento genético. En la presente investigación se plantearon como objetivos identificar al agente causal del carbón blanco en la zona de Chapingo, México, y consecutivamente detectar posibles fuentes de resistencia a *Entyloma spp.* en *Physalis spp.* Se evaluaron 24 poblaciones de tomate de cáscara del Banco Nacional de Germoplasma de la Universidad Autónoma Chapingo. Cada población fue inoculada con el hongo. Después de realizar las pruebas de patogenicidad, las características morfológicas del patógeno permitieron identificar a *Entyloma australe* Speg. como el agente causal del carbón blanco. Se concluyó, además, que las accesiones 26 (48 BNGEN) y 64 (147 BNGEN) toleraron el ataque del patógeno en estudio. Por esta razón son de alto valor para un programa de mejoramiento genético dirigido a resistencia de enfermedades. Las poblaciones 202 (Zafiro MSM) y 12 (JAL 103) pueden ser usadas para afinar la técnica de inoculación del hongo y estudiar la resistencia genética del cultivo.

Palabras clave: *Entyloma australe* Speg., *Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm., resistencia, caracterización morfológica, accesión.

¹Tesis de Doctorado en Ciencias en Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo.
Autor: M.C. Cristhyan David Moncayo Pérez.
Director de la tesis: Dr. Aureliano Peña Lomelí.

GENERAL ABSTRACT

GENETIC RESISTENCE TO WHITE SMUT (*Entyloma australe* Speg.) IN HUSK TOMATO (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.)¹

ABSTRACT

The husk tomato (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) is a species native to Mexico, that belongs to the Solanaceae family, and like most cultivated plants, it is attacked by a great diversity of pathogens, which generally derive in large losses. White smut is one of the main problems, which has not been satisfactorily controlled, and when interacting with other pathogens or attacking alone, it considerably reduces fruit yield. This disease occurs cycle after cycle, increasing its incidence more and more, therefore, causing greater damage because its control is not satisfactory, as a consequence of lack of knowledge about the causal agent. A viable proposal for its management is genetic improvement. The aims of the present research were to identify the causative agent of the white smut in the Chapingo, Mexico area, and consecutively to detect possible sources of resistance to *Entyloma* spp. in *Physalis* spp. Twenty four populations of husk tomato from the National Germplasm Bank of the Universidad Autónoma Chapingo were evaluated. Each population was inoculated with the fungus. After carrying out the pathogenicity tests, the morphological characteristics of the pathogen allowed to identify *Entyloma australe* Speg. as the causal agent of white smut. It was also concluded that accessions 26 (48 BNGEN) and 64 (147 BNGEN) were tolerant to the attack of the studied pathogen. These accessions are highly valuable for a genetic improvement program aimed at disease resistance. Populations 202 (Zafiro MSM) and 12 (JAL 103) can be used to refine the fungus inoculation technique and study the genetic resistance of crop.

Key words: *Entyloma australe* Speg., *Physalis ixocarpa* Brot ex Horm., resistance., morphological characterization, accession.

¹ Thesis, Ph.D. in Horticultural Sciences, Universidad Autónoma Chapingo.
Author: Cristhyan David Moncayo Pérez.
Advisor: Dr. Aureliano Peña Lomelí.

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

En la horticultura los cultivos destinados al consumo nacional son importantes para la alimentación de los mexicanos. Entre estos, el tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) es de los principales, pues forma parte de muchos platillos regionales de gran consumo. Es considerado desde el siglo XX como un cultivo de minifundio en México, es asociado a las culturas prehispánicas y a platillos típicos regionales de la cocina nacional. Su aprovechamiento data de los tiempos de la cultura Maya y más reciente de los Aztecas, donde ya constituía parte integral de la dieta de aquellos pueblos junto con el maíz (*Zea mays* L.), el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y el chile (*Capsicum annum* L.); dicha especie es originaria de México y se encuentra de forma silvestre desde Centroamérica hasta los Estados Unidos de América (Santiaguillo et al., 2012).

Las especies de *Physalis spp.* se distribuyen en toda la República Mexicana, en una gran diversidad de ambientes, por lo que se les puede encontrar desde el nivel del mar hasta los 3570 msnm. No obstante, la mayoría de las especies prevalecen en estado silvestre y al menos 19 se recolectan en varios estados de México (Santiaguillo et al., 2012).

Su uso es principalmente alimenticio, aunque también se le conocen propiedades alternativas como la medicinal, la ornamental y la nutracéutica (Santiaguillo et al., 2012). En la actualidad, el tomate de cáscara se ubica entre las principales cinco especies hortícolas cultivadas en México, solamente superada por el chile, la papa (*Solanum tuberosum* L.), el jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) y la cebolla (*Allium cepa* L.). La superficie nacional dedicada a este cultivo es de 43,505 ha⁻¹ con un rendimiento promedio aproximado de 19.2 t ha⁻¹ (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2018), aunque diversas investigaciones reportan que el potencial de las mejores semillas seleccionadas puede alcanzar las 45 t ha⁻¹ (Peña-Lomelí, Ponce-Valerio, Sánchez-del-Castillo, & Magaña-Lira, 2014.).

El tomate de cáscara, como la mayoría de las plantas cultivadas, es atacado por una gran diversidad de patógenos, los cuales generalmente originan grandes pérdidas. Los principales patógenos presentes son los virus y los hongos. Algunos ya han sido identificados pero otros aún no se conocen totalmente, aunque ocasionan serios daños. Tal es el caso del organismo causante de la enfermedad conocida por los agricultores como “Carbón blanco” u “Ojo de rana”, el cual no ha sido controlado satisfactoriamente y al interactuar con otros patógenos, o bien atacando solo, reduce considerablemente el rendimiento (Ayala, 2008). Dicha enfermedad se presenta ciclo tras ciclo, aumentando cada vez más su incidencia y, por lo tanto, causa más daños debido a que su control no es satisfactorio como consecuencia del desconocimiento cabal del agente causal (Piña & Ponce, 1990). Esto frecuentemente da lugar a mayores costos de producción, contaminación ambiental e incremento en la resistencia del hongo a los diversos productos químicos que ofrece el mercado, así como riesgos en la salud humana (León & Arosamena, 1980).

El uso de cultivares resistentes es el método más sencillo, barato, efectivo y seguro para el control de las enfermedades. Sin embargo, esta estrategia de control requiere encontrar variedades de plantas cultivadas capaces de evitar los daños causados por dichas enfermedades. La importancia de las variedades resistentes es reconocida universalmente, pues el éxito o fracaso de un cultivo depende frecuentemente de la reacción que tenga éste frente a un patógeno determinado (Fernández, 2001).

Respecto al control genético, nulos son los cultivares de tomate de cáscara registrados con resistencia a este patógeno, por lo que es importante evaluar el comportamiento en campo del germoplasma resguardado *ex situ*, pues es una fuente potencial de genes de resistencia a fitopatógenos (Peña et al., 2007 & Peña et al., 2014).

Con base en lo anterior, se planteó el presente trabajo de investigación con los objetivos e hipótesis que a continuación se describen.

1.1. Objetivo general

Identificar poblaciones del género *Physalis* spp. con resistencia o tolerancia a *Entyloma australe* Speg.

1.2. Objetivos particulares

Identificar morfológicamente aislamientos patogénicos del género *Entyloma* en germoplasma del género *Physalis* en Chapingo, México.

Determinar la patogenicidad de aislamientos del género *Entyloma* en germoplasma del género *Physalis*.

Evaluar la susceptibilidad a *Entyloma australe* Speg. en variedades mejoradas y accesiones del género *Physalis*.

1.3. Hipótesis

Las variedades estudiadas son igualmente susceptibles a *Entyloma australe* Speg, pero difieren en su rendimiento.

Se obtendrá tolerancia a *Entyloma australe* Speg en al menos una accesión o variedad mejorada del género *Physalis*.

CAPITULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades del cultivo

2.1.1. Origen

El tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) es una especie botánica perteneciente a la familia de las solanáceas. Es conocido también con una infinidad de nombres coloquiales. Entre los más conocidos se encuentran, tomate de cáscara, tomate de fresadilla, tomate milpero, tomate verde, tomatillo (México); miltomate, (México, Guatemala); inglés: husk tomato (Montes & Aguirre, 1992).

El tomate se considera originario del continente Americano. El género *Physalis* spp. está confinado principalmente a las zonas templadas de América, con unas cuantas especies en el este de Asia, India, Australia, Europa y África tropical. Las especies de *Physalis* que se cultivan para aprovechar sus frutos son principalmente: *P. peruviana* en Colombia, Perú, Haití, Costa Rica, algunas partes de Australia, Sur de África, India y Nueva Zelanda y *P. ixocarpa* en México y Centro América. Otras especies se presentan como malezas en los cultivos o son utilizadas como plantas de ornato (Santiaguillo et al., 2012).

México presenta una gran diversidad genética de *Physalis* y es centro de origen y diversificación del tomate de cáscara, especie que se encuentra ampliamente distribuida en el país y cuya mayor concentración se encuentra en el Centro Occidente (Santiaguillo et al., 2010).

2.1.2. Importancia económica

En los últimos años las hortalizas han cobrado un auge sorprendente desde el punto de vista de la superficie sembrada, así como en el aspecto social debido a

la gran demanda de mano de obra y a la captación de divisas que se generan (López, 2009).

La superficie cosechada de tomate de cáscara ha aumentado desde 1932. Este cultivo adquirió importancia en los setenta y desde los ochenta se exporta en fresco o industrializado a los Estados Unidos de América. (Peña et al., 2007). Esta hortaliza ha adquirido mayor relevancia en los últimos años debido a su fácil manejo, la alta demanda, su bajo costo de producción y a la intensificación de la tecnología de producción.

En la actualidad, el tomate de cáscara se ubica entre las principales cinco especies hortícolas cultivadas en México, solamente superada por el chile (*Capsicum annuum* L.), la papa (*Solanum tuberosum* L.), el jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) y la cebolla (*Allium cepa* L.) La superficie nacional dedicada a este cultivo es de 43,505 ha⁻¹ con un rendimiento promedio aproximado de 19.2 t ha⁻¹ (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2018), aunque diversas investigaciones reportan que el potencial de las mejores semillas seleccionadas puede alcanzar las 45 t ha⁻¹ (Peña-Lomelí, Ponce-Valerio, Sánchez-del-Castillo, & Magaña-Lira, 2014.).

2.2. Características botánicas y agronómicas del género *Physalis*

2.2.1. Taxonomía

El tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) pertenece a la familia Solanaceae y subfamilia Solanoideae, tribu Solaneae, que contiene 18 géneros. Dentro del género *Physalis* se ha estimado que existen alrededor de 80 especies, confinadas en su gran mayoría en zonas templadas y tropicales de América y muy pocas especies en el este de Asia, India, Australia, Europa y África tropical. De todas las especie de este género, aproximadamente 70 se encuentran en México (Santiaguillo et al., 2010).

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae

Género: *Physalis*

Especie: *spp.*

2.2.2. Fisiología

Las plantas de tomate tienen un ciclo de vida de 70 a 110 días desde la germinación hasta la senescencia. El crecimiento al principio es lento, aproximadamente de 1 cm por día, a los 24 días el crecimiento se acelera en forma considerable, es más rápido a los 56 días y se estabiliza a los 70 días. El crecimiento continúa de forma más lenta hasta que comienzan a notarse síntomas de senescencia y la planta envejece rápidamente (Saray & Loya, 1977; Mulato, 1984; Verdejo, 1987).

Los entrenudos de las plantas alcanzan diferentes longitudes en las distintas etapas de su desarrollo, lo que da origen a cinco zonas: tallo no ramificado, zona inicial, zona media, zona de transición y zona terminal (Mulato, 1984; Serrano, 1998).

La diferenciación de las primeras yemas florales se lleva a cabo entre los 17 y 20 días posteriores a la siembra. Las flores se ubican en cada bifurcación de la planta, acompañadas de una hoja. La aparición de las primeras flores ocurre entre los 28 y 35 días. A los 55 días llega a presentar más de 100 flores. El número de flores es un carácter determinado genéticamente (Santiaguillo et al., 2005).

Las flores abren antes que ocurra la dehiscencia de las anteras entre las ocho y doce horas del día. Las anteras no abren uniformemente, sino que pasan de dos a cuatro días entre la dehiscencia de la primera y la quinta antera. Después de que las anteras han liberado el polen, la estructuras florales se encorvan y comienzan a marchitar hasta que finalmente caen (Verdejo, 1987; Pérez et al., 1998).

Posterior a la fecundación, el cáliz comienza a elongarse y envolver al ovario que crece en su interior. Inicialmente el crecimiento del cáliz es más acelerado que el del ovario, aunque con frecuencia el fruto termina por llenar y, en la mayoría de las variedades cultivadas, romper la bolsa formada por el cáliz desarrollado, de tal manera que parte del fruto queda expuesta (Saray & Loya, 1977).

2.2.3. Morfología

Es una planta herbácea, anual, de 40 a 120 cm de altura o más, dependiendo de los hábitos de crecimiento. Raíz. Típica, columnar, presenta ramificaciones profundas que pueden alcanzar hasta 60 cm o más. En el sistema de plantación sufre una modificación, transformándose en fibrosa y de poca penetración en el suelo (Peña & Márquez, 1990).

Tallo. Es herbáceo, y según su hábito de crecimiento su altura varia de 0.4 a 0.9 m (Maguchi, 1993), aunque puede llegar a medir de 1.1 a 1.3 m con ramificación dicotómica en las primeras fases de desarrollo. Tanto en hojas como en ramas se presentan pubescencia que va desapareciendo a medida que la planta crece (Saray & Loya, 1977).

Hojas. Son compuestas, erectas, alterna y lisas de consistencia blanda de forma ovalada, de 5 a 10 cm de largo por 4 a 6 cm de ancho; base atenuada, ápice agudo, con márgenes irregulares dentados, pero por lo general presenta seis

dientes por cada lado, con peciolo de 4 a 6.5 cm de largo (Peña & Márquez, 1990).

Flores. Son hermafroditas, pequeñas y aparecen solitarias en las axilas de las hojas o en la parte terminal de las ramas; el cáliz es persistente con los sépalos parcialmente soldados, de color verde (Peña & Márquez, 1990).

Fruto. Baya amarilla o verdusca, esférica u ovoide; de tamaño variable de 1 a 6 cm de diámetro; de sabor ácido o dulce. El cáliz mide de 1.8 a 4.3 cm de largo por 2.5 a 6 cm de ancho, con costillas que en algunos casos son de color morado, pero en general son del mismo color del fruto; los peciolos miden de 0.6 a 1.0 cm de largo (Peña & Márquez, 1990).

2.2.4. Aspectos fitosanitarios

La producción de tomate de cáscara es afectada por diversas plagas y enfermedades, las cuales disminuyen la calidad del fruto y rendimiento, elevan los costos de producción y limitan su rentabilidad (Apodaca-Sánchez et al., 2008).

2.2.5. Plagas

Entre las principales plagas del tomate de cáscara se encuentran el pulgón (*Myzus persicae* Sulzer), picudo (*Trichobaris championi* Barber), barrenador del tallo o arrocillo (*Melanagromyza tomaterae* Steyskal), gusano del fruto (*Heliothis subflexa* Genée y *Helicoverpa zea* Buddie), minador (*Liriomiza* sp.), pulga saltona (*Epitrix cucumeris* Harris), trozadores (*Feltia* spp. y *Agrotis* spp.), mosquitas blancas (*Trialeurodes vaporariorum* Westwood, *Bemisia tabaci* Geenadius), salerillo (*Bactericera* (=Paratrioza) *cockerelli* Sulzer), frailecillo (*Microdactylus mexicanus* Burmeister), diabrotica o doradilla (*Diabrotica undecimpunctata howardi* Barber), acalimas (*Acalymma* sp., *Acalymma trivittatum* Mannerheim) y

catarinita (*Lema trilineata daturaphila* Kogan y Goeden) (Apodaca-Sánchez et al. 2008).

2.2.6. Enfermedades

Las enfermedades han sido una limitante común en la producción agrícola, problema que ha sido objeto de atención desde hace muchos milenios. En la actualidad el estudio de las enfermedades en las plantas y su manejo sigue siendo de importancia fundamental para mantener y mejorar el suministro de alimentos. En los cultivos hortícolas, y en especial en el tomate de cáscara, es más difícil producir en monocultivo, debido a varios factores, bióticos y abióticos, que afectan a la planta. Entre los factores bióticos, las enfermedades causadas por virus y hongos han adquirido mayor importancia en los últimos años en este cultivo, puesto que son capaces de ocasionar pérdidas de hasta un 70 % de la producción si no se controlan a tiempo; aunque son controlables, son un problema muy serio para los productores, debido a la gran cantidad de dinero que se invierte para su control, que de no realizarse a tiempo origina fuertes pérdidas en el cultivo (Piña & Ponce, 1990).

Las enfermedades fungosas que se presentan con frecuencia son tizón foliar (*Alternaria solani*), moho gris (*Botrytis cinérea* Pers.), moho blanco o pudrición blanca (*Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) Sacc.), mancha de la hoja (*Cercospora physalidis* Ellis), cenicilla (*Oidium* sp.), carbón del tomate (*Entyloma australe* Speg.) y marchitez (*Fusarium oxysporum* Schlecht) (Mendoza, 1996).

2.3. Generalidades de *Entyloma* sp.

El género *Entyloma* es el más extenso de la familia Tilletiaceae en cuanto el número de especies, pues de acuerdo a Hirschhorn (1986) contiene 151 especies descritas. No obstante, Zundel (1953) describe a 175 especies del mismo género. Streets (1979) señala que *Entyloma* sp. es un carbón foliar de plantas de hoja

ancha, particularmente hortalizas. Sin embargo, cada especie de este género, por lo general, se confina a hospedantes de una sola familia botánica, o bien, muchas veces a una sola especie de esta familia, característica sumamente útil para su correcta y rápida identificación.

De acuerdo a Fischer (1953), Fischer & Holton (1957), Zundel (1953) y Hirschhorn (1986), las especies que parasitan a los miembros de la familia Solanaceae son *Entyloma browalliae* Sydow., *Entyloma nierenbergiae* Lager., *Entyloma petuniae* Speg. y *Entyloma australe* Speg.

2.3.1. *Entyloma browalliae* Sydow

Zundel (1953) reporta que esta especie ataca a *Browallia demissa* L., en Costa Rica. Se manifiesta en forma de manchas circulares amarillentas a cafés, las cuales miden de 2 a 4 mm de diámetro. Las esporas son globosas, o subglobosas, algunas veces angulares, lisas, de color amarillento y miden de 10 a 12 μ de diámetro. La exospora es uniforme y con 2 a 3 μ de grosor.

2.3.2. *Entyloma nierenbergiae* Lagerheim

Este patógeno ataca a *Nierenbergia apanthalata* H.B. y K. y a *Nierenbergia repens* Ruíz y Pav., en Ecuador. Este carbón forma manchas circulares de color pálido. Esta característica la presenta tanto en plantas adultas como en plántulas de *Nierenbergia*. Las esporas son globosas, pero la mayoría son angulosas, de color blanquecino a amarillento, con diámetro de 9 a 12 μ (Zundel, 1953).

2.3.3. *Entyloma petuniae* Speg.

Según Zundel (1953) y Hirschhorn (1986) este carbón ataca *Petunia nyctaginiflora* Juss., *Petunia violacea* Lindl. y *Petunia axillaris* (Lam) B. S. P., en Argentina. Ocasiona manchas blancas irregulares o redondas, dispersas o unidas, que

miden de 0.5 a 3.0 cm de diámetro, donde se encuentran soros de color blanco-amarillentos. Las esporas se parecen a las de las especies anteriores, solo que estas son elipsoidales, brillantes, de color café violáceo y con un diámetro de 10 a 13 μ . Las exosporas tienen aproximadamente de 1 a 1.5 μ de grosor (Zundel, 1953).

2.4. *Entyloma australe* Speg.

La enfermedad detectada y denominada comúnmente por los agricultores como “Ojo de Rana” o “Carbón Blanco” (*Entyloma australe* Speg) se reportó por primera vez en Luvianos y Villa Guerrero, Méx., por Piña y Ponce (1990), cuyo nombre se debe a la apariencia de los síntomas que ocasiona en la planta.

Esta enfermedad se caracteriza por producir manchas café amarillentas, más o menos circulares y un poco levantadas en el envés, que dan la apariencia de ampollas (Romero, 1988).

2.4.1. Taxonomía

Reino: Fungi

División: Basidiomycota

Subdivisión: Ustilaginomycotina

Clase: Exobasidiomycetes

Orden: Entylomatales

Familia: Entylomataceae

Género: *Entyloma*

Especie: *Entyloma australe* Speg.

2.4.2. Síntomas

De acuerdo a Fischer (1953) el género *Entyloma* spp. se caracteriza por soros en la hojas y peciolo, rara vez en la inflorescencia, que forman manchas conspicuas de color blanquecino, irregulares, pero por lo general de circulares a elípticas y en algunas especies con conidios sobre la superficie. Las esporas son unicelulares, usualmente lisas y más o menos globosas, de hialinas a verde-pálido, amarillentas a cafés, rara vez oscuras. Aunque las esporas se producen individualmente y se separan al madurar, en ocasiones permanecen unidas por una cubierta hialina y gelatinosa, formando grupos irregulares de dos o más. Zundel (1953) reporta que las especies de este género forman soros dentro del tejido, que por lo general se encuentran en manchas blanquecinas no muy deformes. Las esporas son producidas terminal o intercaladamente por un micelio fuerte que se separa a la maduración, aunque algunas veces las esporas quedan adheridas soportando la presión que ejerce mutuamente.

2.4.3. Morfología

Zundel (1953) y Holliday (1980) coinciden en que las esporas al germinar producen un promicelio corto, el cual origina terminalmente un grupo de esporidias secundarias o conidios que son las unidades infectivas. Los conidios son hialinos, elongados, en su mayor parte del tipo *Protomyces microsporus* Ung. Estos se forman en el mismo lugar donde germinan las esporas y salen al exterior a través de los estomas.

Debido a las características de las esporidias, Streets (1979) señala que este patógeno se puede confundir con un hongo imperfecto. A diferencia de Streets (1979), Holliday (1980) indica que las especies de *Entyloma* también pueden atacar algunas veces a los tallos.

2.5. BIBLIOGRAFÍA

- Apodaca-Sánchez, M. A., Barreras-Soto, M. A., Cortez-Mondaca, E., & Quintero-Benítez, J. A. (2008). *Enfermedades del tomate de cáscara en Sinaloa*. Los Mochis, Sinaloa, México: CIRNO-INIFAP. Obtenido de <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/handle/123456789/1641>
- Ayala B. M.F. (2008). *Manejo Integrado de Moniliasis (Moniliophthora roreri) en el Cultivo de Cacao (Theobroma cacao L) Mediante el Uso de Fungicidas, Combinado con Labores Culturales*. Escuela Superior Politécnica de Litoral. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. Guayaquil, Ecuador. 115 p.
- Fischer, W. G. (1953). *Manual of North American smut fungi*. New York. N.Y: The Ronal Press Company. 343 p.
- Fischer, W. G. & C. S. Holton. (1957). *Biology and control of the smut fungi*. New York. N.Y: The Ronal Press Company. 622 p.
- Fernández-Valiela, M. M. (2001). *Introducción a la Fitopatología*. INTA. Buenos Aires, Argentina. 518 p.
- Hirschhorn, E. (1986). *Las Ustilaginales de la flora argentina*. Pub. Especial. Comisión de Investigaciones Científicas. Prov. de Buenos Aires la Plata, Arg. 530 p.
- Holliday, P. (1980). *Fungus diseases of tropical crops*. New York, N.Y: Cambridge University Press. 572 p.

- León, G. H. M. & Arosamena, D. M. (1980). *El Cultivo del Tomate para Consumo Fresco en el Valle de Culiacán*. CIAPAN. INIA–SARH. Libros Técnicos. Culiacán, Sinaloa, México. 12 p
- López, R. (2009). *Producción de tomate de cáscara (Physalis ixocarpa Brot.) basado en láminas de riego y acolchado plástico*. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15 (1): 83-89.
- Maguchi, M. Y. (1993). *World Vegetables*. Avi Punlishing Company, INC. Westport, Connecticut. E. U. A. 307 p.
- Mendoza Z., C. (1996). *Enfermedades fungosas de hortalizas*. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Parasitología Agrícola. Chapingo, Estado de México pp: 65-80.
- Montes, H. S. & Aguirre, J. R. (1992). *Tomate de cáscara (Physalis philadelphica)*. In: Hernández, B. J. y León, J. (Eds.). *Cultivos marginados, otra perspectiva de 1942*. Colección FAO. *Producción y protección vegetal No 26*. Roma, Italia pp. 71 – 75.
- Mulato, B. J. (1984). *Desarrollo y fenología del tomate de cáscara (Physalis ixocarpa Brot.) variedad Rendidora en la región de Zacatepec, Morelos*. II Dinámica del desarrollo en base a los muestreos en pie e investigación del sistema radical. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 116 p.
- Peña-Lomelí, A., Ponce-Valerio, J. J., Sánchez-del-Castillo, F., & Magaña-Lira, N. (2014). *Desempeño agronómico de variedades de tomate de cáscara en invernadero y campo abierto*. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37 (4), 381-391. Obtenido de <https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/37-4/9a.pdf>

- Piña, A. C., & Ponce, G. F. (1990). *Etiología y control del carbón del tomate de cáscara (Physalis ixocarpa) en Luvianos y Villa Guerrero, México. Revista Chapingo*, 15 (67-68), 22-25.
- Peña, L. A., Santiaguillo, H. J. F., & Magaña, L. N. (2007). Recursos y mejoramiento genético de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). In: Bautista, N., & Chavarín, C. (Eds.), *Producción de tomate de cáscara* (pp: 31-71). México: Colegio de Postgraduados
- Pérez, G. M., Márquez, S. F., & Peña, L. A. (1998). *Mejoramiento Genético de Hortalizas*. Mundi-Prensa México. México, D.F. 380 p.
- Peña, L. A., & Márquez, S. F. (1990). *Mejoramiento genético de tomate de cáscara (Physalis ixocarpa Brot.) Revista Chapingo*, 15 (71-72), 84-88.
- Romero, C. S. (1988). *Hongos Fitopatógenos*. Chapingo, México: Universidad Autónoma Chapingo. 347 p.
- Santiaguillo-Hernández, J. F., Vargas-Ponce, O., Grimaldo k-Juárez, O., Magaña-Lira, N., Caro-Velarde, F., Peña-Lomelí, A., & Sánchez-Martínez, S. (2012). *Diagnóstico del tomate de cáscara. México: Universidad Autónoma Chapingo*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/283492117_Diagnostico_del_Tomate_de_Cascara
- Santiaguillo-Hernández, J. F., Cedillo-Portugal, E., & Cuevas-Sánchez, J. A. (2010). *Distribución geográfica del Physalis spp. en México*. México: UACH-Prometeo Editores. 245 p.

- Santiaguillo, H. J. F., Cervantes, T. S., Peña, L. A., Sahagún, C. J., & Molina, J. D. (2005). *Polinización controlada en tomate de cáscara (Physalis ixocarpa Brot.)*. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 11 (1): 65-69.
- Saray, M. C. R., & Loya, R. (1977). *El cultivo de tomate de cáscara en el estado de Morelos*. INIA-CIAMEC. Circular Núm. 57. Chapingo, México. 24 p.
- Serrano, A. A. D. (1998). *Determinación del intervalo óptimo de cosecha y descripción fenológica de tomate de cáscara (Physalis ixocarpa Brot.) tipo salamanca*. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 54 p.
- Streets, B. R. (1979). *Diagnosis of diseases*. The University of Arizona Press. 258 p.
- Valtierra, P. E., & Ramos S. A. (2003). *Programa estratégico de necesidades de investigación y transferencia de tecnología de la cadena productiva de tomate verde en el estado de Puebla*. Puebla, México: Fundación Produce Puebla, Gobierno del estado de Puebla.
- Zundel, G. L. (1953). *The Ustilaginales of the world*. Pennsylvania State. College contribution. 176, 410 p.

CAPITULO 3. RESISTENCIA AL CARBÓN BLANCO (*Entyloma australe* Speg.) EN GERMOPLASMA DE TOMATE DE CÁSCARA (*Physalis spp.*)¹

RESISTANCE TO LEAF SMUT (*Entyloma australe* Speg.) IN GERMOPLASM OF TOMATILLO (*Physalis spp.*)

RESUMEN

El tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) es atacado por una gran diversidad de patógenos, los cuales originan grandes pérdidas en el rendimiento, como es el caso del carbón blanco (*Entyloma australe* Speg.). Por ello, el objetivo fue evaluar los daños causados por el carbón blanco en 24 materiales de tomate de cáscara para determinar su resistencia o susceptibilidad, así como el impacto del patógeno en el rendimiento. Se establecieron dos ciclos de producción: primavera-verano y verano-otoño de 2017. En el primero se evaluó el rendimiento por planta (kg) en dos cortes realizados a los 72 y 83 días después del trasplante (RP1 y RP2). También se evaluó el tamaño de fruto a partir del peso (g) de 10 frutos en cada corte (PF1, PF2), el volumen (mL), el rendimiento total por planta (RTP; kg), el peso promedio de frutos (PPF; g), la altura de planta (AP; cm) y el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE). Las dos últimas variables también se evaluaron en el segundo ciclo. La accesión 12 (JAL 103) obtuvo el mayor rendimiento, pero fue la más susceptible al ataque del fitopatógeno, mientras que 26 (48 BNGEN) y 64 (147 BNGEN) resultaron más tolerantes a este hongo. Las variedades de mayor rendimiento y tamaño de fruto fueron Tecozautla 04, Gema, Manzano T y Puebla SM3. No obstante, Tecozautla 04, Manzano T y Gema fueron las más susceptibles a la enfermedad; en tanto que Zafiro MSM y Diamante fueron las menos susceptibles.

Palabras clave: hongos fitopatógenos., incidencia., severidad., resistencia genética, tomatillo.

¹Tesis de Doctorado en Ciencias en Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo.
Autor: M.C. Cristhyan David Moncayo Pérez.
Director de la tesis: Dr. Aureliano Peña Lomelí.

RESISTANCE TO LEAF SMUT (*Entyloma australe* Speg.) IN GERMOPLASM OF TOMATILLO (*Physalis spp.*)

ABSTRACT

Tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) is attacked by a great variety of pathogens, which result in high yield losses, such is the case of white smug (*Entyloma australe* Speg.). Therefore, the objective was to evaluate the damage caused by white smug in 24 tomatillo materials to determine their resistance and susceptibility, as well as the pathogen's impact on yield. Two production cycles were established: spring-summer and summer-fall in 2017. In the former, yield per plant (kg) was evaluated in two harvest periods carried out 72 and 83 days after transplanting (YP1 and YP2). The size of the fruit was also evaluated in weight (g) of 10 fruits from each harvest (FW1, FW2), volume (mL), total yield per plant (TYP; kg), average weight of the fruits (AFW;g), plant height (PH; cm) and the area under the disease progress curve (AUDPC). The last two variables were also evaluated in the second cycle. Accession 12 (JAL 103) had the highest yield, but it was the most susceptible to being attacked by the pathogen, while 26 (48 BNGEN) and 64 (147 BNGEN) were more resistant to this fungus. The varieties with the highest yield and size were Tecozautla 04, Gema, Manzano T and Puebla SM3. However, Tecozutla 04, Manzano T and Gema were the most susceptible to the disease, while Zafiro MSM and Diamante were the least susceptible.

Key words: plant-pathogenic fungi, incidence, severity, genetic resistance, husk tomato.

¹Thesis of doctorate in Sciences in Horticulture, Universidad Autónoma Chapingo.
Author: M.C. Cristhyan David Moncayo Pérez.
Thesis director: Dr. Aureliano Peña Lomelí.

3.1. INTRODUCCIÓN

Los cultivos hortícolas destinados al consumo nacional son importantes en México. Entre estos, el tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) es de los principales, pues forma parte de muchos platillos regionales de gran consumo (Santiaguillo, Vargas, Grimaldo, Sánchez & Magaña, 2009). Su aprovechamiento data de los tiempos de la cultura Maya y más reciente de los Aztecas, donde ya constituía parte integral de la dieta de aquellos pueblos junto con el maíz (*Zea mays* L.), el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y el chile (*Capsicum annum* L.). La especie *Physalis ixocarpa* es originaria de México y aún se encuentra de forma silvestre desde Centroamérica hasta los Estados Unidos de América (Valtierra & Ramos, 2003).

El tomate de cáscara es una especie hortícola de importancia en México por su amplio consumo en la alimentación de la población, con perspectivas de mejorar dicha importancia al incrementarse el rendimiento y el consumo per cápita (Santiaguillo-Hernández et al., 2012). En consecuencia, esto aumentaría los ingresos económicos de los productores al mejorarse la productividad, industrialización y exportación.

En la actualidad, el tomate de cáscara se ubica entre las principales cinco especies hortícolas cultivadas en México, solamente superada por el chile, la papa (*Solanum tuberosum* L.), el jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) y la cebolla (*Allium cepa* L.). La superficie nacional dedicada a este cultivo es de 43,505 ha⁻¹ con un rendimiento promedio aproximado de 19.2 t ha⁻¹ (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2018), aunque diversas investigaciones reportan que el potencial de las mejores variedades puede alcanzar las 45 t ha⁻¹ (Peña-Lomelí, Ponce-Valerio, Sánchez-del-Castillo, & Magaña-Lira, 2014.).

Las enfermedades son uno de los principales agentes que causan una reducción importante en el rendimiento de los cultivos. Para combatir enfermedades es

indispensable saber su agente causal, de lo contrario cualquier estrategia de control podría ser infructuosa o, eventualmente, agravar el estado sanitario del cultivo. Si no se conoce el patógeno podría estarse utilizando un mecanismo inapropiado contra algo desconocido. Un correcto diagnóstico provee una cantidad considerable de información básica para seleccionar métodos acordes al organismo que está causando el problema (Apodaca-Sánchez, Barreras-Soto, Cortez-Mondaca, & Quintero-Benítez, 2008).

El tomate de cáscara, como la mayoría de las plantas cultivadas, es atacado por una gran diversidad de patógenos, los cuales generalmente originan grandes pérdidas. Los principales patógenos presentes son los virus y los hongos. Algunos hongos ya han sido identificados, pero otros aún no se conocen totalmente, aunque ocasionan serios daños. Tal es el caso del organismo causante de la enfermedad conocida por los agricultores como “Carbón blanco” u “Ojo de rana”, el cual no ha sido controlado satisfactoriamente y al interactuar con otros patógenos, o bien atacando solo, reduce considerablemente el rendimiento. Dicha enfermedad se presenta ciclo tras ciclo, aumentando cada vez más su incidencia y, por lo tanto, causa más daños debido a que su control no es satisfactorio como consecuencia del desconocimiento cabal del agente causal (Piña & Ponce, 1990).

La Universidad Autónoma Chapingo cuenta con 407 accesiones de *Physalis*, resguardadas en el Banco Nacional de Germoplasma Vegetal, las cuales representan la variabilidad genética encontrada en el territorio nacional (Santiaguillo-Hernández et al., 2012). Es importante evaluar el comportamiento en campo del germoplasma resguardado *ex situ*, pues es una fuente potencial de genes de resistencia a fitopatógenos (Peña, Santiaguillo & Magaña, 2007). Las accesiones identificadas como tolerantes o resistentes, podrán ser incorporadas posteriormente a programas de mejoramiento genético (Pérez, Márquez & Peña, 1998).

Con base en lo anterior, en el presente trabajo se evaluaron los daños causados por “carbón blanco” (*Entyloma australe* Speg.) en 24 materiales de tomate de cáscara (*Physalis spp.*), con el objetivo de determinar la resistencia o susceptibilidad al “carbón blanco” y su impacto en el rendimiento.

3.2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en los ciclos agrícolas primavera – verano y verano – otoño 2017. En ambos casos se estableció en el Lote X-3 del Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), a una altitud de 2250 m.s.n.m., en las coordenadas geográficas 19° 29' 20.4 latitud Norte y 98° 52' 26.7 longitud Oeste (García, 1988). Este lote fue seleccionado porque en estudios previos en los ciclos primavera-verano de los años 2014, 2015 y 2016 se presentó el ataque de carbón blanco en el cultivo de tomate de cáscara, por lo que se consideró un lote infestado con dicha enfermedad.

El clima predominante en Chapingo, México es Cb (Wo)(W)b(i'), definido como templado subhúmedo con lluvias en verano, con precipitación invernal menor al 5 %, con un poco de oscilación térmica y veranos frescos; régimen de precipitación media anual de 636 mm. La temperatura media anual se ubica entre 12 y 18 °C, con variación menor a 5 °C (García, 1988).

Se evaluaron 17 accesiones de *Physalis spp.* pertenecientes al Banco de Germoplasma de Especies Nativas del Departamento de Fitotecnia, de la Universidad Autónoma Chapingo (Cuadro 1), para determinar si algunas podrían ser fuente de resistencia contra el ataque de *Entyloma australe* Speg. Dichas accesiones fueron evaluadas y seleccionadas en otro estudio como candidatos de resistencia a Virus Mosaico del Tabaco (TMV), Virus Mosaico del Pepino (CMV), Virus Mosaico de la Alfalfa (AMV), Virus de la Marchitez Manchada del Tomate (TSWV) y Virus Jaspeado del Tabaco (TEV). Se evaluaron también siete

variedades del programa de mejoramiento genético de tomate de cáscara de la Universidad Autónoma Chapingo (Cuadro 1).

Se realizaron dos ciclos de producción. En el ciclo primavera – verano 2017 la siembra se realizó el día 25 de febrero. Se utilizó sustrato comercial tipo peat-moss y charolas de poliestireno de 200 cavidades. Se depositaron de dos a tres semillas por cavidad. Posteriormente se realizó un aclareo, dejando una planta por cavidad. La plántula se mantuvo en condiciones de invernadero y se regó cada tercer día con solución nutritiva de Steiner al 50 % (Steiner, 1984) por tres semanas, posteriormente los riegos fueron diarios con solución nutritiva de Steiner al 100 %.

El terreno se preparó con un barbecho y un rastreo cruzado. Posteriormente se realizó el surcado a distancia de 1.2 m. Cada surco se acondicionó con una manguera de 16 mm de diámetro, con goteros autocompensados y espacio entre ellos de 30 cm.

El trasplante se realizó a los 34 días después de la siembra. Se estableció un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones, colocando 22 plantas por unidad experimental, a una distancia de 30 cm entre plantas. Se aplicó una fertilización de fondo (100 N – 100 P₂O₅ – 50 K₂O) con los productos comerciales Urea, Fosfato Diamónico y Cloruro de Potasio, respectivamente. Durante el desarrollo del cultivo se aplicaron 50 kg de Urea por hectárea cada semana en el riego. La nutrición se complementó con aplicaciones de fertilizante foliar líquido (Bayfolan Forte® + adherente) para aportar elementos menores. Las plagas fueron controladas con los productos comerciales Confidor® (Imidacloprid) y Lannate® (Metomilo 90 %). Para el control de la maleza se realizaron escardas y deshierbes manuales.

En el ciclo verano – otoño 2017 la siembra se realizó el 24 de junio. El manejo del semillero fue el mismo que en el ciclo anterior, al igual que la preparación del

terreno. El trasplante se realizó a los 41 días después de la siembra a una distancia de 30 cm entre plantas. En esta ocasión se establecieron 15 plantas por unidad experimental. Las repeticiones, la distribución de la planta y el diseño experimental fue igual que en ciclo anterior. Las fertilizaciones, control de plagas, así como de malezas, se efectuaron de manera similar al ciclo anterior.

Durante ambos ciclos las variables que se evaluaron fueron Incidencia (número de plantas enfermas por unidad experimental), la cual se midió a partir de los 15 días después del trasplante (ddt) cada 15 días, para un total de cinco muestreos. Severidad (porcentaje de afectación), utilizando la escala conocida como Doble Dígito propuesta por Saari y Prescott (1975) modificada por Eyal, Scharen, Prescott, y van Ginkel (1987). La escala de Doble Dígito refiere, a través del primer dígito la ubicación o altura de la enfermedad en la planta, y el segundo dígito indica el nivel o porcentaje de afectación (Cuadro 2). Las evaluaciones de Severidad se realizaron cada 15 días a partir de los 15 ddt. Se hicieron en total 5 y 4 evaluaciones en el primer y segundo ciclo, respectivamente.

Los datos obtenidos para incidencia y severidad se utilizaron para determinar el avance de la enfermedad y la respuesta de los materiales al hongo, mediante el cálculo del análisis del área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCDPE), la cual se calculó con el método de integración trapezoidal (Campbell & Madden, 1990), usando la ecuación:

$$ABCDPE = \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{Y_{i+1} + Y_i}{2} \right) (X_{i+1} - X_i)$$

Dónde:

n es el número de mediciones de la enfermedad en el tiempo; el término $(Y_{i+1} + Y_i)/2$ es el punto medio entre $(Y_i$ y $Y_{i+1})$ que representa la cantidad de enfermedad en un intervalo de tiempo, correspondiente a la altura de cada

rectángulo; y el término $(X_{i+1}-X_i)$ representa el tiempo (d) entre dos evaluaciones de la enfermedad e indica la anchura de cada trapecio.

Para llevar a cabo la caracterización morfológica del patógeno, se colectó material vegetal enfermo. Se hizo un muestreo por conglomerados (Cochran, 1977) en cinco de oros. En cada conglomerado se tomó muestra de una hoja sintomática por planta, y se realizaron los postulados de Koch para confirmar la presencia del patógeno. Finalmente se comparó con la morfología descrita por Fischer (1953), Holliday (1980) & Zundel (1953).

La altura de la planta (cm) se midió a los 30 ddt en 10 plantas que se tenían previamente marcadas. En ambos ciclos de cultivo se midió desde la superficie de la base del suelo hasta la punta de la rama más alta.

En el primer ciclo de cultivo se evaluó el rendimiento por planta (kg) en dos cortes realizados a los 72 y 83 días después del trasplante (RP1 y RP2). Así, también se evaluó tamaño de fruto, que se estimó como peso (g) de diez frutos en cada corte (P10FC1, P10FC2) y volumen (ml) de fruto en el primer corte (VOL), que se determinó mediante el volumen de agua desplazada por los frutos en una probeta de 2 L con 1 L de agua. Con los datos de los dos cortes se calculó el rendimiento total por planta (RTP, en kg) y el peso promedio de frutos (PPF, en g). Para el segundo ciclo de cultivo no fue posible evaluar las variables mencionadas con anterioridad ya que, aunado al daño por *Entyloma australe* Speg, se presentaron también síntomas severos ocasionados por *Fusarium* spp, lo cual no permitió el desarrollo de la planta.

El efecto de cada una de las poblaciones evaluadas sobre las variables se realizó a través de un análisis de varianza, y una prueba de comparación de medias Tukey con $p = 0.05$. Los análisis estadísticos se hicieron con el programa estadístico SAS versión 9.0.

3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3.1. Sintomatología

Para el primer ciclo de cultivo, la sintomatología comenzó a observarse a los 30 días después del trasplante, donde lo primero que se observó fueron manchas café amarillentas, más o menos circulares y un poco levantadas en el envés que dan la apariencia de ampollas, lo cual coincide con lo descrito por Romero (1988). Mediante los postulados de Koch se confirmó la que los síntomas observados corresponden al ataque de *Entyloma australe* Speg.

Para el segundo ciclo, la enfermedad comenzó a ser evidente a partir de los 15 días después del trasplante, con la misma sintomatología descrita por Romero (1988). Aunado a esto, en este ciclo se presentó también la sintomatología descrita por Agrios (2005) para la presencia de otro fitopatógeno, la cual corresponde a *Fusarium spp.* Por esta razón, en el segundo ciclo de cultivo no fue posible obtener el mismo número de variables evaluadas ya que se presentó en un alto índice de incidencia y severidad, lo cual ocasionó la muerte de las plantas.

3.3.2. Análisis de varianza

Los resultados del análisis de varianza para el primer ciclo (Primavera-Verano 2017) muestran un efecto altamente significativo de poblaciones sobre las nueve variables evaluadas y analizadas (Cuadro 3).

En el segundo ciclo de cultivo (Verano-Otoño 2017) no fue posible evaluar las variables RPP1, RPP2, RTP, P10F1, P10F2, PP10F, y VOL debido al alto porcentaje de incidencia y severidad ocasionado por *Fusarium sp.*, fitopatógeno que provocó la muerte de las plantas. Por tal motivo, solamente fueron evaluadas las variables altura de planta (ALT) y área bajo la curva del progreso de la

enfermedad (ABCPE). El análisis de varianza muestra efecto significativo de las poblaciones sobre ambas variables (Cuadro 4).

3.3.3. Pruebas de comparación de medias del primer ciclo de cultivo

3.3.3.1. Altura de planta

Los resultados de comparación de medias para el primer ciclo de cultivo (Cuadro 5) muestran que la variedad Manzano fue la de mayor altura (erecta), aunque estadísticamente igual que las variedades Puebla SM y Gema y que las accesiones 5 (82 BNGEN), 15 (128 BNGEN), 39 (Verde L.), 57 (156 BNGEN) y 172 (167 BNGEN). La accesión 12 (JAL 103) mostró la menor altura de planta, pero fue igual ($p = 0.05$) que otras once accesiones, lo que indica que su hábito de crecimiento es rastrero o postrado. Peña et al. (2011) describen que en el tomate de cáscara existe una diversidad genética de hábitos de crecimiento que varían desde erecto, semi-erecto y postrados, lo que coincide con lo encontrado en el comportamiento en los materiales evaluados.

3.3.3.2. Rendimiento y tamaño de fruto

En los resultados obtenidos para las variables correspondientes al rendimiento (Cuadro 5) se puede observar que las variedades testigo (Diamante, Manzano T, Zafiro MSM, Gabriela, Puebla SM3, Tecozautla 04 y Gema) fueron superiores a las accesiones del banco de germoplasma, excepto a la 12 (JAL 103). Estos resultados se deben a que las variedades testigo evaluadas son producto del programa de mejoramiento genético (Sánchez-Martínez, & Peña-Lomelí, 2015), donde el principal criterio de selección ha sido rendimiento, y las accesiones son colectas tanto cultivadas como silvestres (Peña et al., 2008, 2014).

La variedad Tecozautla 04 fue la de mayor peso y volumen promedio de fruto (mayor tamaño de fruto), pero fue igual ($p = 0.05$) que Gema, Manzano T y Puebla

SM3 para peso promedio de fruto y que Gema, Manzano T, Puebla SM3, Diamante y Gabriela para volumen de fruto. Esto indica que las variedades Diamante y Gabriela son de frutos grandes, pero de menor peso específico, lo cual puede deberse a que el programa de mejoramiento se ha enfocado en el número y tamaño de frutos como principal criterio de selección (Peña-Lomelí et al., 2002; Santiaguillo-Hernández, Cervantes-Santana & Peña-Lomelí, 2004).

En cuanto a las accesiones evaluadas la que presentó mayor rendimiento de fruto fue la accesión 12 (JAL 103). Las accesiones que mostraron los rendimientos más bajos y menos tamaño de fruto fueron la 26 (48 BNGEN) y la 133 (JAL 01), lo que se debe a que son materiales silvestres y de bajo potencial productivo (Peña et al., 2011; Peña & Santiaguillo, 1999).

3.3.3.3. Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad

En el caso de la variable ABCPE en el primer ciclo de cultivo, las accesiones 64 (147 BNGEN), 26 (48 BNGEN), 11 (173 BNGEN), 14 (184 BNGEN), 39 (Verde L), 55 (148 BNGEN) y 172 (167 BNGEN) se distinguen por su mayor grado de tolerancia a *Entyloma australe* Speg. (Cuadro 6), pero no por su rendimiento y tamaño de fruto (Cuadros 5 y 6), lo cual coincide con lo propuesto por Escalante-Ortiz y Farrera-Pino (2004), quienes indican que los menores valores de ABCPE corresponden a los materiales con menor severidad en la enfermedad. Vale la pena destacar que las accesiones 26 (48 BNGEN), 12 (JAL 103), 15 (128 BNGEN), 56 (88 BNGEN), 64 (147 BNGEN) y 147 (201 BNGEN) mostraron, en trabajos previos, cierto grado de tolerancia a virus y las accesiones 133 (JAL 01) y 64 (147 BNGEN) presentaron resistencia a *Fusarium oxysporum* en otra evaluación independiente. Con base en esto, se puede decir que las accesiones 26 (48 BNGEN) y 64 (BNGEN) son de alto valor para un programa de mejoramiento genético para resistencia a enfermedades (Peña et al., 2007).

Dentro del grupo de variedades mejoradas sobresalen Zafiro MSM y Diamante pues fueron las menos afectadas por la enfermedad.

3.3.4. Pruebas de comparación de medias para el segundo ciclo de evaluación

3.3.4.1. Altura

En la evaluación del segundo ciclo de cultivo (Cuadro 7), la accesión 18 (32 BNGEN) y la variedad Puebla SM3 presentaron la mayor altura de planta. En contraste, la accesión 133 (JAL 01) mostró la menor altura.

En este ciclo de evaluación las alturas resultaron más homogéneas en comparación con la evaluación del primer ciclo (Cuadro 5), dado que el periodo de desarrollo del cultivo fue durante la temporada de lluvias, lo cual ocasionó no solo el desarrollo de la enfermedad en estudios sino algunos otros patógenos como *Fusarium spp*, que impidió la plena expresión en el comportamiento agronómico de las poblaciones evaluadas.

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

Para el caso de esta variable la accesión 133 (JAL 01) mostró mayor tolerancia al ataque de *Entyloma australe* Speg, y la accesión 12 (JAL 103) el mayor nivel de susceptibilidad. Para el caso de las variedades registradas, únicamente las variedades Diamante y Zafiro MSM mostraron cierto nivel de tolerancia al hongo.

La accesión 133 (JAL 01) es silvestre, por lo que solo puede usarse como fuente de resistencia a la enfermedad. La clave del mejoramiento exitoso de los cultivos es tener un suministro continuo de variabilidad genética y de los caracteres favorables contenidos en esta diversidad (Dwivedi et al., 2008). Los genes de las plantas silvestres hasta ahora han otorgado a los cultivares resistencia contra

plagas (Malik, Brown, Smith, Harvey, & Gill, 2003) y enfermedades (Brar, 2005), razón por la cual la accesión 133 es de alto valor en un programa de mejoramiento genético para resistencia a *Entyloma australe* Speg.

Debido al comportamiento de Diamante y Zafiro MSM, estas dos variedades son candidatos para comenzar la incorporación de resistencia a enfermedades mediante la cruce con las poblaciones silvestres identificadas.

3.4. CONCLUSIONES

Las accesiones evaluadas presentan diferente potencial de rendimiento, el cual no está asociado a su resistencia al ataque de *Entyloma australe* Speg, dado que la accesión 12 (JAL 103) obtuvo un mayor rendimiento, pero también fue la más susceptible al ataque

Se detectaron las accesiones 26 (48 BNGEN) y 64 (147 BNGEN) como fuente potencial de genes de resistencia a *Entyloma australe* Speg, pues resultaron más tolerantes al ataque de este fitopatógeno, aunque su rendimiento no fue el más alto.

Las variedades cultivadas menos susceptibles fueron Zafiro MSM y Diamante, pues, aunque no tuvieron el mayor rendimiento y su tamaño de fruto fue intermedio, se vieron menos afectadas por el ataque del hongo. Por el contrario, las variedades Tecozautla 04, Manzano T y Gema presentaron el mayor rendimiento y tamaño de fruto, pero también mayor susceptibilidad.

3.5. BIBLIOGRAFÍA

- Agrios, G. N. (2005). PLANT DISEASES CAUSED BY FUNGI. En: *Plant pathology* (5th ed). New York, N.Y: Academic Press. 265-509.
- Apodaca-Sánchez, M. A., Barreras-Soto, M. A., Cortez-Mondaca, E., & Quintero-Benítez, J. A. (2008). *Enfermedades del tomate de cáscara en Sinaloa*. Los Mochis, Sinaloa, México: CIRNO-INIFAP. 33 p. Obtenido de <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/handle/123456789/1641>
- Brar, D. S. (2005). Broadening the gene pool of rice through introgression from wild species. In K. Toriyama, K. L. Heong & B. Hardy (eds), *Rice is Life: Scientific Perspectives for the 21st Century* (pp. 157–160). Manila, Philippines: International Rice Research Institute. Obtenido de <https://www.cabdirect.org/cabdirect/FullTextPDF/2005/20053159424.pdf>
- Campbell, C. L., & Madden, L. V. (1990). *Introduction to plant disease epidemiology*. New York, USA: Wiley-Interscience. 532 p.
- Cochran, W. G. (1977). *Sampling techniques* (3th ed). New York: Wiley-Interscience. 428 p.
- Dwivedi, S. L., Upadhyaya, H. D., Stalker, H. T., Blair, M. W., Bertoli, D. J., Nielen, S., & Ortiz, R. (2008). Enhancing crop gene pools with beneficial traits using wild relatives. *Plant Breeding Reviews*, 30, 179–230. doi: 10.1002/9780470380130.ch3

- Escalante-Ortiz, M., & Farrera-Pino, R. (2004). Epidemiología del tizón tardío (*Phytophthora infestans* mont de Bary) de la papa en zonas productoras del estado Táchira Venezuela. *Bioagro*, 16(1), 47-54. Obtenido de [http://www.ucla.edu.ve/bioagro/Rev16\(1\)/7.%20Epidemiología%20del%20tizón.pdf](http://www.ucla.edu.ve/bioagro/Rev16(1)/7.%20Epidemiología%20del%20tizón.pdf)
- Eyal, Z, Scharen, A. L., Prescott, J.M., & van Ginkel, M. (1987). *The Septoria diseases of wheat: concepts and methods of disease management*. México, D.F.: CIMMYT. 47 p.
- Fischer, W. G. (1953). *Manual of North American smut fungi*. New York. N.Y: The Ronal Press Company. 343 p.
- García, E. (1988). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen* (para adaptarlo a la República Mexicana) (4a ed.). México, D. F.: Universidad Nacional Autónoma de México. Obtenido de http://www.igeograf.unam.mx/sigg/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/geo_siglo21/serie_lib/modific_al_sis.pdf
- Holliday, P. (1980). *Fungus diseases of tropical crops*. New York, N.Y: Cambridge University Press. 572 p.
- Malik, R., Brown, G. G. L., Smith, C. M., Harvey, T. L., & Gill, B. S. (2003). Genetic mapping of wheat curl mite resistance genes in common wheat. *Crop Science*, 43, 644–650. doi: 10.2135 / cropci2003.644
- Peña, L. A., & Márquez, S. F. (1990). Mejoramiento genético de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) *Revista Chapingo*, 15 (71-72), 84-88.
- Peña, L. A., & Santiaguillo, H. F. (1999). *Variabilidad genética de tomate de cáscara*. México: Universidad Autónoma Chapingo. 27 p.

- Peña, L. A., Santiaguillo, H. J. F., & Magaña, L. N. (2007). Recursos y mejoramiento genético de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). In: Bautista, N., & Chavarín, C. (Eds.), Producción de tomate de cáscara (pp: 31-71). México: Colegio de Postgraduados.
- Peña, L. A., Magaña, L. N., Montes, H. S., Sánchez, M. J., Santiaguillo, H. J. F., Grimaldo, J. O., Contreras, R. A. (2011). *Manual gráfico para la descripción varietal de tomate de cáscara (Physalis ixocarpa Brot. ex Horm.)*. Chapingo, México: SNICS-SAGARPA, Universidad Autónoma Chapingo. 87 p.
- Peña-Lomelí, A., Molina-Galán, J. D., Márquez-Sánchez, F., Sahagún-Castellanos, J., Ortiz-Cereceres, J., & Cervantes-Santana, T. (2002). Respuestas estimadas y observadas de tres métodos de selección en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 25(2), 171-178. Obtenido de <http://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/25-2/7a.pdf>
- Peña-Lomelí, A., Molina-Galán, J. D., Sahagún-Castellanos, J., Ortiz-Cereceres, J., Márquez-Sánchez, F., Cervantes-Santana, T., & Santiaguillo-Hernández, J. F. (2008). Parámetros genéticos en la variedad CHF1 Chapingo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 14(1), 5-11. doi: 10.5154/r.rchsh.2006.11.046
- Peña-Lomelí, A., Ponce-Valerio, J. J., Sánchez-del-Castillo, F., & Magaña-Lira, N. (2014). Desempeño agronómico de variedades de tomate de cáscara en invernadero y campo abierto. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(4), 381-391. Obtenido de <https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/37-4/9a.pdf>

- Pérez, G. M., Márquez, S. F., & Peña, L. A. (1998). *Mejoramiento genético de hortalizas*. Ciudad de México, México: Mundi Prensa. 217-229.
- Piña, A. C., & Ponce, G. F. (1990). *Etiología y control del carbón del tomate de cáscara (Physalis ixocarpa) en Luvianos y Villa Guerrero, México*. *Revista Chapingo*, 15(67-68), 22-25.
- Romero, C. S. (1988). *Hongos Fitopatógenos*. Chapingo, México: Universidad Autónoma Chapingo. 347 p.
- Saari, E. E., & Prescott, J. M. 1975. A scale for appraising the foliar intensity of wheat diseases. *Plant Disease Reporter* 59(5), 377-380. Obtenido de <https://eurekamag.com/research/000/008/000008657.php>
- Sánchez-Martínez, J., & Peña-Lomelí, A. (2015). *Variedades de uso comun; un breve mirar a la riqueza mexicana*. México: SNICS-SAGARPA. 45 p.
- Santiaguillo, H. J. F., Vargas, P. O., Grimaldo, J. O., Sánchez, M. J., & Magaña, L. N. (2009). *Aprovechamiento tradicional y moderno de tomate (Physalis) en México*. Chapingo, México: Universidad Autónoma Chapingo. 31 p.
- Santiaguillo-Hernández, J. F., Vargas-Ponce, O., Grimaldo k-Juárez, O., Magaña-Lira, N., Caro-Velarde, F., Peña-Lomelí, A., & Sánchez-Martínez, S. (2012). *Diagnóstico del tomate de cáscara*. México: Universidad Autónoma Chapingo. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/283492117_Diagnostico_del_Tomate_de_Cascara

- Santiaguillo-Hernández, J. F., Cervantes-Santana, T., & Peña-Lomelí, A. (2004). Selección para rendimiento y calidad de fruto de cruces planta x planta entre dos variedades de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27(1), 85-91. Obtenido de <http://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/27-1/11a.pdf>
- Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS). (2019). Consultado 13-septiembre-2019 en: <https://www.gob.mx/snics/es/articulos/catalogo-nacional-de-variedades-vegetales-en-linea?idiom=es>
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2018). Consultado 08-julio-2019 en: <http://www.siap.gob.mx>
- Steiner, A. A. (1984). The universal nutrient solution. In: *Proceedings 6th International Congress on Soilless Culture* (pp. 633-650). Nueva York, USA: International Society for Soilless Culture.
- Valtierra, P. E., & Ramos S. A. (2003). *Programa estratégico de necesidades de investigación y transferencia de tecnología de la cadena productiva de tomate verde en el estado de Puebla*. Puebla, México: Fundación Produce Puebla, Gobierno del estado de Puebla. 237 p.
- Zundel, G. L. (1953). *The Ustilaginales of the world*. Pennsylvania State College contribution. 176, 410 p.

Cuadro 1. Relación de poblaciones de *Physalis spp.* evaluadas.

NA	Descripción	NA	Descripción
5	82 BNGEN	66	Verde 01
11	173 BNGEN	87	181 BNGEN
12	JAL 103	106	209 BNGEN
14	184 BNGEN	133	JAL 01
15	128 BNGEN	172	167 BNGEN
18	32 BNGEN	203	Gabriela ¹
26	48 BNGEN	204	Puebla SM3 ¹
35	170 BNGEN	202	Zafiro MSM ¹
39	Verde L	200	Diamante ¹
55	148 BNGEN	201	Manzano T ¹
57	156 BNGEN	205	Tecozautla 04 ¹
64	147 BNGEN	31	Gema ¹

NA: Número de accesión de *Physalis spp.*; BNGEN: Banco Nacional de Germoplasma de Especies Nativas de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH). ¹Variedades del Programa de Mejoramiento Genético de Tomate de Cáscara de la UACH y registradas en el SNICS (SNICS, 2019).

Cuadro 2. Escala ordinal para medir la severidad del ataque de “carbón blanco” (*Entyloma australe* Speg.) en 24 materiales de tomate de cáscara (*Physalis spp.*).

NIVEL	PORCENTAJE
1	0
2	25
3	50
4	75
5	100

Cuadro 3. Análisis de varianza del primer ciclo de nueve variables medidas en 24 poblaciones de tomate de cáscara (*Physalis spp.*) de acuerdo al comportamiento en presencia de *Entyloma australe* Speg.

FV	GL	ALT	RPP1	RPP2	RTP	VOL
Bloque	3	277.5 **	23983.1 *	1734.5 NS	14546.3 NS	25278.1 *
Pob	23	196.3 **	227799 **	15471.4 **	287388.3 **	169281.2 **
Error	69	34.4	7525.1	5760.8	14219.8	8598.3
Total	95					
CV		7.9	27.41	53	25.9	36.1

		P10F1	P10F2	PP10F	ABCPE
Bloque	3	11558.8 NS	11212.1 *	12636.9 **	12833.8 *
Pob	23	185028.9 **	56667.8 **	110179.3 **	187263.6 **
Error	69	4496.5	2568	2243	88489.2
Total	95				
CV		23.3	29	20.7	84.3

FV: Fuentes de variación; Pob: Poblaciones evaluadas; CV: Coeficiente de variación; GL: Grados de libertad; ALT: Altura de la planta (cm); RPP1 y RPP2: Rendimiento por planta en los cortes 1 y 2, respectivamente (kg); RTP: Rendimiento total (kg); VOL: Volumen de 10 frutos (ml); P10F1 y P10F2: Peso de 10 frutos en los cortes 1 y 2, respectivamente (g); PP10F: Peso promedio de 10 frutos (g); ABCPE: Área bajo la curva del progreso de la enfermedad.

*, ** Significativo con $p \leq 0.05$ y $p \leq 0.01$, respectivamente; NS: No significativo.

Cuadro 4. Análisis de varianza del segundo ciclo de dos variables medidas en 24 poblaciones de tomate de cáscara (*Physalis spp.*) de acuerdo al comportamiento en presencia de *Entyloma australe* Speg.

Fuente de Variación	GL	Altura	ABCPE
Bloque	3	3.3 **	149307.0 **
Población	23	26.7 **	43437.5 **
Error	69	6.7	89669.3
Total	95		
Coeficiente de Variación		17.1	87.9

GL: Grados de libertad; Atura: Altura de la planta (cm); ABCPE: Área bajo la curva del progreso de la enfermedad.

** Significativo con $p \leq 0.01$.

Cuadro 5. Comparación de medias del primer ciclo de cuatro variables medidas en 24 poblaciones de tomate de cáscara (*Physalis spp.*) de acuerdo al comportamiento en presencia de *Entyloma australe* Speg.

POBLACIÓN	ALT	RPP1	RPP2	RTP
5 (82 BNGEN)	80.05 abc ^z	27.1 lj	132.9 ab	160.0 h-k
11 (173 BNGEN)	74.75 bcd	191.5 f-j	129.2 ab	320.7 d-k
12 (JAL 103)	58.75 e	550.6 a-d	89.3 B	639.9 a-d
14 (184 BNGEN)	75.7 bcd	386.9 c-f	168.3 ab	555.2 b-f
15 (128 BNGEN)	79.25 a-d	168.8 f-j	214.0 ab	382.8 c-j
18 (32 BNGEN)	73.625 b-e	105.3 hij	123.3 ab	228.5 g-k
26 (48 BNGEN)	73.2 b-e	7.7 j	59.4 B	67.1 jk
35 (170 BNGEN)	71.125 b-e	260.3 efgh	205.3 ab	465.6 b-h
39 (Verde L.)	77.125 a-d	23.6 ij	103.7 ab	127.3 ijk
55 (148 BNGEN)	74.075 b-e	316.5 e-h	167.9 ab	484.3 b-g
57 (156 BNGEN)	83.85 ab	118.2 g-j	130.6 ab	248.8 f-k
64 (147 BNGEN)	63.725 de	319.3 d-h	84.7 B	404.0 c-i
66 (Verde 01)	75.75 bcd	255.2 e-i	137.3 ab	392.5 c-i
87 (181 BNGEN)	65.725 cde	220.0 f-j	56.6 B	276.6 f-k
106 (209 BNGEN)	74.125 b-e	212.9 f-j	101.4 B	314.4 e-k
133 (JAL 01)	69.475 b-e	11.4 j	44.8 B	56.2 k
172 (167 BNGEN)	82.7 ab	188.6 f-j	144.8 ab	333.3 d-k
203 (Gabriela)	69.05 b-e	563.3 abc	161.7 ab	725.0 ab
204 (Puebla SM3)	80.325 abc	349.6 c-g	305.9 A	655.5 abc
202 (Zafiro MSM)	69.225 b-e	455.2 b-e	156.3 ab	611.5 a-e
200 (Diamante)	74.95 bcd	764.8 a	121.0 ab	885.8 a
201 (Manzano T)	92.425 a	754.9 a	129.2 ab	884.1 a
205 (Tecoautla 04)	76.125 bcd	674.5 ab	229.1 ab	903.7 a
31 (Gema)	78.45 a-d	669.7 ab	238.4 ab	908.1 a
DMSH	15.71	232.4	203.3	319.4

DMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta; ALT: Altura de la planta (cm); RPP1 y RPP2: Rendimiento por planta en los cortes 1 y 2, respectivamente (kg); RTP: Rendimiento total por planta (kg); ^zMedias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

Cuadro 6. Comparación de medias del primer ciclo de cinco variables medidas en 24 poblaciones de tomate de cáscara (*Physalis spp.*) de acuerdo al comportamiento en presencia de *Entyloma australe* Speg.

POBLACIÓN	VOL	P10F1	P10F2	PP10F	ABCPE
5 (82 BNGEN)	17.5 f ²	30.8 jk	53.8 Hi	42.3 gh	629.6 a-d
11 (173 BNGEN)	102.5 f	111.0 g-k	93.0 ghi	102.0 fgh	166.7 ef
12 (JAL 103)	362.5 b-e	377.0 def	163.5 e-h	270.3 de	729.0 ab
14 (184 BNGEN)	187.5 def	211.3 f-j	124.0 ghi	167.6 efg	188.5 ef
15 (128 BNGEN)	171.3 def	189.8 g-k	151.3 e-i	170.5 ef	265.5 c-f
18 (32 BNGEN)	87.5 f	104.8 h-k	82.0 ghi	93.4 fgh	245.7 c-f
26 (48 BNGEN)	13.5 f	24.3 k	20.3 l	21.6 h	136.2 ef
35 (170 BNGEN)	225.0 c-f	253.0 fgh	130.3 ghi	191.6 ef	393.8 a-f
39 (Verde L.)	31.3 f	43.8 ijk	38.8 hi	41.3 gh	197.4 ef
55 (148 BNGEN)	203.8 c-f	223.5 f-i	163.8 e-h	193.6 ef	153.0 ef
57 (156 BNGEN)	110.0 f	150.8 g-k	115.8 ghi	133.3 fgh	354.3 b-f
64 (147 BNGEN)	368.8 b-e	385.3 c-f	190.3 d-g	287.8 de	56.3 f
66 (Verde 01)	150.0 ef	186.8 g-k	153.0 e-i	169.9 ef	262.5 c-f
87 (181 BNGEN)	222.5 c-f	291.0 efg	145.8 f-i	184.8 ef	249.7 c-f
106 (209 BNGEN)	193.8 def	228.3 fgh	172.5 d-h	200.4 ef	447.9 a-f
133 (JAL 01)	13.8 f	20.8 k	24.0 l	22.4 h	748.0 ab
172 (167 BNGEN)	133.8 ef	135.0 g-k	116.0 ghi	125.5 fgh	212.2 ef
203 (Gabriela)	443.8 abc	444.3 cde	276.8 c-f	360.5 cd	393.8 a-f
204 (Puebla SM3)	527.5 ab	547.8 bcd	444.5 A	496.1 ab	652.1 abc
202 (Zafiro MSM)	233.8 c-f	240.8 fgh	155.3 e-i	198.0 ef	150.0 ef
200 (Diamante)	418.8 a-d	565.0 abc	283.8 cde	424.4 bc	225.0 def
201 (Manzano T)	662.5 a	647.5 ab	305.8 bcd	476.6 abc	305.4 c-f
205 (Tecoautla 04)	662.5 a	686.0 ab	436.3 ab	561.1 a	799.7 a
31 (Gema)	627.5 a	734.3 a	364.5 abc	549.4 ab	503.6 a-e
DMSH	248.4	182.3	135.7	126.9	419.6

DMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta. VOL: Volumen de 10 frutos (ml); P10F1 y P01F2: Peso de 10 frutos en los cortes 1 y 2, respectivamente (g); PP10F: Peso promedio de 10 frutos (g); ABCPE: Área bajo la curva del progreso de la enfermedad. ²Medias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

Cuadro 7. Comparación de medias del segundo ciclo de dos variables medidas en 24 poblaciones de tomate de cáscara (*Physalis spp.*) de acuerdo al comportamiento en presencia de *Entyloma australe* Speg.

Población	ALT	ABCPE
5 (82 BNGEN)	15 abc ^z	325 bcd
11 (173 BNGEN)	14 bc	400 bcd
12 (JAL 103)	15 abc	900 a
14 (184 BNGEN)	15 abc	250 cd
15 (128 BNGEN)	12 bc	200 cd
18 (32 BNGEN)	21 a	400 bcd
26 (48 BNGEN)	14 abc	125 cd
35 (170 BNGEN)	14 bc	300 bcd
39 (Verde L.)	16 abc	175 cd
55 (148 BNGEN)	17 abc	325 bcd
57 (156 BNGEN)	16 abc	475 bc
64 (147 BNGEN)	14 abc	350 bcd
66 (Verde 01)	16 abc	75 cd
87 (181 BNGEN)	14 abc	400 bcd
106 (209 BNGEN)	12 bc	400 bcd
133 (JAL 01)	11 c	50 d
172 (167 BNGEN)	12 bc	225 cd
203 (Población 3)	15 abc	425 bcd
204 (Puebla SM3)	21 a	425 bcd
202 (Zafiro MSM)	12 bc	75 cd
200 (Diamante)	15 abc	250 cd
201 (Manzano)	18 ab	4 75 bc
205 (Tecoautla 04)	18 ab	675 ab
31 (Gema)	16 abc	475 bc
DMSH	7	422

DMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta; ALT: Altura de la planta (cm); ABCPE: Área bajo la curva del progreso de la enfermedad. ^zMedias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

CAPÍTULO 4. IDENTIFICACIÓN MORFOLÓGICA DE *Entyloma spp.* CAUSANTE DEL CARBÓN BLANCO EN *Physalis spp*¹

MORPHOLOGICAL IDENTIFICATION OF *Entyloma spp.* WHITE SMUT CAUSANT IN *Physalis spp*¹

RESUMEN

El tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) es una especie originaria de México. Por su uso primordial en la gastronomía mexicana, sus propiedades alternativas como la medicinal, la ornamental y la nutracéutica, es uno de los principales cultivos hortícolas. La producción de tomate se ve afectada por diversas enfermedades, entre las cuales se encuentra el carbón blanco que está causado por un hongo del género *Entyloma spp.*, en el que hoy en día los criterios taxonómicos vigentes son poco precisos, y en ocasiones incluso contradictorios. Esto dificulta cualquier sencilla identificación, la cual es de muy importante para estructurar un manejo dirigido y eficiente que minimice pérdidas económicas a causa de la enfermedad. El objetivo fue identificar al agente causal del carbón blanco en la zona de Chapingo, México, Dado lo anterior, en este trabajo se efectuó una caracterización morfológica del agente causal del carbón blanco en germoplasma de tomate de cáscara, inoculándolo de manera artificial mediante la aspersión de esporas. Con base en rasgos morfológicos, se llevaron a cabo pruebas de patogenicidad utilizando 24 poblaciones de tomate de cáscara. El agente causal fue identificado como *Entyloma australe* Speg., basado en el huésped y en la morfología del patógeno en cuanto al tamaño, la forma, el color de las esporas y la producción de fascículos de conidióforos. Por otra parte, se concluyó que el método de inoculación evaluado fue exitoso y al parecer es el primer reporte que se tiene de *Entyloma australe* Speg. en *Physalis spp.* Las poblaciones 202 (Zafiro MSM) y 12 (JAL 103) pueden ser usadas para afinar la técnica de inoculación del hongo y estudiar la resistencia genética del cultivo.

Palabras clave: *Entyloma australe* Speg., caracterización morfológica., patogenicidad., inoculación., *Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.

¹Tesis de Doctorado en Ciencias en Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo.
Autor: M.C. Cristhyan David Moncayo Pérez.
Director de la tesis: Dr. Aureliano Peña Lomelí.

MORPHOLOGICAL IDENTIFICATION OF *Entyloma spp.* WHITE CARBON CAUSANT IN GERMPLASM OF *Physalis spp*

ABSTRACT

The husk tomato (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) Is a species native to Mexico. Due to its primary use in Mexican gastronomy, its alternative properties such as medicinal, ornamental and nutraceutical, is one of the main horticultural crops. Tomato production is affected by various diseases, among which is white smut, which is caused by a fungus of the genus *Entyloma spp.*, in which the nowadays taxonomic criteria are imprecise, and sometimes even contradictory. This makes difficult any simple identification, which is very important for structuring efficient and directed management that minimizes economic losses due to the disease. The aim of the present research was to identify the causative agent of the white smut in the Chapingo, Mexico area. Given the above, in this work a morphological characterization of the causal agent of white smut in husk tomato germplasm has been carried out, artificially inoculating it by sprinkling spores. Based on morphological traits, pathogenicity tests were carried out using 24 populations from the Universidad Autónoma Chapingo. The causative agent was identified as *Entyloma australe* Speg., based on the host and morphology of the pathogen in terms of size, shape, color of spores, and production of conidiophores fascicles. On the other hand, it was concluded that the inoculation method evaluated was successful and it seems that it is the first report of *Entyloma australe* Speg. in *Physalis spp.* Populations 202 (Zafiro MSM) and 12 (JAL 103) can be used to refine the fungus inoculation technique and study the genetic resistance of the culture.

Key words: *Entyloma australe* Speg., Morphological characterization., Pathogenicity., Inoculation., *Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.

¹ Thesis, Ph.D. in Horticultural Sciences, Universidad Autónoma Chapingo.
Author: Cristhyan David Moncayo Pérez.
Advisor: Dr. Aureliano Peña Lomelí.

4.1. INTRODUCCIÓN

El tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) es una especie originaria de México y se encuentra de forma silvestre desde Centroamérica hasta los Estados Unidos de América (Valtierra & Ramos, 2003).

Gracias a su uso en la gastronomía mexicana y a sus propiedades alternativas como la medicinal, la ornamental y la nutracéutica es uno de los principales cultivos hortícolas en México (Santiaguillo et al., 2012). En el año 2018 se colocó como la quinta hortaliza de mayor importancia en cuanto a superficie cultivada (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2018).

La producción de tomate se ve afectada por diversas enfermedades, entre las cuales se encuentra el carbón blanco (*Entyloma australe* Speg.), mismo que disminuye la calidad y el rendimiento, eleva los costos de producción y limita su rentabilidad (Piña & Ponce, 1990).

El orden Entylomatales, nombre que reciben los hongos del género tipo *Entyloma*, es un grupo de hongos parásitos de plantas que tiene distribución mundial, desde los trópicos hasta los polos, aunque pasan desapercibidos debido a su diminuto tamaño, su estilo de vida y su poca abundancia.

El carbón blanco, coloniza las hojas formando numerosas manchas blanquecinas que, en ataques graves, llegan a cubrir prácticamente toda la superficie foliar. La infección comienza por las hojas más viejas y cercanas al suelo, colonizando también los cotiledones, y se va propagando hacia las más jóvenes; normalmente no llega a afectar a las más próximas a la yema terminal. (Berra, 1989).

De Bary (1874) caracteriza el género *Entyloma* por la formación de teliosporas, la germinación de estas esporas con basidios similares a *Tilletia* y las típicas

manchas blancas densas de las hojas, causadas por las etapas parasitarias en la planta

La diversidad del género tiene considerables dificultades en el desarrollo de un sistema taxonómico estable y ampliamente aplicable para el mismo, debido a que la identificación morfológica fue por muchos años el criterio único de identificación de las especies (Boutigny et al., 2014).

Los carbones se han conocido, tradicionalmente, como parásitos estrictos. Sin embargo, algunos de ellos han cumplido su ciclo vital completo *in vitro*, lo cual mueve a una reflexión sobre el contenido del parasitismo obligado en microorganismos y su proyección sobre la realidad. Los intentos de cultivar el género *Entyloma* en medios microbiológicos convencionales como PDA (potato-dextrosa-agar) y MA (malta-agar) no han tenido éxito. Tampoco se ha obtenido resultado alguno al intentar ensayar el medio que Regnault et al. (1975) utilizó para estudiar *Ustilago hypodytes* (Berra, 1989).

La correcta identificación de especies de cualquier hongo fitopatógenos es de vital importancia para estructurar un manejo dirigido y eficiente, que repercutirá en mínimas pérdidas económicas a causa de la enfermedad. En este contexto, el objetivo fue realizar una caracterización morfológica de *Entyloma australe* Speg. en germoplasma de tomate de cáscara. Es necesario señalar que no existe información documentada en *Entyloma australe* Speg. sobre ningún método de inoculación artificial del hongo, por lo que en este trabajo se ponen también a punto estos métodos.

4.2. MATERIALES Y MÉTODOS

4.2.1. Sitio de estudio y muestreo

Para llevar a cabo la caracterización morfológica, se colectó material vegetal enfermo al azar (Cochran, 1977) de germoplasma de *Physalis spp.* en el Lote X-3 del Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH).

4.2.2. Colecta de material

El material vegetal de *Physalis spp.* recolectado evidenciaba síntomas en las hojas como manchas café amarillentas, más o menos circulares y un poco levantadas en el envés que dan la apariencia de ampollas, lo cual coincide con lo descrito por Romero (1988) y están estrechamente relacionados con la presencia de *Entyloma australe* Speg. Estas muestras se procesaron en el Laboratorio de Micología Agrícola del Departamento de Parasitología Agrícola de la misma universidad (Tuite, 1969).

4.2.3. Aislamiento

Se realizó una desinfección, con hipoclorito de sodio 1 % (NaClO) y agua destilada estéril, del material enfermo, específicamente de las hojas, e inmediatamente se efectuó la siembra del mismo en medio de cultivo PDA (Potato Dextrose Agar) (Tuite, 1969).

Se colocaron las cajas Petri ya sembradas en la incubadora a una temperatura de 22°C para que el hongo se propagara de manera rápida. Se observaron las muestras cada 24 horas

4.2.4. Caracterización morfológica

Con base a lo mencionado por Berra (1989), una vez transcurridos 15 días no se pudo observar una colonización del patógeno en el medio PDA. Por esta razón, se realizaron las observaciones microscópicas sobre preparaciones frescas del hongo, recolectado en distintas épocas del año, para lograr la correcta identificación por comparación con las descritas por otros autores.

4.2.5. Pruebas de patogenicidad

La realización de estas pruebas se llevó a cabo en el invernadero de la Academia de Genética del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicado en el Campo Agrícola Experimental de la Universidad.

4.2.6. Material vegetal

Se utilizaron 17 accesiones de *Physalis spp.* pertenecientes al Banco de Germoplasma de Especies Nativas del Departamento de Fitotecnia, de la Universidad Autónoma Chapingo, además de siete variedades del programa de mejoramiento genético de tomate de cáscara de la Universidad Autónoma Chapingo (Cuadro 8).

Para la siembra se utilizó sustrato comercial tipo peat-moss y charolas de poliestireno de 200 cavidades. Se depositaron de dos a tres semillas por cavidad. Posteriormente se realizó un aclareo, dejando una planta por cavidad. La plántula se mantuvo en condiciones de invernadero y se regó cada tercer día con solución nutritiva de Steiner al 50 % (Steiner, 1984) por tres semanas, posteriormente los riegos fueron diarios con solución nutritiva de Steiner al 100 %.

El trasplante se realizó a los 30 días después de la siembra, en macetas de 16 L. Se utilizó tezontle como sustrato, se colocaron en un invernadero con cubierta de

polietileno térmico de larga duración, con un grosor de 800 galgas, con calefacción, ventilación lateral y riego por goteo. Se estableció un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones, colocando 12 plantas por unidad experimental.

Cuadro 8. Relación de poblaciones de *Physalis* spp. evaluadas.

NA	Descripción	NA	Descripción
5	82 BNGEN	66	Verde 01
11	173 BNGEN	87	181 BNGEN
12	JAL 103	106	209 BNGEN
14	184 BNGEN	133	JAL 01
15	128 BNGEN	172	167 BNGEN
18	32 BNGEN	203	Gabriela ¹
26	48 BNGEN	204	Puebla SM3 ¹
35	170 BNGEN	202	Zafiro MSM ¹
39	Verde L	200	Diamante ¹
55	148 BNGEN	201	Manzano T ¹
57	156 BNGEN	205	Tecoautla 04 ¹
64	147 BNGEN	31	Gema ¹

NA: Número de accesión de *Physalis* spp; BNGEN: Banco Nacional de Germoplasma de Especies Nativas de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH). ¹Variedades del Programa de Mejoramiento Genético de Tomate de Cáscara de la UACH y registradas en el SNICS (SNICS, 2019).

4.2.7. Inoculación artificial

La inoculación se llevó a cabo un mes después del trasplante. EL inóculo se preparó moliendo hojas enfermas con sintomatología correspondiente a *Entyloma australe* Speg. (1×10^6 esporas/ml), y un surfactante hidrofílico (Tween 20); dicha mezcla se asperjó, con una mochila aspersora manual de 20 litros, sobre las plantas sanas ya establecidas en el invernadero.

4.2.8 Incidencia después de la inoculación

Después de la inoculación, se tomaron datos de incidencia a los 15 y 30 días, contando el número de plantas con síntomas por cada unidad experimental. Con base en el total de plantas establecidas se calculó el porcentaje de incidencia. No fue posible continuar la medición de incidencia ni llegar a cosecha debido a un severo ataque de virus. Se realizó análisis de varianza y prueba de comparación de medias de los datos transformados por la función arcoseno.

4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.3.1. Inoculación artificial

Este informe parece ser el primer registro de inoculación artificial de *Entyloma australe* Speg. en *Physalis spp.*

A pesar de ser nulos los estudios respecto a la forma de inoculación de *Entyloma australe* Speg., el método de inoculación empleado dio resultados positivos, manifestándose los primeros síntomas un mes después de la inoculación. La sintomatología coincide con lo reportado por Romero (1988) y Berra (1989), donde se observaron manchas blanquecinas por toda la planta, exceptuando las hojas más jóvenes, que posteriormente se tornaron café amarillentas, más o menos circulares y un poco levantadas en el envés que dan la apariencia de ampollas.

El éxito de la técnica utilizada en este trabajo de investigación coincide con lo reportado por Heath (1986), donde el éxito se basa en la posibilidad de que esporas viables se depositen sobre la superficie de la hoja sana, además de producir lesiones superficiales que facilitan la penetración del hongo. La técnica utilizada tiene la ventaja de ser rápida, lo que permite inocular un gran número de plantas en poco tiempo.

El método de inoculación artificial por aspersión de esporas de *Entyloma australe* Speg. en tomate de cáscara resultó efectivo y es el primer registro que se tiene para este patógeno.

4.3.2 Incidencia después de la inoculación

A los 15 días después de la inoculación no se presentaron síntomas. En el Cuadro 9 se presentan los resultados de incidencia a los 30 días después de la inoculación. No se encontraron diferencias significativas ($p = 0.05$) entre poblaciones. La incidencia varió desde cero en las poblaciones 66 (Verde 01), 133 (JAL 01) y 202 (Zafiro MSN), hasta 18.75 % en la población 12 (JAL 103). Se encontró al menos una planta con síntomas en el 87.5 % de las poblaciones inoculadas, lo que demuestra que es posible la inoculación del hongo por el método empleado, aunque con una baja eficiencia, pues sólo el 5.03 % del total de plantas inoculadas presentó síntomas. La baja eficiencia puede deberse a la técnica en sí, o a la variabilidad genética intrapoblacional, dado que el tomate de cáscara es alógama obligada (Peña-Lomelí, Magaña-Lira, Gámez-Torres, Mendoza-Celino, & Pérez-Grajales, 2018), y es posible encontrar individuos resistentes al hongo dentro de cada población.

Las tres poblaciones que no presentaron ninguna planta con síntomas pudieran tener resistencia genética al hongo, o bien, haber escapado a la inoculación por algún error en la técnica. Con base en esto, es pertinente estudiar a detalle dichas poblaciones y, en su caso, confirmar su resistencia genética al hongo. La población 202 (Zafiro MSN) fue reportada por Moncayo-Pérez, Magaña-Lira, Peña-Lomelí, Leyva-Mir, Sahagún-Castellanos y Pérez-Grajales (2020) como una de las menos susceptibles a *Entyloma* en una evaluación realizada en campo, donde también coincidió que la población 12 (JAL 103) fue la más susceptible.

Cuadro 9. Comparación de medias para la variable incidencia medida en 24 poblaciones de tomate de cáscara (*Physalis spp.*) 30 días después de la inoculación con *Entyloma australe* Speg.

	INC	INCT	POBLACIÓN	INC	INCT
5 (82 BNGEN)	6.25	10.22 a ^z	66 (Verde 01)	0.00	0.00 a ^z
11 (173 BNGEN)	6.25	10.22 A	87 (181 BNGEN)	4.17	8.39 a
12 (JAL 103)	18.75	25.57 A	106 (209 BNGEN)	4.17	8.39 a
14 (184 BNGEN)	4.17	8.39 A	133 (JAL 01)	0.00	0.00 a
15 (128 BNGEN)	2.08	4.20 A	172 (167 BNGEN)	2.08	4.20 a
18 (32 BNGEN)	6.25	7.50 A	203 (Gabriela)	6.25	12.59 a
26 (48 BNGEN)	2.08	4.20 A	204 (Puebla SM3)	6.25	10.22 a
35 (170 BNGEN)	4.17	8.39 A	202 (Zafiro MSM)	0.00	0.00 a
39 (Verde L.)	4.17	8.39 A	200 (Diamante)	4.17	6.02 a
55 (148 BNGEN)	4.17	8.39 A	201 (Manzano T)	10.42	15.89 a
57 (156 BNGEN)	6.25	12.59 A	205 (Tecoautla 04)	6.25	12.59 a
64 (147 BNGEN)	6.25	7.50 A	31 (Gema)	6.25	12.59 a
DMSH		26.42	DMSH		26.42

DMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta; INC: Incidencia; INCT: Incidencia tabulada.

^zMedias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente (Tukey, P = 0.05).

4.3.3. Caracterización morfológica

4.3.3.1. Identificación morfológica de *Entyloma australe* Sapeg.

Los criterios taxonómicos vigentes para los carbores como *Entyloma* son poco precisos, y en ocasiones incluso contradictorios, lo que dificulta cualquier sencilla identificación.

El agente causal se identificó como *Entyloma australe* Speg. basado en el huésped y en la morfología del patógeno. Esto coincide con lo mencionado por Fischer (1953) quien señala que esta parece ser la única especie de *Entyloma* que se presenta en 15 especies del género *Physalis*, además de incluir a especies del género *Lycopersicon spp.*, *Quincula spp.* y *Solanum spp.*

Moudue y Ainsworth (1984), mencionan que el hospedero en la taxonomía de los carbones es sumamente importante y que “la evolución de cada especie está íntimamente ligada con la del hospedante sobre el que vive. Se presenta una relación gen a gen entre los genes de resistencia del hospedante y los de virulencia del patógeno. Se produce una especialización en el parasitismo que no tiene correspondencia con semejanzas o diferencias morfológicas, por lo que la mayoría de las especies se han descrito sobre sus hospedantes básicos”.

La delimitación de especies en *Entyloma* es muy difícil debido a la sencilla morfología de la espora y la existencia de numerosas formas intermedias, por lo que sólo es posible la delimitación basada en la morfología en unos pocos casos; frecuentemente la identificación de las especies se basa en el hospedante. Por todo esto, se suelen presentar dos tipos de claves de géneros y/o especies; unas basadas en criterios morfológicos, principalmente caracteres de las esporas, y otras basadas en el taxón hospedante (Vanky, 1985). Por esta razón, la identificación del hospedante es de importancia primaria para la identificación del parásito.

Las estructuras visualizadas en la presente investigación fueron las siguientes:

1. Soros: presentes en las hojas, en cáliz de fruto e incluso en el fruto de *Physalis*, que forman manchas conspicuas de color blanquecino, irregulares, pero por lo general de circulares a elípticas (Figura 1)

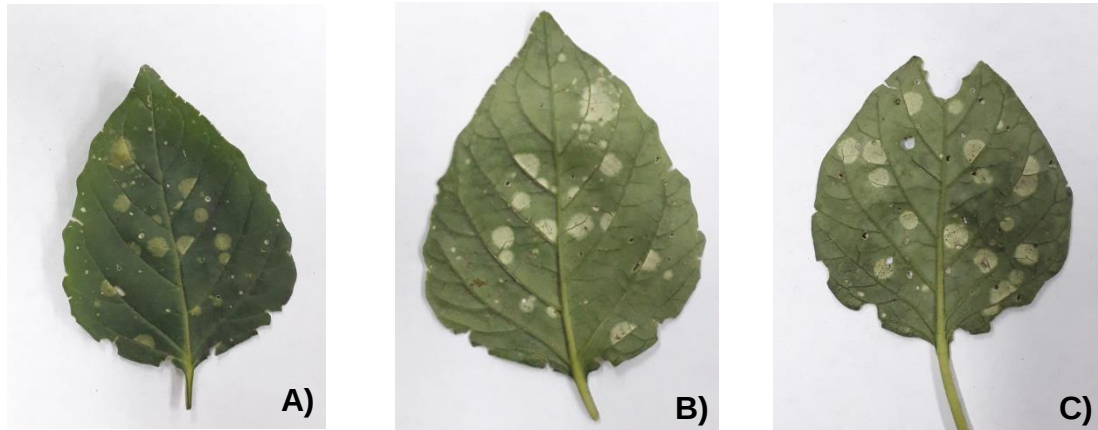


Figura 1. Caracterización morfológica de *Entyloma australe* Speg. A) Soros presentes en área foliar de *Physalis* spp. B) Sintomatología en haz. C) Sintomatología en envés.

2. Esporas. Unicelulares, usualmente lisas y más o menos globosas, de amarillentas a cafés y rara vez oscuras. Las esporas en ocasiones permanecen unidas por una cubierta hialina y gelatinosa, formando grupos irregulares de dos o más (Figura 2).

3. Esporas redondas de pared simple (gruesa) o doble (de pared muy junta), de 9.8 μ de diámetro (Figura 2).

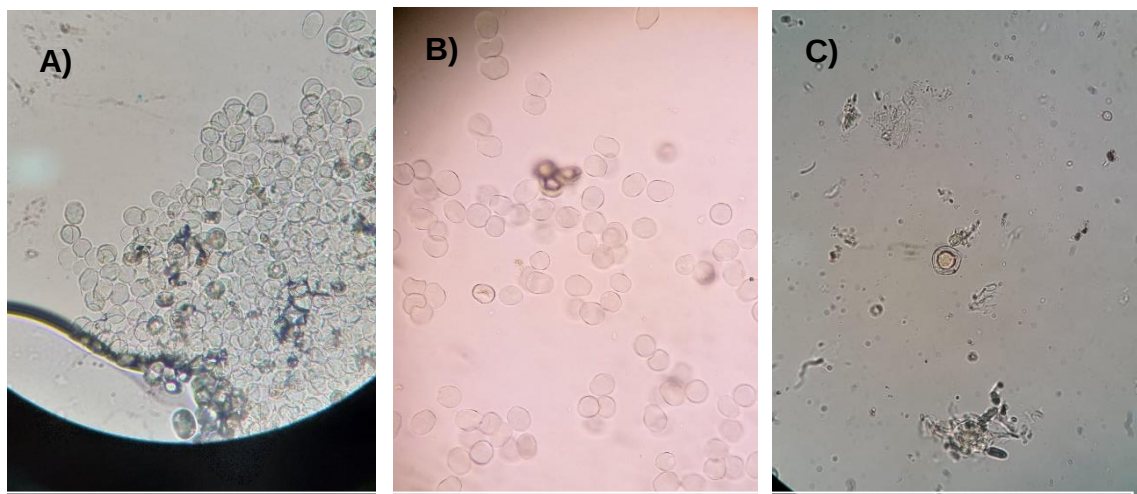


Figura 2. Caracterización morfológica de *Entyloma australe* Speg. observado en microscopio estereoscópico. A) Observación de grupo de esporas formadas dentro del tejido del huésped. B) Esporas redondas de pared simple. C) Esporas redondas de pared doble.

4. Conidióforos formando conidios (Figura 3).

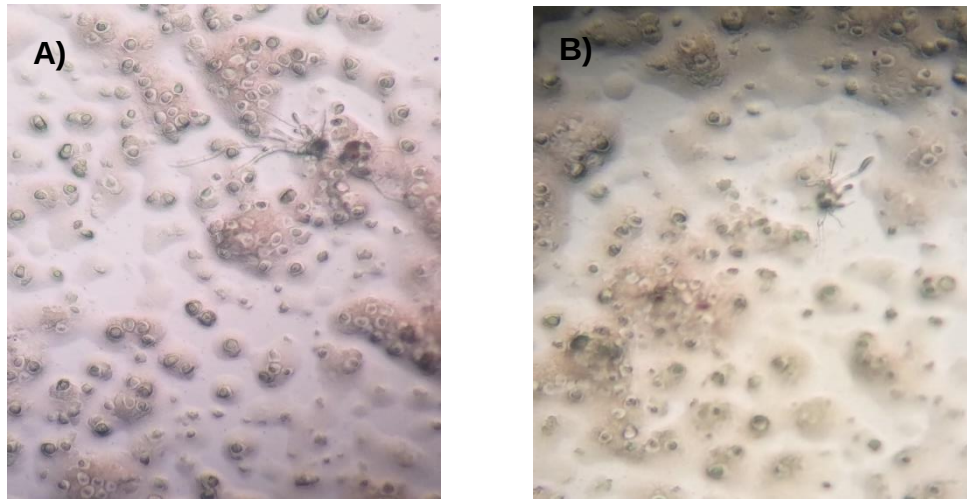


Figura 3. Germinación de espора de *Entyloma australe* Speg. A y B) Observación de conidios formando conidióforos.

El tamaño, la forma, el color de las esporas y la producción de fascículos de conidióforos se ajustan a la descripción de *E. australe* Speg. mencionadas por Fischer (1953).

Vanky (1985) menciona que mientras la distinción en familias se basa en la germinación de las esporas, la delimitación de los géneros se basa en los caracteres de los soros junto con los de las esporas y su germinación.

Por su parte, De Barry (1874) caracteriza el género *Entyloma* por la formación de teliosporas, la germinación de estas esporas con basidios similares a *tilletia*, y las típicas manchas de color blanco en las hojas.

Trabajos recientes como el de Koike, Glawe & Barlow (2010) confirman algunas de estas características y otorgan una mayor aceptación respecto a la identificación morfológica de este patógeno.

4.4. CONCLUSIONES

Las características morfométricas de las estructuras del patógeno y las imágenes observadas al microscopio permitieron determinar que *Entyloma australe* Speg. es el agente causal del carbón blanco en tomate de cáscara

El método de inoculación artificial por aspersión de esporas de *Entyloma australe* Speg. en tomate de cáscara resultó efectivo para corroborar la patogenicidad el hongo.

Las poblaciones 202 (Zafiro MSM) y 12 (JAL 103) pueden ser usadas para afinar la técnica de inoculación del hongo y estudiar la resistencia genética del cultivo.

4.5. BIBLIOGRAFÍA

- Berra, D. (1989). *Una epífita de la borraja (Borago officinalis L.): El carbón Entyloma serotinum Cif. Una incursión en la taxonomía del hongo. Boletín de Sanidad Vegetal. 15: 215-223.*
- Boutigny, A., Ward, T. & Ballois, N. (2014). *Diversity of the Fusarium graminearum species complex on French cereals. European journal of plant (138), 133–148.*
- Cochran, W. G. (1977). *Sampling techniques* (3th ed). New York: Wiley-Interscience. 428 p.
- De Bary, A. (1874) *Protomyces microsporus und seine Verwandten. Botanische Zeitung 32: 97–108.*
- Fischer, W. G. (1953). *Manual of North American smut fungi.* New York. N.Y: The Ronald Press Company. 343 p.
- Heath, M. C. (1986). *Fundamental questions related to plant-fungal interactions: can recombinant DNA technology provide the answers?, in. Biology and molecular biology of Plant-Pathogen interactions, Cell Biology. 1. 15-28.*
- Moncayo-Pérez, C. D.; Magaña-Lira, N.; Peña-Lomelí, A.; Leyva-Mir, S. G.; Sahagún-Castellanos, J.; Pérez-Grajales, M. 2020. *White smut (Entyloma australe Speg.) resistance in tomatillo (Physalis spp.) germplasm. Revista Chapingo Serie Horticultura 26 (1): 65-77. doi: 10.5154/r.rchsh.2019.09.016*
- Mordue, M.; & Ainsworth, G. C. (1984). *Ustilaginales of the British Isles. Mycological Papers 154.*

Piña, A. C., & Ponce, G. F. (1990). *Etiología y control del carbón del tomate de cáscara (Physalis ixocarpa) en Luvianos y Villa Guerrero, México. Revista Chapingo*, 15 (67-68), 22-25.

Peña-Lomelí, A.; Magaña-Lira, N.; Gámez-Torres, A.; Mendoza-Celino, F. A.; Pérez-Grajales, M. 2018. *Manual pollination in two tomatillo (Physalis ixocarpa Brot. ex Horm.) varieties under greenhouse conditions. Revista Chapingo Serie Horticultura* 24 (1): 41-52. doi 10.5154/r.rchsh.2017.02.011

Regnault, A., Duval, E., Pitón, F., & Sauvage, M. (1975). *Premiers résultats concernant la germination et la culture in vitro du charbon Ustilago hypodytes (Schlecht) Fr. parasite du Bromus erectus Huds. Bull. Soc. Myg. Fr.* 91. fasc. 3.

Romero, C. S. (1988). *Hongos Fitopatógenos*. Chapingo, México: Universidad Autónoma Chapingo. 347 p.

Santiaguillo-Hernández, J. F., Vargas-Ponce, O., Grimaldo k-Juárez, O., Magaña-Lira, N., Caro-Velarde, F., Peña-Lomelí, A., & Sánchez-Martínez, S. (2012). *Diagnóstico del tomate de cáscara*. México: Universidad Autónoma Chapingo. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/283492117_Diagnostico_del_Tomate_de_Cascara

Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2018). Consultado 08-julio-2019 en: <http://www.siap.gob.mx>

Steiner, A. A. (1984). The universal nutrient solution. In: *Proceedings 6th International Congress on Soilless Culture* (pp. 633-650). Nueva York, USA: International Society for Soilless Culture.

Tuite, J. (1969). *Plant Pathological Methods-Fungi and Bacteria*. Burgess Publishing Company Minneapolis. Minnesota. 239 p.

Valtierra, P. E., & Ramos S. A. (2003). *Programa estratégico de necesidades de investigación y transferencia de tecnología de la cadena productiva de tomate verde en el estado de Puebla*. Puebla, México: Fundación Produce Puebla, Gobierno del estado de Puebla. 237 p.

Vanky, K. (1985). *Carpathian Ustilaginales*. Acta Universitatis Upsaliensis. *Symbolae Botanicae Upsalienses*. 24 (2), 1-309.