

White smut (*Entyloma australe* Speg.) resistance in tomatillo (*Physalis* spp.) germplasm

Resistencia al carbón blanco (*Entyloma australe* Speg.) en germoplasma de tomate de cáscara (*Physalis* spp.)

Cristhyan David Moncayo-Pérez; Natanael Magaña-Lira; Aureliano Peña-Lomelí*; Santos Gerardo Leyva-Mir; Jaime Sahagún-Castellanos; Mario Pérez-Grajales

Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Texcoco, Estado de México, C. P. 56230, MÉXICO.

*Corresponding author: aplomeli@correo.chapingo.mx

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.

Keywords: Pathogenic fungi, occurrence, severity, genetic resistance, tomatillo.

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.



Introduction

Tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) is found among the horticulture crops destined for domestic consumption and with major importance in Mexico, it is only surpassed by chile (*Capsicum annum* L.), potato (*Solanum tuberosum* L.), tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and onion (*Allium cepa* L.). The domestic area dedicated to this crop is 41,318 ha, with an average yield of 18.9 t ha⁻¹ (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2018), although diverse investigations mention that the potential of the best selected seeds can reach up to 45 t ha⁻¹ (Peña-Lomelí, Ponce-Valerio, Sánchez-del Castillo, & Magaña-Lira, 2014). In this regard, there are perspectives to improve their importance by increasing yield and the per capita consumption (Santiagoullo-Hernández et al., 2012), this would increase the producers' financial income by improving their productivity, industrialization and exportation.

Tomatillo is included in several regional dishes highly consumed in Mexico (Santiagoullo-Hernández, Vargas-Ponce, Grimaldo-Juárez, Sánchez-Martínez, & Magaña-Lira, 2009). Its use dates back to the Maya civilization and more recently to the Aztecs, where it was an integral part of their diet along with maize (*Zea mays* L.), beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and chile. The species *Physalis ixocarpa* is native to Mexico and it is still found in the wild from Central America to the United States of America (Valtierra & Ramos, 2003).

The Autonomous University Chapingo has 407 *Physalis* accessions (sheltered in the National Bank of Vegetable Germplasm), which are a representative sample of the genetic variability found in Mexico (Santiagoullo-Hernández et al., 2012). It is important to evaluate the performance in the field of the germplasm sheltered *ex situ*, since it is a potential source of resistance genes to pathogens (Peña-Lomelí, Santiagoullo-Hernández, & Magaña-Lira, 2007). The accessions identified as tolerant or resistant could be incorporated to plant breeding programs to develop new commercial varieties (Pérez-Grajales, Márquez-Sánchez, & Peña-Lomelí, 1998).

Diseases are one of the main agents that reduce crop yield, therefore it is necessary to know the causal agent in order to generate efficient control strategies that will avoid aggravating the sanitary state of the crop. In order to do so, accurate diagnosis obtained from substantial basic information is required (Apodaca-Sánchez, Barreras-Soto, Cortez-Mondaca, & Quintero-Benítez, 2008).

Tomatillo, as most of the cultivated plants, is attacked by a diversity of pathogens among which fungi and viruses stand out. Some fungi have been identified and their pathology is known. However, there is still the need to study a lot of pathogens with financial

Introducción

Dentro de los cultivos hortícolas destinados al consumo nacional y con mayor importancia en México se encuentra el tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.), superado únicamente por el chile (*Capsicum annum* 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 41,318 ha, con un rendimiento promedio aproximado de 18.9 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 45 t ha⁻¹ (Peña-Lomelí, Ponce-Valerio, Sánchez-del Castillo, & Magaña-Lira, 2014). En este sentido, existen perspectivas para mejorar su importancia al incrementar el rendimiento y el consumo *per cápita* (Santiagoullo-Hernández et al., 2012), lo que aumentaría los ingresos económicos de los productores al mejorar la productividad, la industrialización y la exportación.

El tomate de cáscara forma parte de muchos platillos regionales de consumo abundante en México (Santiagoullo-Hernández, Vargas-Ponce, Grimaldo-Juárez, Sánchez-Martínez, & Magaña-Lira, 2009). Su aprovechamiento data de los tiempos de la cultura Maya, y más recientemente de los Aztecas, donde era parte integral de su dieta junto con el maíz (*Zea mays* L.), el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y el chile. La especie *Physalis ixocarpa* es originaria de México, y aún se encuentra de forma silvestre desde Centroamérica hasta Estados Unidos de América (Valtierra & Ramos, 2003).

La Universidad Autónoma Chapingo cuenta con 407 accesiones de *Physalis* (resguardadas en el Banco Nacional de Germoplasma Vegetal), las cuales son una muestra representativa de la variabilidad genética encontrada en México (Santiagoullo-Hernández et al., 2012). Es importante evaluar el comportamiento en campo del germoplasma resguardado *ex situ*, pues es fuente potencial de genes de resistencia a fitopatógenos (Peña-Lomelí, Santiagoullo-Hernández, & Magaña-Lira, 2007). Las accesiones identificadas como tolerantes o resistentes podrían ser incorporadas a programas de mejoramiento genético para el desarrollo de nuevas variedades comerciales (Pérez-Grajales, Márquez-Sánchez, & Peña-Lomelí, 1998).

Las enfermedades son uno de los principales agentes que reducen el rendimiento de los cultivos, lo que hace necesario conocer su agente causal con el fin de generar estrategias de control eficientes que eviten agravar el estado sanitario del cultivo. Para ello, se requieren diagnósticos certeros obtenidos con base en información básica abundante (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

significance in this crop. Such is the case of the organism that causes the disease known as “white smut” or “frog-eye”, which has not been satisfactorily controlled because it reduces yield considerably when it interacts with other pathogens or attacks by itself. This disease occurs in successive crop cycles which increases its occurrence and therefore its damage. This requires the design of a satisfactory control through a thorough study of the causal agent (Piña-Aguilar & Ponce-González, 1990).

Based on the aforementioned information, the objective of this research was to evaluate the damage caused by *Entyloma australe* Speg. (white smut) in 24 tomatillo materials (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) with the purpose of determining their degree of resistance or susceptibility, as well as the impact of this pathogen in fruit yield.

Materials and methods

The study was made in the agricultural cycles spring-summer and summer-fall in 2017. In both cases, it was established in Plot X-3 in the Experimental Agricultural Field of the Autonomous University Chapingo, Mexico; located in the geographical coordinates 19° 29' 20.4" north latitude and 98° 52' 26.7" west longitude, at 2,250 masl. This plot was selected because in previous studies, in the spring-summer cycle in 2014, 2015 and 2016, tomatillo cultivations were attacked by white smut, thus it was considered a plot infested with this disease.

The prevailing climate in Chapingo is Cb(Wo)(W)b(i'), defined as temperate sub-humid with rains in the summer, with less than 5 % rainfall in the winter, slight thermal oscillation, fresh summers and an annual average rainfall of 636 mm. The mean annual temperature in this area is between 12 and 18 °C, with a variation of less than 5 °C (García, 1988).

Seventeen accessions of *Physalis* spp. pertaining to the Germplasm Bank of Native Species of the Crop Science Department of the Autonomous University Chapingo (Table 1) were evaluated to determine if some could be resistant to the attack of *Entyloma australe* Speg. These accessions were selected based on a previous study (unpublished information), in which they were listed as candidate accessions resistant to the tobacco mosaic virus, cucumber mosaic virus, alfalfa mosaic virus, tomato spotted wilt virus and the tobacco etch virus. Additionally, seven varieties from the plant breeding program of tomatillo of the Autonomous University Chapingo were evaluated (Table 1).

In the spring-summer cycle in 2017, the accessions were sowed on February 25, commercial substrate peat moss was used as well as 200 cavity polystyrene trays. Two

patógenos, entre los que destacan los hongos y los virus. Algunos hongos ya han sido identificados y se conoce su patología; sin embargo, aún falta estudiar muchos patógenos con importancia económica en este cultivo. Tal es el caso del organismo causante de la enfermedad conocida como “carbón blanco” u “ojo de rana”, el cual no ha sido controlado satisfactoriamente, ya que al interactuar con otros patógenos, o atacando solo, reduce considerablemente el rendimiento. Dicha enfermedad se presenta en ciclos de cultivo sucesivos, lo que aumenta su incidencia y, por lo tanto, sus daños, esto obliga a diseñar un control satisfactorio mediante el estudio cabal del agente causal (Piña-Aguilar & Ponce-González, 1990).

Con base en lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar los daños causados por *Entyloma australe* Speg. (carbón blanco) en 24 materiales de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.), con el propósito de determinar su grado de resistencia o susceptibilidad, así como el impacto de este patógeno en el rendimiento de fruto.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en los ciclos agrícolas primavera-verano y verano-otoño de 2017. En ambos casos, se estableció en el Lote X-3 del Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, México, ubicado en las coordenadas geográficas 19° 29' 20.4" latitud norte y 98° 52' 26.7" longitud oeste, a 2,250 msnm. Este lote se seleccionó debido a que en estudios previos, en el ciclo primavera-verano de los años 2014, 2015 y 2016, se presentó el ataque del 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 es Cb(Wo)(W)b(i'), definido como templado subhúmedo con lluvias en verano, con precipitación invernal menor a 5 %, poca oscilación térmica, veranos frescos y régimen de precipitación media anual de 636 mm. La temperatura media anual de esta zona se ubica entre los 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 alguna podría ser resistente al ataque de *Entyloma australe* Speg. Dichas accesiones se seleccionaron con base en un estudio previo (información no publicada), en el cual se catalogaron como candidatas de resistencia al virus mosaico del tabaco, virus mosaico del pepino, virus mosaico de la alfalfa, virus de la marchitez manchada del tomate y virus jaspeado del tabaco. Además, se evaluaron siete variedades del programa de mejoramiento genético de tomate de cáscara de la Universidad Autónoma Chapingo (Cuadro 1).

Table 1. Relation of evaluated accessions of *Physalis* spp.
Cuadro 1. Relación de accesiones de *Physalis* spp. evaluadas.

Accession number / Número de accesión	Code /Clave	Accession number / Número de accesión	Code /Clave
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

BNGEN: National Germplasm Bank of Native Species of the Autonomous University Chapingo. ¹Varieties from the plant breeding program of tomatillo of the Autonomous University Chapingo and registered in the National Inspection and Seed Certification Service (SNICS, 2019).

BNGEN: Banco Nacional de Germoplasma de Especies Nativas de la Universidad Autónoma Chapingo. ¹Varietades del programa de mejoramiento genético de tomate de cáscara de la Universidad Autónoma Chapingo y registradas en el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS, 2019).

to three seeds were placed per cavity and subsequently one plant was left per cavity. Seedlings were kept under greenhouse conditions and they were irrigated every three days with a Steiner nutrient solution (Steiner, 1984) at 50 % for three weeks; afterwards, they were irrigated on a daily basis with a Steiner nutrient solution at 100 %. The field was prepared with one fallow and one crossed-harrowing, spacing between furrows was of 1.2 m. Each furrow was prepared with a 16 mm pipe with self-compensated droppers and with a distance of 30 cm between them. Transplanting was carried out 34 days after sowing.

A randomized blocks design with four repetitions was established, placing 22 plants per experimental unit in a furrow of 6.3 m in length and 1.2 m in width, with a distance of 30 cm between plants. Deep-fertilization was applied with commercial products urea, diammonium phosphate and potassium chloride (100 N - 100 P₂O₅ - 50 K₂O, respectively). During the development of the crop, 50 kg of urea per hectare were irrigated each week. Nutrition was completed with applications of foliar liquid fertilizer (Bayfolan Forte® + adhesive) to provide minor elements. PLAGUES were controlled with Imidacloprid (Confidor®) and Methomyl 90 % (Lannate®), and weed control was carried out by hand hoeing and hand weeding.

In the summer-fall cycle in 2017, sowing was carried out on June 24. Seedbed and land preparation management was the same as the previous cycle, transplanting was carried out 41 days after sowing at a distance of 30 cm between plants. In this case, 15 plants were placed per

En el ciclo primavera-verano de 2017, la siembra se realizó el 25 de febrero, para lo cual se utilizó el sustrato comercial turba (peat-moss) y charolas de poliestireno de 200 cavidades. Se depositaron de dos a tres semillas por cavidad, y posteriormente se dejó una planta por cavidad. La plántula se mantuvo en condiciones de invernadero y se regó cada tercer día con solución nutritiva de Steiner (Steiner, 1984) al 50 % durante tres semanas; después los riegos fueron diarios con solución nutritiva de Steiner al 100 %. El terreno se preparó con un barbecho y un rastreo cruzado, y el surcado se realizó a 1.2 m de distancia. 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 en un surco de 6.3 m de largo y 1.2 m de ancho, a una distancia de 30 cm entre plantas. Se aplicó una fertilización de fondo con los productos comerciales urea, fosfato diamónico y cloruro de potasio (100 N - 100 P₂O₅ - 50 K₂O, 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 se controlaron con Imidacloprid (Confidor®) y Metomilo 90 % (Lannate®), y el control de malezas se realizó mediante escardas y deshierbes manuales.

En el ciclo verano-otoño de 2017, la siembra se realizó el 24 de junio. El manejo del semillero y la preparación

experimental unit. Repetitions, plant distribution and the experimental design were the same as the previous cycle, as well as fertilizations, plague and weed control.

The characteristics evaluated in the first cycle were:

Occurrence. Determined by the number of sick plants per experimental unit 15 days after transplanting (dat), every 15 days in five samplings.

Severity. In this variable, the intensity of the symptoms in the plants was considered by using the Doble Digit scale proposed by Saari and Prescott (1975) and modified by Eyal, Scharen, Prescott and van Ginkel (1987). The Doble Digit scale specifies the location or height of the disease in a plant through the first digit and the second digit indicates the level or percentage of damage (1 = 0 %, 2 = 25 %, 3 = 50 %, 4 = 75 % y 5 = 100 %). Severity evaluations were carried out every 15 dat. A total of five evaluations were made.

Area under the disease progress curve (AUDPC). The occurrence and severity data obtained was used to determine the progress of the disease and the response of the materials to the fungus, through the calculation of the AUDPC analysis, which was calculated with the trapezoidal rule integration method (Campbell & Madden, 1990) using the following equation:

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

where n is the number of measurements of the disease in time, $(Y_{i+1} + Y_i)/2$ is the midpoint between Y_i y Y_{i+1} which represents the amount of the disease in a time interval corresponding to the height of each rectangle, and $X_{i+1} - X_i$ represents the amount of time (d) between two evaluations of the disease and it indicates the width of the trapezoid.

Plant height (cm). It was measured 30 dat in 10 plants previously tagged, from the surface of the ground to the tip of the highest branch.

Yield per plant. This variable was determined in the first (RP1, kg per plant) and second (RP2; kg per plant) harvest carried out 72 and 83 dat respectively, and total yield per plant (TYP; kg) was obtained by adding RP1 and RP2.

Weight (g). the weight of 10 fruits was determined in the first (PF1) and second (PF2) harvest, the average weight (AFW) of the fruits was obtained afterwards from the information gathered in the first and second harvest.

del terreno fueron igual que en el ciclo anterior. 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, así como las fertilizaciones, el control de plagas y el de malezas.

Los caracteres evaluados en el primer ciclo fueron:

Incidencia. Determinada a partir del número de plantas enfermas por unidad experimental a los 15 días después del trasplante (ddt), cada 15 días en cinco muestreos.

Severidad. En esta variable se consideró la intensidad de síntomas en las plantas mediante la escala de Doble Dígito propuesta por Saari y Prescott (1975) y modificada por Eyal, Scharen, Prescott, y van Ginkel (1987). La escala de Doble Dígito precisa 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 (1 = 0 %, 2 = 25 %, 3 = 50 %, 4 = 75 % y 5 = 100 %). Las evaluaciones de severidad se realizaron cada 15 días a partir de los 15 ddt. En total se hicieron cinco evaluaciones.

Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE). Los datos obtenidos en 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 ABCPE, el cual se calculó con el método de integración trapezoidal (Campbell & Madden, 1990) utilizando la siguiente ecuación:

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

donde n es el número de mediciones de la enfermedad en el tiempo, $(Y_{i+1} + Y_i)/2$ 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 $X_{i+1} - X_i$ representa el tiempo (d) entre dos evaluaciones de la enfermedad e indica la anchura de cada trapecio.

Altura de la planta (cm). Se midió a los 30 ddt en 10 plantas previamente marcadas, desde la superficie del suelo hasta la punta de la rama más alta.

Rendimiento por planta. Esta variable se determinó en los cortes uno (RP1, en kg por planta) y dos (RP2; kg por planta) realizados a los 72 y 83 ddt, respectivamente, y el rendimiento total por planta (RTP; kg) se obtuvo a partir de la suma de RP1 y RP2.

Volume of fruits of the first harvest (VOL; cm³). This variable was estimated through the volume of water displaced by the fruits in a 2 L graduated cylinder containing 1 L of water.

In the second harvest cycle it was not possible to evaluate all of the aforementioned variables because in addition to the damage caused by *Entyloma australe* Speg., there were severe symptoms caused by *Fusarium* spp., which prevented the plant's development. In the second harvest, only PH, occurrence, severity and AUDPC were evaluated and registered the same way as in the first cycle, but in this cycle only four samplings were carried out.

In order to carry out the morphological characterization of the pathogen, sick vegetable material was collected. Then, a cluster sampling was carried out (Cochran, 1977) in a *cinco de oros* pattern. In each cluster, from a symptomatic leaf per plant, Koch's postulates were tested to confirm the presence of the pathogen. Finally, it was compared with the morphology described by Fischer (1953), Holliday (1980) and Zundel (1953).

The effect of each evaluated population on the variables was studied through a variance analysis and Tukey's comparison test ($P \leq 0.05$). The statistical analyses were made with SAS program version 9.3 (SAS Institute Inc., 2011).

Results and discussion

Symptomatology

During the first cultivating cycle, symptomatology was observed 30 dat, through yellowish brown spots more or less circular and slightly lifted on the backside of the leaf, resembling blisters. These characteristics coincide with the description made by Romero (1988). With Koch's postulates, it was confirmed that the symptoms corresponded to *Entyloma australe* Speg.

In the second cycle, the disease became obvious 15 dat with the same symptomatology described by Romero (1988). Due to intensive rain and the difficulty to weed periodically, as it is usual in this crop, plants did not receive proper nutrition, which had a possible influence on its susceptibility (Velasco-Velasco, 1999). In addition to the aforementioned information, this cycle also presented *Fusarium* spp., according to the symptomatology described by Agrios (2005), which caused the death of many plants.

Variance analysis

The results of the variance analysis of the first cycle (spring-summer 2017) show a highly significant effect

Peso (g). Se determinó el peso de 10 frutos en los cortes uno (PF1) y dos (PF2), y posteriormente se obtuvo el peso promedio de frutos (PPF) a partir de la información obtenida en los cortes uno y dos.

Volumen de frutos en el primer corte (VOL; cm³). Esta variable se estimó mediante el volumen de agua desplazada por los frutos en una probeta de 2 L con 1 L de agua.

En el segundo ciclo de cultivo no fue posible evaluar todas las variables mencionadas anteriormente ya que, aunado al daño por *Entyloma australe* Speg., se presentaron síntomas severos ocasionados por *Fusarium* spp., lo cual evitó el desarrollo de la planta. En el segundo ciclo solo se evaluaron AP, incidencia, severidad y ABCPE, tal como se registraron en el primer ciclo, excepto que en éste sólo se hicieron cuatro muestreos.

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

El efecto de cada población evaluada sobre las variables se estudió a través de un análisis de varianza y una comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). Los análisis estadísticos se hicieron con el programa estadístico SAS versión 9.3 (SAS Institute Inc., 2011).

Resultados y discusión

Sintomatología

Durante el primer ciclo de cultivo, la sintomatología comenzó a observarse a los 30 ddt, mediante manchas café amarillentas más o menos circulares y un poco levantadas en el envés, que daban la apariencia de ampollas; estas características coinciden con lo descrito por Romero (1988). Mediante los postulados de Koch, se confirmó que los síntomas observados correspondían al ataque de *Entyloma australe* Speg.

En el segundo ciclo, la enfermedad comenzó a ser evidente a partir de los 15 ddt, con la misma sintomatología descrita por Romero (1988). Debido a las intensas lluvias y a la dificultad para realizar escardas periódicas, como es habitual en el cultivo, las plantas no recibieron la nutrición adecuada, lo que posiblemente influyó en su susceptibilidad (Velasco-Velasco, 1999). Aunado a lo anterior, en este ciclo también se presentó *Fusarium* spp.,

of the populations on the nine evaluated and analyzed variables (Table 2), which was also observed in the second cultivating cycle (summer-fall 2017) in PH and AUDPC (Table 3).

Comparison of means tests of the first cultivating cycle

Plant Height

The results in the comparison of means test of the first cultivating cycle (Table 4) show that the variety Manzano T was the highest (erect), although it was statistically the same as the varieties Puebla SM3 and Gema, and accessions 5 (82 BNGEN), 15 (128 BNGEN), 39 (Verde L.), 57 (156 BNGEN) and 172 (167 BNGEN). Accession 12 (JAL 103) showed the lowest PH, but it was the same as ($P \leq 0.05$) the other eleven accessions, which means that their growth habit is creeping or prostrate. Peña-Lomelí et al. (2011) describe that there

de acuerdo con la sintomatología descrita por Agrios (2005), lo cual ocasionó la muerte de las plantas.

Análisis de varianza

Los resultados del análisis de varianza del primer ciclo (primavera-verano de 2017) muestran un efecto altamente significativo de las poblaciones sobre las nueve variables evaluadas y analizadas (Cuadro 2), lo cual también se observó en el segundo ciclo de cultivo (verano-otoño de 2017) en cuanto a la AP y al ABCPE (Cuadro 3).

Pruebas de comparación de medias del primer ciclo de cultivo

Altura de planta

Los resultados de la comparación de medias del primer ciclo de cultivo (Cuadro 4) muestran que la variedad Manzano T fue la de mayor altura (erecta), aunque

Table 2. Variance analysis of nine variables measured in 24 tomatillo (*Physalis* spp.) populations according to their behavior in presence of *Entyloma australe* Speg. in the first cycle (spring-summer 2017).

Cuadro 2. Análisis de varianza de nueve variables medidas en 24 poblaciones de tomate de cáscara (*Physalis* spp.) de acuerdo con su comportamiento en presencia de *Entyloma australe* Speg. en el primer ciclo (primavera-verano de 2017).

SV/ FV	DF/ GL	PH/ AP	YP1/ RP1	YP2/ RP2	TYP/ RTP	VOL	FW1/ PF1	FW2/ PF2	AFW/ PPF	AUDPC/ ABCPE
Block/ Bloque	3	277.5**	23,983.1*	1,734.5 ^{ns}	14,546.3 ^{ns}	25,278.1*	11,558.8 ^{ns}	11,212.1*	12,636.9**	12,833.8*
Pop/ Pob	23	196.3**	227,799**	15,471.4**	287,388.3**	169,281.2**	185,028.9**	56,667.8**	110,179.3**	187,263.6**
Error	69	34.4	7,525.1	5,760.8	14,219.8	8,598.3	4,496.5	2,568	2,243	88,489.2
Total	95									
CV		7.9	27.41	53	25.9	36.1	23.3	29	20.7	84.3

SV = source of variation; Pop = populations evaluated; CV = coefficient of variation; DF = degrees of freedom; PH = plant height (cm); YP1 y YP2 = yield per plant in harvest one and two, respectively (kg); TYP = total yield per plant (kg); VOL = volume of 10 fruits (mL); FW1 y FW2 = weight of 10 fruits in harvest 1 y 2, respectively (g); AFW = average weight of 10 fruits (g); AUDP = area under the disease progress curve. *, ** significant with $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$, respectively; ns = non-significant.

FV = fuentes de variación; Pob = poblaciones evaluadas; CV = coeficiente de variación; GL = grados de libertad; AP = altura de la planta (cm); RP1 y RP2 = rendimiento por planta en los cortes 1 y 2, respectivamente (kg); RTP = rendimiento total por planta (kg); VOL = volumen de 10 frutos (mL); PF1 y PF2 = peso de 10 frutos en los cortes 1 y 2, respectivamente (g); PPF = 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.

Table 3. Variance analysis of two variables measured in 24 populations of tomatillo (*Physalis* spp.) according to their behavior in presence of *Entyloma australe* Speg. in the second cycle (summer-fall 2017).

Cuadro 3. Análisis de varianza de dos variables medidas en 24 poblaciones de tomate de cáscara (*Physalis* spp.) de acuerdo con su comportamiento en presencia de *Entyloma australe* Speg. en el segundo ciclo (verano-otoño de 2017).

Source of variation/Fuente de variación	DF/GL	PH/AP	AUDPCD/ABCPE
Block/Bloque	3	3.3**	149,307.0**
Evaluated populations/Poblaciones evaluadas	23	26.7**	43,437.5**
Error	69	6.7	89,669.3
Total	95		
Coefficient of variation/Coeficiente de variación		17.1	87.9

DF = degrees of freedom; PH = plant height (cm); AUDPC = area under the disease progress curve. ** = significant with $P \leq 0.01$.

GL = grados de libertad; AP = altura de la planta (cm); ABCPE = área bajo la curva del progreso de la enfermedad. ** = significativo con $P \leq 0.01$.

Table 4. Comparison of means of four variables measured in 24 populations of tomatillo (*Physalis* spp.) according to their behavior in presence of *Entyloma australe* Speg. in the first cycle (spring-summer 2017).

Cuadro 4. Comparación de medias de cuatro variables medidas en 24 poblaciones de tomate de cáscara (*Physalis* spp.) de acuerdo con su comportamiento en presencia de *Entyloma australe* Speg. en el primer ciclo (primavera-verano de 2017).

Population / Población	PH / AP	YP1 / RP1	YP2 / RP2	TYP / RTP
5 (82 BNGEN)	80.05 abc ^z	27.1 ij	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
LHSD / DMSH	15.71	232.4	203.3	319.4

LHSD = least honest significant difference; PH = plant height (cm); YP1 and YP2 = yield per plant in harvest 1 and 2, respectively (kg); TYP = total yield per plant (kg); ^zMeans with the same letter within each column are not statistically different (Tukey, $P \leq 0.05$).

DMSH = diferencia mínima significativa honesta; AP = altura de la planta (cm); RP1 y RP2 = rendimiento por planta en los cortes 1 y 2, respectivamente (kg); RTP = rendimiento total por planta (kg); ^zMedias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

is genetic diversity in growth habits in tomatillo that vary from erect, semi-erect and prostrate, which coincide with what was found in the behavior of the evaluated materials.

Yield and size of the fruit

In the results obtained for the variables regarding yield (Table 4), it can be observed that the control varieties (Diamante, Manzano T, Zafiro MSM, Gabriela, Puebla SM3, Tecozautla 04 y Gema) were superior to the accessions of the germplasm bank, except 12 (JAL 103). This is because the control evaluated varieties are product of the plant breeding program (Sánchez-Martínez & Peña-Lomelí, 2015), where the main selection criteria has been yield, and the accessions are cultivated as well as wild accessions (Peña-Lomelí et al., 2008, 2014).

fue estadísticamente igual que las variedades Puebla SM3 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 AP, pero fue igual ($P \leq 0.05$) que otras once accesiones, lo que indica que su hábito de crecimiento es rastrero o postrado. Peña-Lomelí et al. (2011) describen que en el tomate de cáscara existe una gran diversidad genética en hábitos de crecimiento que varían desde erecto, semi-erecto y postrados, lo que coincide con lo encontrado en el comportamiento de los materiales evaluados.

Rendimiento y tamaño de fruto

En los resultados obtenidos en las variables correspondientes al rendimiento (Cuadro 4), se puede observar que las variedades testigo (Diamante, Manzano T,

The variety Tecozautla 04 was the highest in average fruit weight and volume (biggest fruit size), but it was the same as ($P \leq 0.05$) Gema, Manzano T and Puebla SM3 in AFW and as Gema, Manzano T, Puebla SM3, Diamante and Gabriela in VOL (Table 5). This indicated that the varieties Diamante and Gabriela have big fruits, but less specific weight, this could be because the breeding program has focused in the number and size of the fruits as main selection criteria (Peña-Lomelí et al., 2002; Santiaguillo-Hernández, Cervantes-Santana, & Peña-Lomelí, 2004).

Regarding the evaluated accessions, 12 (JAL 103) presented the highest fruit yield. The accessions that had the lowest yields and smaller fruit size were 26 (48 BNGEN) and 133 (JAL 01) because they are wild

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, mientras que las accesiones son colectas tanto cultivadas como silvestres (Peña-Lomelí 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 ($P \leq 0.05$) que Gema, Manzano T y Puebla SM3 en el PPF, y que Gema, Manzano T, Puebla SM3, Diamante y Gabriela en el VOL (Cuadro 5). Esto indica que las variedades Diamante y Gabriela son de

Table 5. Comparison of means of five variables measured in 24 tomatillo (*Physalis* spp.) populations according to their behavior in presence of *Entyloma australe* Speg. in the first cycle (spring-summer 2017).

Cuadro 5. Comparación de medias de cinco variables medidas en 24 poblaciones de tomate de cáscara (*Physalis* spp.) de acuerdo con su comportamiento en presencia de *Entyloma australe* Speg. en el primer ciclo (primavera-verano de 2017).

Population / Población	VOL	FW1 / PF1	FW2 / PF2	AFW / PPF	AUDPC / ABCPE
5 (82 BNGEN)	17.5 f ^c	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 fj	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 i	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 i	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 (Tecozautla 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
LHSD / DMSH	248.4	182.3	135.7	126.9	419.6

LHSD = least honest significant difference VOL = volume of 10 fruits (mL); FW1 y FW2 weight of 10 fruits in harvest 1 y 2, respectively (g); AFW = average weight of 10 fruits (g); AUDPC = area under the disease progress curve. ^aMeans with the same letter within each column are not statistically different (Tukey, $P \leq 0.05$).

DMSH = diferencia mínima significativa honesta; VOL = volumen de 10 frutos (mL); PF1 y PF2 = peso de 10 frutos en los cortes 1 y 2, respectivamente (g); PPF = peso promedio de 10 frutos (g); ABCPE = área bajo la curva del progreso de la enfermedad. ^aMedias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

materials and of less productive potential (Peña-Lomelí & Santiaguillo-Hernández, 1999; Peña-Lomelí et al., 2011)

Area under the disease progress curve

Regarding AUDPC in the first cultivating cycle, accessions 64 (147 BNGEN), 26 (48 BNGEN), 11 (173 BNGEN), 14 (184 BNGEN), 39 (Verde L), 55 (148 BNGEN) and 172 (167 BNGEN) stood out due to their major degree of tolerance to *Entyloma australe* Speg. (Table 5), but not due to their yield and fruit size (Table 4 and 5), which coincide with Escalante-Ortiz and Farrera-Pino (2004), who indicate that lower AUDPC values correspond to materials with less disease severity. It is worth highlighting that in previous unpublished research, accessions 26 (48 BNGEN), 12 (JAL 103), 15 (128 BNGEN), 56 (88 BNGEN), 64 (147 BNGEN) and 147 (201 BNGEN) showed resistance to *Fusarium oxysporum* in an independent evaluation. Based on the aforementioned information, it can be mentioned that accessions 26 (48 BNGEN) and 64 (BNGEN) are of high value to a plant breeding program for disease resistance (Peña-Lomelí et al., 2007). Within the group of improved varieties Zafiro MSM and Diamante stood out because they were the least affected by the disease (Table 5).

Comparison of means tests of the second cultivating cycle

Plant height

In the evaluation of the second cultivating cycle (Table 6), accession 18 (32 BNGEN) and the Puebla SM3 variety showed the highest PH, whilst accession 133 (JAL 01) showed the least PH. In this evaluation cycle, heights were more homogeneous compared to the evaluation in the first cycle (Table 4), because the development period of the crop took place during the rainy season, which caused the development of the disease under study as well as other pathogens such as *Fusarium* spp. This situation prevented the full expression of the evaluated populations' agronomic behavior.

Area under the disease progress curve

In this variable, accession 133 (JAL 103) showed major tolerance to the attack of *Entyloma australe* Speg., and accession 12 (JAL 103) the highest level of susceptibility (Table 6). In the case of the registered varieties, only Diamante and Zafiro MSM showed certain level of tolerance to the fungus. The two accessions with major resistance in the first cycle were 26 (48 BNGEN) and 64 (BNGEN) and in the second one they were not different ($P \geq 0.05$) from 133 (JAL 01), which indicates that these varieties are of high value as possible resistance sources to *Entyloma*. The latter could be due

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 principales criterios 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 12 (JAL 103). Las accesiones que mostraron los rendimientos más bajos y menor tamaño de fruto fueron 26 (48 BNGEN) y 133 (JAL 01), lo que se debe a que son materiales silvestres y de menor potencial productivo (Peña-Lomelí & Santiaguillo-Hernández, 1999; Peña-Lomelí et al., 2011).

Área bajo la curva de progreso de la enfermedad

En el caso de la 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 distinguieron por su mayor grado de tolerancia a *Entyloma australe* Speg. (Cuadro 5), pero no por su rendimiento y tamaño de fruto (Cuadros 4 y 5), lo cual coincide con lo expresado por Escalante-Ortiz y Farrera-Pino (2004), quienes indican que los valores menores de ABCPE corresponden a los materiales con menor severidad de la enfermedad. Vale la pena destacar que, en trabajos previos aún no publicados, las accesiones 26 (48 BNGEN), 12 (JAL 103), 15 (128 BNGEN), 56 (88 BNGEN), 64 (147 BNGEN) y 147 (201 BNGEN) mostraron 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 lo anterior, se puede decir que las accesiones 26 (48 BNGEN) y 64 (BNGEN) son de alto valor en un programa de mejoramiento genético para resistencia a enfermedades (Peña-Lomelí et al., 2007). Dentro del grupo de variedades mejoradas sobresalen Zafiro MSM y Diamante, pues fueron las menos afectadas por la enfermedad (Cuadro 5).

Pruebas de comparación de medias del segundo ciclo cultivo

Altura de planta

En la evaluación del segundo ciclo de cultivo (Cuadro 6), la accesión 18 (32 BNGEN) y la variedad Puebla SM3 presentaron la mayor AP, mientras que la accesión 133 (JAL 01) mostró la menor AP. En este ciclo de evaluación, las alturas resultaron más homogéneas en comparación con la evaluación del primer ciclo (Cuadro 4), esto debido a que el periodo de desarrollo del cultivo fue durante la temporada de lluvias, lo cual ocasionó tanto el desarrollo de la enfermedad en estudio como el de algunos otros patógenos

Table 6. Comparison of means of two variables measured in 24 tomatillo (*Physalis* spp.) populations according to their behavior in presence of *Entyloma australe* Speg. in the second cycle (summer-fall 2017).

Cuadro 6. Comparación de medias de dos variables medidas en 24 poblaciones de tomate de cáscara (*Physalis* spp.) de acuerdo con su comportamiento en presencia de *Entyloma australe* Speg. en el segundo ciclo (verano-otoño de 2017).

Population / Población	PH / AP	AUDPC / ABCPE
5 (82 BNGEN)	15 abc ^a	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 T)	18 ab	4 75 bc
205 (Tecozautla 04)	18 ab	675 ab
31 (Gema)	16 abc	475 bc
LHSD / DMSH	7	422

LHSD = least honest significant difference; PH = plant height (cm); AUDPC = area under the disease progress curve. ^aMeans with the same letter within each column are not statistically different (Tukey, $P \leq 0.05$).

DMSH = diferencia mínima significativa honesta; AP = altura de la planta (cm); ABCPE = área bajo la curva del progreso de la enfermedad. ^aMedias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

to the synthesis of secondary metabolites produced by the plant for its defense (Vivanco, Cosio, Loyola-Vargas, & Flores, 2005).

Accession 133 (JAL 01) is a wild accession, thus it can only be used as a resistance source to the disease. However, its behavior was not consistent in both evaluation cycles, possibly because the first one favored the severity of the fungus, therefore this interaction with the environment modified the degree of tolerance (Agrios, 2005). The key to successful plant breeding is to have continuous provision of genetic variability and of favorable characters contained within this diversity (Dwivedi et al., 2008). Until now, genes of wild plants have provided cultivars with resistance to pests (Malik,

como *Fusarium* spp. Esta situación impidió la plena expresión del comportamiento agronómico de las poblaciones evaluadas.

Área bajo la curva del progreso de la enfermedad

En 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 (Cuadro 6). Para el caso de las variedades registradas, únicamente Diamante y Zafiro MSM mostraron cierto nivel de tolerancia al hongo. Las dos accesiones con mayor resistencia en el primer ciclo fueron 26 (48 BNGEN) y 64 (BNGEN), y en el segundo no fueron diferentes ($P \geq 0.05$) a 133 (JAL 01), lo que indica que

Brown-Guedira, Smith, Harvey, & Gill, 2003) and diseases (Brar, 2005), that is why accession 133 is of high value to a plant breeding program for resistance to *Entyloma australe* Speg.

Due to the behavior of Diamante and Zafiro MSM, both of these varieties are candidates to incorporate disease resistance by crossbreeding them with the identified wild populations.

Conclusions

Accessions 26 (48 BNGEN) and 64 (147 BNGEN) were identified as potential sources of resistance genes to *Entyloma australe* Speg. because they were more tolerant to the attack of this pathogen; although their yield was not the highest.

The evaluated accessions present different yield potential, which is not associated to its resistance to the attack of *Entyloma australe* Speg.; given that accession 12 (JAL 103) obtained higher yield, even though it was the most susceptible to the attack of the disease.

The cultivated varieties with less susceptibility were Zafiro MSM and Diamante, and even though they did not show the highest yield and their fruit size was intermediate, they were less affected by the attack of the fungus. In contrast, the varieties Tecozautla 04, Manzano T and Gema showed the highest yield and fruit size, but they were also the most susceptible materials.

End of English version

References / Referencias

- Agrios, G. N. (2005). *Plant pathology*. New York, USA: Academic Press.
- Apodaca-Sánchez, M. A., Barreras-Soto, M. A., Cortez-Mondaca, E., & Quintero-Benítez, J. A. (2008). *Enfermedades del tomate de cáscara en Sinaloa*. Sinaloa, México: CIRNO-INIFAP. Retrieved from <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: Toriyama, K., Heong, K. L., & Hardy, B. (Eds), *Rice is life: Scientific perspectives for the 21st Century* (pp. 157-160). Manila, Philippines: International Rice Research Institute. Retrieved from <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.
- Cochran, W. G. (1977). *Sampling techniques*. New York: Wiley-Interscience

estas variedades son las de mayor valor como posibles fuentes de resistencia a *Entyloma*. Lo anterior podría deberse a la síntesis de metabolitos secundarios producidos por la planta para su defensa (Vivanco, Cosio, Loyola-Vargas, & Flores, 2005).

La accesión 133 (JAL 01) es silvestre, por lo que solo puede usarse como fuente de resistencia a la enfermedad. No obstante, su comportamiento no fue consistente en los dos ciclos de evaluación, posiblemente debido a que el primero favoreció la severidad del hongo, por lo que esta interacción con el ambiente modificó el grado de tolerancia (Agrios, 2005). La clave de un mejoramiento exitoso en 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 cultivos resistencia contra plagas (Malik, Brown-Guedira, 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 candidatas para incorporar resistencia a enfermedades mediante la cruce con las poblaciones silvestres identificadas.

Conclusiones

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 accesiones evaluadas presentan diferente potencial de rendimiento, el cual no está asociado con su resistencia al ataque de *Entyloma australe* Speg., esto debido a que la accesión 12 (JAL 103) obtuvo un mayor rendimiento, aunque fue la más susceptible al ataque de la enfermedad.

Las variedades cultivadas con menor susceptibilidad fueron Zafiro MSM y Diamante, y aunque no mostraron el mayor rendimiento y su tamaño de fruto fue intermedio, se vieron menos afectadas por el ataque del hongo. En contraste, las variedades Tecozautla 04, Manzano T y Gema presentaron el mayor rendimiento y tamaño de fruto, pero también la mayor susceptibilidad.

Fin de la versión en español

- 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. Retrieved from [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: CIMMYT.
- Fischer, W. G. (1953). *Manual of North American smut fungi*. New York, USA: The Ronal Press Company.
- García, E. (1988). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen*. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Retrieved from 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, USA: Cambridge University Press.
- Malik, R., Brown-Guedira, 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(2), 644-650. doi: 10.2135/cropsci2003.6440
- Peña-Lomelí, A., & Santiaguillo-Hernández, F. (1999). *Variabilidad genética de tomate de cáscara*. México: Universidad Autónoma Chapingo.
- 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. Retrieved from <http://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/25-2/7a.pdf>
- Peña-Lomelí, A., Santiaguillo-Hernández, F., & Magaña-Lira, 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-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., Magaña-Lira, N., Montes-Hernández, S., Sánchez-Martínez, J., Santiaguillo-Hernández, F., Grimaldo-Juárez, O., & Contreras-Rodríguez, A. (2011). *Manual gráfico para la descripción varietal de tomate de cáscara (Physalis ixocarpa Brot. ex Horm.)*. Chapingo, México: SNICS-SAGARPA, Universidad Autónoma Chapingo.
- 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. Retrieved from <https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/37-4/9a.pdf>
- Pérez-Grajales, M., Márquez-Sánchez, F., & Peña-Lomelí, A. (1998). *Mejoramiento genético de hortalizas*. Ciudad de México, México: Mundi Prens.
- Piña-Aguilar, J. J., & Ponce-González, 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*. México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Saari, E. E., & Prescott, J. M. (1975). A scale for appraising the foliar intensity of wheat diseases. *Plant Disease Reporter*, 59(5), 377-380. Retrieved from <https://eurekamag.com/research/000/008/000008657.php>
- Sánchez-Martínez, J., & Peña-Lomelí, A. (2015). *Variedades de uso común; un breve mirar a la riqueza mexicana*. México: SNICS-SAGARPA.
- Santiaguillo-Hernández, J. F., Cervantes-Santana, T., & Peña-Lomelí, A. (2004). Selección para rendimiento y calidad de fruto de cruza planta x planta entre dos variedades de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27(1), 85-91. Retrieved from <http://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/27-1/11a.pdf>
- Santiaguillo-Hernández, J. F., Vargas-Ponce, O., Grimaldo-Juárez, O., Sánchez-Martínez, J., & Magaña-Lira, N. (2009). *Aprovechamiento tradicional y moderno de tomate (Physalis) en México*. México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Santiaguillo-Hernández, J. F., Vargas-Ponce, O., Grimaldo-Juárez, O., Magaña-Lira, N., Caro-Velarde, F., Peña-Lomelí, A., & Sánchez-Martínez, S. (2012). *Diagnóstico del tomate de cáscara*. México: Universidad Autónoma Chapingo. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/283492117_Diagnostico_del_Tomate_de_Cascara
- SAS Institute Inc. (2011). *SAS/QC 9.3 User's guide*. Cary, New York: Author. Retrieved from <https://support.sas.com/documentation/cdl/en/qcug/63964/PDF/default/qcug.pdf>
- Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS). (2019). Retrieved September 13, 2019 from <https://www.gob.mx/snics/es/articulos/catalogo-nacional-de-variedades-vegetales-en-linea?idiom=es>
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2018). Retrieved July 8, 2019 from <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.
- Velasco-Velasco, V. A. (1999) Papel de la nutrición mineral en la tolerancia a las enfermedades de las plantas. *Terra*, 17(3), 193-200.
- Vivanco, J. M., Cosío, E., Loyola-Vargas, V. M., & Flores, H. E. (2005) Mecanismos químicos de defensa en las plantas. *Revista Investigación y Ciencia*, 341(2), 68-75.
- Zundel, G. L. (1953). *The ustilaginales of the world*. Michigan, USA: State College.