

Morphological characterization of *Phytophthora capsici* isolates from Jalisco and Michoacán, Mexico

Caracterización morfológica de aislados de *Phytophthora capsici* provenientes de Jalisco y Michoacán, México

¹Alfredo Reyes-Tena, ¹Gerardo Rodríguez-Alvarado, ¹Sylvia P. Fernández-Pavía*, ¹Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IIAF), ²Centro Multidisciplinario de Estudios en Biotecnología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Km 9.5, carretera Morelia-Zinapécuaro, Tarímbaro, Michoacán. C.P. 58880; **Martha E. Pedraza-Santos**, Facultad de Agrobiología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Paseo General Lázaro Cárdenas y Berlín s/n, Viveros, Uruapan, Michoacán. C. P. 60170; **John Larsen**, Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, Antigua Carretera a Pátzcuaro 8701, Colonia Ex Hacienda de San José de la Huerta, Morelia, Michoacán. C. P. 58190; ²Gerardo Vázquez-Marrufo. *Autor para correspondencia: fpavia@umich.mx.

Recibido: 27 de Julio, 2020.

Aceptado: 12 de Diciembre, 2020.

Reyes-Tena A, Rodríguez-Alvarado G, Fernández-Pavía SP, Pedraza-Santos ME, Larsen J and Vázquez-Marrufo G. 2021. Morphological characterization of *Phytophthora capsici* isolates from Jalisco and Michoacán, Mexico. Mexican Journal of Phytopathology 39(1): 75-93.

DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2007-5>

Primera publicación en línea: 23 de Diciembre, 2020.

First publication on line: December 23, 2020.

Resumen. *Phytophthora capsici* es el principal fitopatógeno del cultivo de chile (*Capsicum annuum*) y de diversas plantas de interés comercial en México. El desconocimiento por parte de los productores sobre la presencia de este patógeno en zonas de cultivo dificulta la prevención y manejo de la enfermedad. El objetivo de este trabajo fue identificar y caracterizar morfológicamente

Abstract. *Phytophthora capsici* is the main phytopathogen of the chili pepper crop (*Capsicum annuum*) and diverse commercial plants in Mexico. The limited knowledge of farmers on the presence of this pathogen in cropping areas makes it difficult to prevent and manage the disease. In order to identify and morphologically characterize isolates obtained from cucurbits and solanaceous crops with “wilt” symptoms, in Jalisco and Michoacán, Mexico, samples were collected during 2016 and 2017. The 41 *P. capsici* isolates obtained from diseased plants were analyzed by comparative morphology based on sexual and asexual characteristics. Were characterized 33 isolates from the *C. annuum* crop, six from *C. pepo* and two *S. lycopersicum*. Most isolates showed typical characteristics of *P. capsici*, whereas only one isolate showed terminal, globose chlamydospores (isolated from Queréndaro, Mich.). Forty heterothallic isolates were registered and only one homothallic isolate was reported.

aislados obtenidos de cultivos de cucurbitáceas y solanáceas con síntomas de “marchitez” en Jalisco y Michoacán, México. Los muestreos se realizaron durante 2016 y 2017. Los 41 aislados de *P. capsici* obtenidos de plantas enfermas se analizaron por morfología comparativa con base a caracteres sexuales y asexuales. Se caracterizaron 33 aislamientos del cultivo de *C. annuum*, seis de *C. pepo* y dos de *S. lycopersicum*. La mayoría de los aislados presentaron características morfológicas típicas de *P. capsici*. Solo un aislado presentó clamidosporas, globosas y terminales (aislado de Queréndaro, Mich). Se registraron 40 aislados heterotálicos y un aislado homotálico. Se determinó la patogenicidad de siete aislados, asociando a *P. capsici* como el agente causal de la marchitez para estos aislados y para siete analizados en un estudio previo. Los 27 aislamientos restantes solo se asociaron a la enfermedad. Se sugiere realizar un manejo integrado de este patógeno en las zonas de producción de Jalisco y Michoacán.

Palabras clave: *Capsicum*, *Cucurbita*, aislamiento, marchitez del chile, diagnóstico.

La producción de solanáceas y cucurbitáceas en México es importante, destaca la producción de jitomate (*Solanum lycopersicum*), chile (*Capsicum annuum*) y calabacita zuchinni (*Cucurbita pepo*), se considera uno de los principales países exportadores de estos productos hortícolas con un valor de exportación conjunta de los tres cultivos estimada en más de 65 millones de pesos mexicanos (MXN) (SADER, 2020). Con respecto a la producción de chile verde, México es uno de los principales países productores, en 2019 se exportaron 3'239,244 toneladas de chiles y pimientos (SADER, 2020). Los estados productores más importantes son Chihuahua, Jalisco, Michoacán, San Luis Potosí, Sinaloa

The pathogenicity of seven isolates was tested, therefore according to the results obtained, *P. capsici* is the main causal agent of wilt for these isolates and for seven more analyzed in a previous study, the remaining 27 are associated with the disease. Calling for the development of a strategy for integrated management of this pathogen in the Jalisco and Michoacán production areas.

Key words. *Capsicum*, *Cucurbita*, isolation, chili wilt, diagnosis.

Solanaceae and cucurbitaceae production in Mexico is important, where tomato (*Solanum lycopersicum*), chili pepper (*Capsicum annuum*) and zucchini squash (*Cucurbita pepo*) cropping stands out. Mexico is considered one of the major exporting countries of these horticultural products with a joint export value of the three crops estimated at more than MXN\$65 million (SADER, 2020). As for green chili pepper, Mexico is one of the largest producing countries. In 2019, Mexico exported 3,239,244 tons of chili and bell peppers (SADER, 2020). The most important producing states are Chihuahua, Jalisco, Michoacán, San Luis Potosí, Sinaloa, and Zacatecas. In the states of Jalisco and Michoacán alone, the value of green chili pepper production in 2019 reached more than MXN\$3,144 million with a joint production area of 8,793.51 ha. In Michoacán, chili pepper production is concentrated in the municipalities of Queréndaro, Tanhuato, Vista Hermosa and Yurécuaro. However, the factor that limits this crop in most of these states is chili wilt, a disease caused by *P. capsici* (Castro-Rocha *et al.*, 2012; García-Rodríguez *et al.*, 2010).

This phytopathogen is one of the most important species of the *Phytophthora* genus in the world, because it affects at least 50 species of cultivable

y Zacatecas. Tan solo en los estados de Jalisco y Michoacán, el valor de producción de chile verde en 2019 fue superior a 3,144 millones de pesos mexicanos, con un área de producción conjunta de 8,793.51 ha. En Michoacán la producción se concentra en los municipios de Queréndaro, Tanhuato, Vista Hermosa y Yurécuaro. Sin embargo, el factor limitante de este cultivo en la mayoría de los estados es la enfermedad “marchitez del chile” causada por *P. capsici* (Castro-Rocha *et al.*, 2012; García-Rodríguez *et al.*, 2010).

Este fitopatógeno es una de las especies del género *Phytophthora* con mayor importancia a nivel mundial, debido a que afecta al menos 50 especies de plantas cultivables y causa importantes pérdidas de producción (Bautista-Calles *et al.*, 2010). Los hospedantes de interés comercial incluyen: chile (*C. annuum*), jitomate (*S. lycopersicum*), calabaza (*C. pepo*), sandía (*Citrullus lanatus*), melón (*Citrullus melo*) y pepino (*Cucumis sativus*) (Granke *et al.*, 2012; Quesada-Ocampo y Hausbeck, 2010; Tian y Babadoost, 2004). Actualmente se conocen 94 hospedantes de 27 familias botánicas y año con año se registran nuevos hospedantes (Reis *et al.*, 2018). *Phytophthora capsici* se considera uno de los patógenos de mayor interés científico debido a su tasa evolutiva, diversidad genética, rapidez de dispersión, adaptación hacia nuevos hospedantes y ambientes, y podría representar una amenaza para la seguridad alimentaria a nivel mundial (Kamoun *et al.*, 2015; Lamour *et al.*, 2012).

Por este motivo, en México se han desarrollado distintos estudios sobre la presencia, diversidad genética, control biológico y búsqueda de variedades resistentes contra de este patógeno (Castro-Rocha *et al.*, 2016; Gómez-Rodríguez *et al.*, 2017; Morán-Bañuelos *et al.*, 2010; Palma-Martínez *et al.*, 2017; Pons-Hernández *et al.*, 2020; Reyes-Tena *et al.*, 2017). Estos estudios se han realizado con aislados provenientes de zonas productoras de los

plants and causes significant production losses (Bautista-Calles *et al.*, 2010). Hosts of commercial interest include chili pepper (*C. annuum*), tomato (*S. lycopersicum*), pumpkin (*C. pepo*), watermelon (*Citrullus lanatus*), melon (*Citrullus melo*) and cucumber (*Cucumis sativus*) (Granke *et al.*, 2012; Quesada-Ocampo and Hausbeck, 2010; Tian and Babadoost, 2004). Currently, 94 hosts of 27 botanical families are known, and new hosts are recorded every year (Reis *et al.*, 2018). *Phytophthora capsici* is considered one of the pathogens of greatest scientific interest because of its rate of evolution, genetic diversity, rapid dispersion, adaptation to new hosts and environments, and because it could pose a threat to global food security (Kamoun *et al.*, 2015; Lamour *et al.*, 2012).

For this reason, in Mexico, different studies about the presence, genetic diversity and biological diversity of the pathogen have been conducted, as well as efforts to identify resistant varieties (Castro-Rocha *et al.*, 2016; Gómez-Rodríguez *et al.*, 2017; Morán-Bañuelos *et al.*, 2010; Palma-Martínez *et al.*, 2017; Pons-Hernández *et al.*, 2020; Reyes-Tena *et al.*, 2017). These studies have been conducted using isolates from producing areas of the states of Aguascalientes, Chihuahua, and Guanajuato, but there are no studies about the pathogen's presence or distribution nor their host range in economically important crops of the Solanaceae and Cucurbitaceae families in the major production areas of Jalisco and Michoacán. This information is needed to prevent the application of chemical products against other pathogens that cause wilt, such as *Fusarium* spp. or *Rhizoctonia* sp. (Anaya-López *et al.*, 2011; Rivera-Jiménez *et al.*, 2018; Velarde-Félix *et al.*, 2018). The objectives of this study were to identify and morphologically characterize the isolates obtained from cucurbitaceae and solanaceae crops causing “wilt” in Jalisco and Michoacán, Mexico.

estados de Aguascalientes, Chihuahua y Guanajuato y no existen estudios sobre la presencia o distribución del patógeno y su gama de hospedantes en cultivos de importancia económica de las familias Solanaceae y Cucurbitaceae, en las principales zonas de producción de Jalisco y Michoacán. Esta información resulta necesaria para evitar que se apliquen productos químicos contra otros patógenos que pueden causar marchitez como *Fusarium* spp. o *Rhizoctonia* sp. (Anaya-López *et al.*, 2011; Rivera-Jiménez *et al.*, 2018; Velarde-Félix *et al.*, 2018). Los objetivos de este estudio consistieron en identificar y caracterizar morfológicamente los aislados obtenidos de cultivos de cucurbitáceas y solanáceas con síntomas de “marchitez”, en Jalisco y Michoacán, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo de suelo y tejido vegetal enfermo. Durante 2016 y 2017 se realizaron muestreos en los municipios de Copándaro, Morelia, Queréndaro, Tarímbaro, Vista Hermosa y Yurécuaro, Michoacán; y La Barca, Jalisco (Figura 1). Las muestras se obtuvieron de secciones de raíz, corona y tallo (10 a 20 cm de longitud) y de suelo en una parcela con antecedentes de cultivos previos de solanáceas y cucurbitáceas (Figura 2). En estos municipios, el cultivo de chile se realiza cada año, con excepción de Queréndaro donde se efectúan rotaciones de cultivos con gramíneas y otros cultivos por 3 a 5 años, y Morelia, donde se cultiva calabacita tipo zuchinni (*C. pepo*) principalmente. Las parcelas muestreadas presentaron suelos francos a franco-arenosos en Queréndaro, franco-arcillo-arenosos en Copándaro, Morelia y Tarímbaro y franco-arcillosos en Yurécuaro y La Barca. En las parcelas el riego fue por goteo. El tipo de chile que principalmente se cultiva en las regiones muestreadas es chile poblano y en menor proporción se cultivan los chiles tipo

MATERIALS AND METHODS

Soil and infected plant tissue sampling. In 2016 and 2017, samples were collected at the municipalities of Copándaro, Morelia, Queréndaro, Tarímbaro, Vista Hermosa and Yurécuaro, Michoacán; and La Barca, Jalisco (Figure 1). The samples were taken from root, crown, and stem sections (10-20 cm long), and soil from a plot where solanaceae and cucurbitaceae had been previously cultivated (Figure 2). In these municipalities, chili pepper is cultivated every year, except in Queréndaro, where rotation with grains and other crops is practiced for 3-5 years, and Morelia, where zucchini-type squash (*C. pepo*) is mainly grown. The soils collected in Queréndaro plots were loam to loam-sandy; loam-clay-sandy in Copándaro, Morelia and Tarímbaro; and loam-clay in Yurécuaro and La Barca. Drip irrigation was applied to the plots. Poblano is the type of chili most cultivated in the areas where samples were collected, and, to a lesser degree, pasilla, serrano, jalapeño, and güero-type chilis. Zucchini squash samples were collected in the study sites of the Morelia municipality, and tomato samples (*S. lycopersicum*) in the municipality of Tarímbaro; the rest were samples from serrano-type chili pepper crops.

Preliminary detection of *Phytophthora* using immunostrips. The samples of infected plant tissue were serologically tested to rapidly detect *Phytophthora*, including *P. capsici*, using immunostrips (ImmunoStrip, Agdia®). According to the manufacturer's instructions, approximately 25 g of necrotic root tissue were taken and placed in a saline solution, gentle friction was applied and the immunostrip was inserted. The positive samples were processed to isolate the pathogen. When isolation was performed in a plot in Queréndaro, where the result had been negative, *Fusarium solani* was detected (Reyes-Tena *et al.*, 2019c).

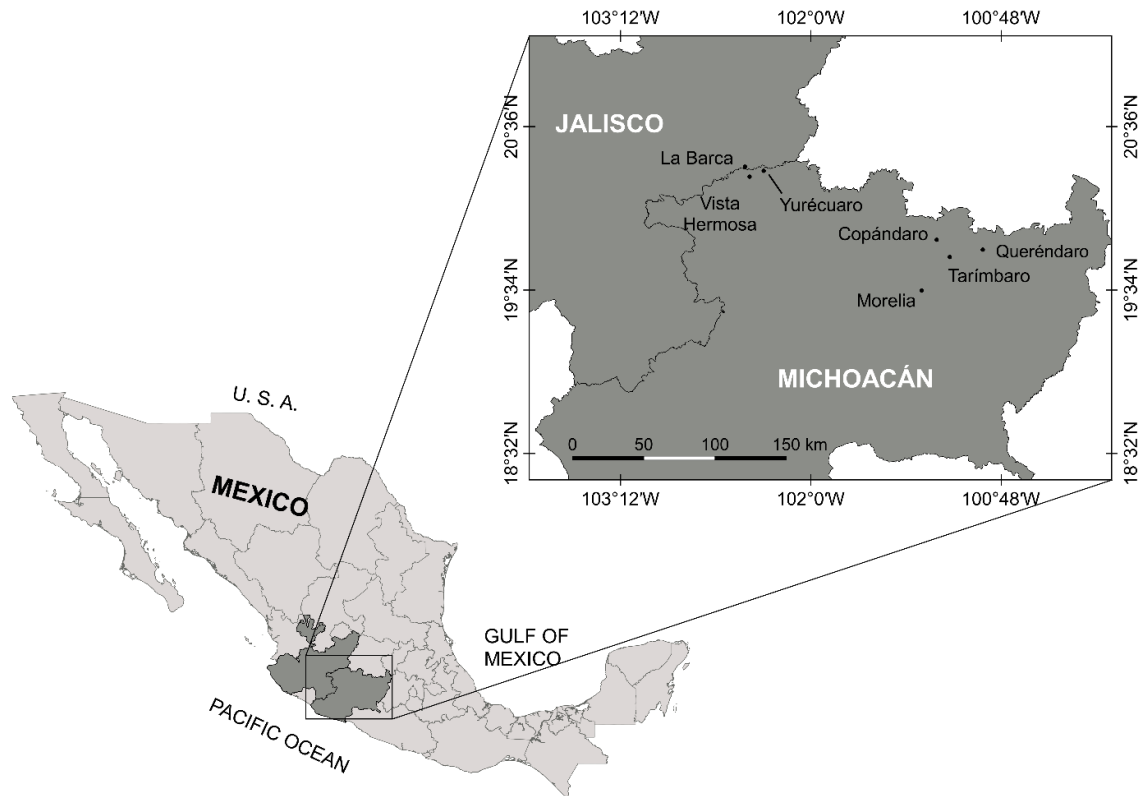


Figura 1. Sitios de colecta de solanáceas y cucurbitáceas con síntomas de marchitez.
Figure 1. Sites where solanaceae and cucurbitaceae showing wilt symptoms were collected.

pasilla, serrano, jalapeño y güero. Los sitios muestreados en el área del municipio de Morelia presentaron cultivos de calabaza zucchini; mientras que en el municipio de Tarímbaro se muestreó un cultivo de jitomate (*S. lycopersicum*), el resto fueron cultivos de chile tipo serrano.

Detección preliminar de *Phytophthora* mediante inmuno-tiras. Las muestras de tejido vegetal enfermo se sometieron a una prueba serológica para la detección rápida de *Phytophthora*, incluyendo *P. capsici*, mediante el empleo de inmuno-tiras (ImmunoStrip, Agdia®). De acuerdo con las instrucciones del fabricante, se tomaron aproximadamente 25 g de tejido radicular necrótico y se colocó en solución

Isolation of *Phytophthora* from soil. The soil samples were taken from the rhizosphere of *C. annuum* showing wilt symptoms in a plot located in Copándaro municipality. Each sample consisted of 100-150 g of soil collected at 10-15 cm depth; the samples were placed in a cooler and taken to the laboratory. To isolate *Phytophthora*, a bioassay using *Rhododendron* leaves as bait was established. For the bioassay, 10 g of soil and 20 mL of sterile distilled water were spread on Petri dishes 16 cm in diameter. The *Rhododendron* leaves were washed with soap and water, rinsed with sterile distilled water, and placed with the petiole submerged in the soil suspension in order to facilitate the pathogen's invasion (Erwin and



Figura 2. Cultivos de solanáceas y cucurbitáceas con síntomas de marchitez: a) calabacita tipo zuchinni en Morelia; b) chile serrano en Tarímbaro; c) chile pasilla en Queréndaro y d) chile poblano en Copándaro, Michoacán; e) chile poblano en La Barca, Jalisco; y f) chile poblano en Yurécuaro, Michoacán.

Figure 2. Solanaceae and cucurbitaceae crops showing wilt symptoms: a) zuchinni type-squash in Morelia; b) serrano chili in Tarímbaro; c) pasilla chili in Queréndaro; and d) poblano chili in Copándaro, Michoacán; e) poblano chili in La Barca, Jalisco; and f) poblano chili in Yurécuaro, Michoacán.

salina, se aplicó una fricción ligera y se insertó la inmuno-tira. Las muestras positivas se procesaron para aislar el patógeno. En una parcela de Queréndaro en la que se obtuvo un resultado negativo se procedió a realizar el aislamiento y se detectó a *Fusarium solani* (Reyes-Tena *et al.*, 2019c).

Aislamiento de *Phytophthora* a partir de suelo.

Las muestras de suelo se obtuvieron de la rizósfera de *C. annuum* con síntomas de marchitez, cultivadas en una parcela localizada en el municipio de Copándaro. Cada muestra consistió en 100 - 150 g de suelo tomado de 10 - 15 cm de profundidad; las muestras se colocaron en una hielera para su traslado al laboratorio. Para el aislamiento de *Phytophthora* se realizó un bioensayo empleando hojas de *Rhododendron* como tejido trampa. El bioensayo

Ribeiro, 1996). The boxes were sealed with plastic paraffin (Parafilm®) and stored at 24 °C for 36-48 h or until the petiole became necrotic. Later on, the petiole was transferred to a NARPH medium with natamycin (0.02 g L⁻¹), ampicillin (0.27 g L⁻¹), rifampicin (0.01 g L⁻¹), pentachloronitrobenzene (0.10 g L⁻¹) and hymexazol (0.075 g L⁻¹) and stored at 24 °C (Soto-Plancarte *et al.*, 2017).

Isolation of *Phytophthora* using plant tissue.

To favor *Phytophthora* isolation, pieces of root and stem were cut in the pathogen's active growth zone, that is, pieces with the interface between necrosis and healthy tissue. The tissue pieces were disinfested with a 10% v/v solution of commercial chlorine (0.6% sodium hypochlorite active ingredient), rinsed with sterile distilled water,

consistió en colocar 10 g de suelo y 20 mL de agua destilada estéril en cajas Petri de 16 cm de diámetro. Las hojas de *Rhododendron* se lavaron con agua y jabón, se enjuagaron con agua destilada estéril y se colocaron con el pecíolo sumergido en la suspensión de suelo para facilitar la invasión del patógeno (Erwin y Ribeiro, 1996). Las cajas se sellaron con parafina plástica Parafilm® y se colocaron a 24 °C durante 36-48 h o hasta la presencia de necrosis en el pecíolo. Posteriormente, el pecíolo se transfirió a medio NARPH con natamicina (0.02 g L⁻¹), ampicilina (0.27 g L⁻¹), rifampicina (0.01 g L⁻¹), pentacloronitrobenzeno (0.10 g L⁻¹) e himexazol (0.075 g L⁻¹) y se almacenó a 24 °C (Soto-Plancarte *et al.*, 2017).

Aislamiento de *Phytophthora* a partir de tejido vegetal. Para favorecer el aislamiento de *Phytophthora*, se cortaron trozos de raíz y tallo en la zona de crecimiento activo del patógeno, es decir, trozos con la interfase entre necrosis y tejido sano. Los trozos de tejido se desinfectaron en una solución de cloro comercial 10% v/v (0.6% ingrediente activo de hipoclorito de sodio). Posteriormente, se enjuagaron en agua destilada estéril y se colocaron en papel secante estéril de acuerdo al procedimiento descrito por Soto-Plancarte *et al.* (2017). Los trozos de tejido se sembraron en medio NARPH. Después de 48 a 72 h se observó el crecimiento de micelio. Los aislados obtenidos se transfirieron a medio agar-agua para su purificación mediante la técnica de punta de hifa, y posteriormente al medio agar-harina de maíz. Para determinar si los aislados presentaban bacterias contaminantes se colocó un disco de agar con micelio por 24 h a 24 °C en un tubo de ensaye con medio Luria Bertani estéril, si no se observó turbidez, el aislado se consideró libre de bacterias. En caso de observarse contaminación por bacterias, el cultivo se transfirió a medio agar-papa-dextrosa con ácido tartárico a 0.14% (Soto-

and placed on sterile blotting paper, according to the procedure described by Soto-Plancarte *et al.* (2017). The tissue pieces were placed in NARPH medium. Mycelial growth was observed 48-72 h later.

The obtained isolates were transferred to agar-water medium to be purified using the hyphal tip technique and then placed on an agar-corn meal medium. To determine if the isolates had contaminant bacteria, an agar disk containing mycelium was kept in a test tube with sterile Luria Bertani medium at 24 °C for 24 h; the isolate was considered free of bacteria when no turbidity was observed. When bacteria contamination was observed, the culture was transferred to agar-potato-dextrose medium with 0.14% tartaric acid (Soto-Plancarte *et al.*, 2017). Then, medium disks with 5-7 days-old mycelium were transferred to microtubes containing sterile distilled water and kept at 15 °C. The isolates were deposited in the oomycetes collection (Plant Pathology Collection) of the Plant Pathology Laboratory, Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Comparative morphology of *Phytophthora capsici* isolates. The obtained isolates were grown on Agar-V8 medium and stored at 24 °C for 5-7 days. When growth covered the culture medium plates, pieces of approximately 1x1cm were cut. To induce the formation of sporangia, 15-18 mL of sterile distilled water were added, and the water was changed every 24 h for three days. To the isolates that formed few sporangia, non-sterile soil extract was added, and then they were left at 24 °C for 24 h (Almaraz-Sánchez *et al.*, 2013). When the isolates sporulated, the asexual traits were described. The test to determine sporangia expiration was conducted as follows: a drop of water was deposited

Plancarte *et al.*, 2017). Posteriormente, se transfirieron discos de medio con micelio de 5-7 días de edad para su conservación en agua destilada estéril dentro de micro-tubos a 15 °C. Los aislados se depositaron en la colección de oomycetes (Colección Patología Vegetal) del Laboratorio de Patología Vegetal, Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Morfología comparativa de aislados de *Phytophthora capsici*. Los aislados obtenidos se crecieron en medio Agar-V8 y se almacenaron a 24 °C durante 5-7 días. Cuando el crecimiento cubrió las placas de medio de cultivo, se cortaron en trozos de aproximadamente 1x1 cm. Para inducir la formación de esporangios se adicionaron de 15 a 18 mL de agua destilada estéril, el agua se cambió cada 24 h durante tres días. A los aislados que formaron pocos esporangios, se les adicionó extracto de suelo no estéril y se dejaron a 24 °C durante 24 h (Almaraz-Sánchez *et al.*, 2013). Cuando los aislados esporularon se realizó la descripción de los caracteres asexuales. La prueba de caducidad de los esporangios se realizó de la siguiente manera. Se colocó una gota de agua en un portaobjetos y se colocó un trozo de agar con micelio sobre la gota de agua agiténdolo ligeramente. Las observaciones bajo el microscopio óptico se realizaron a una ampliación de 40X para registrar la caducidad o persistencia del pedicelo en los esporangios. Se registró el tipo de esporangióforo, forma de los esporangios, longitud de la papila, longitud del pedicelo y presencia o ausencia de clamidosporas. Por otro lado, todos los aislados se sometieron a una prueba de crecimiento a 35 °C en medio Agar-V8 durante 48 h.

Para determinar el tipo de compatibilidad sexual, los aislados se cruzaron con dos aislados de tipo de compatibilidad conocido (A1 y A2) en medio agar-V8. Los cultivos se observaron 5-10 días

on a slide and then a piece of agar with mycelium was placed on the drop of water by slightly shaking it. Observations under an optical microscope were made at 40X amplification to record the pedicel caducity or persistence in sporangia. The data recorded were type of sporangiophore, form of sporangia, papilla and pedicel length, as well as the presence or absence of chlamydospores. On the other hand, all the isolates were growth tested on Agar-V8 medium at 35 °C for 48 h.

To determine the mating type, the isolates were crossed with two isolates of known mating type (A1 and A2) on Agar-V8 medium. The cultures were observed 5-10 days after inoculation to detect the formation of oospores. The type of oospore and antheridium was recorded. The results were compared to the interactive key described by Abad *et al.* (2019) for *Phytophthora* of the United States Department of Agriculture (USDA), which is available at <http://idtools.org/id/phytophthora/index.php>.

Pathogenicity test. The pathogenicity of seven isolates (CPV259, CPV260, CPV267, CPV271, CPV272, CPV277 and CPV279) was determined in a previous study (Reyes-Tena *et al.*, 2019a). In this study, a group of seven isolates (CPV282, CPV290, CPV291, CPV293, CPV296, CPV297 and CPV301) was additionally selected to conduct pathogenicity tests. These 14 isolates corresponded to different hosts, municipalities both of Michoacán and Jalisco, and the two mating types. The production of inoculum and chili pepper seedlings was carried out following the protocol described by Reyes-Tena *et al.*, (2019a). Planting and production of seedlings of the California Wonder susceptible variety was carried out in 100 cm³ six-cell trays filled with Mix 3 (Sunshine®) as substrate. The plants were inoculated with the pathogen 56 days after planting. Six plants per isolate were inoculated

después de la inoculación para detectar la formación de oosporas. Se registró el tipo de oospora y el tipo de anteridio. Los resultados se compararon con la clave lúcida descrita por Abad *et al.* (2019) para *Phytophthora* del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA), la cual se encuentra disponible en <http://idtools.org/id/phytophthora/index.php>.

Prueba de Patogenicidad. La patogenicidad de siete aislados (CPV259, CPV260, CPV267, CPV271, CPV272, CPV277 y CPV279) se determinó en un estudio previo (Reyes-Tena *et al.*, 2019a). En el presente estudio se seleccionó adicionalmente un grupo de siete aislados para realizar pruebas de patogenicidad, estos fueron CPV282, CPV290, CPV291, CPV293, CPV296, CPV297 y CPV301. Estos 14 aislados correspondieron a diferentes hospedantes, municipios tanto de Michoacán como de Jalisco y los dos tipos de compatibilidad. Para la producción de inóculo y desarrollo de plántulas de chile se siguió el protocolo descrito por Reyes-Tena *et al.*, (2019a). La siembra y producción de plántulas de la variedad susceptible California Wonder se realizó en bandejas de seis celdas de 100 cm³ con Mezcla 3 (Sunshine®) como sustrato. Después de 56 días de la siembra las plantas se inocularon con el patógeno. Se inocularon seis plantas por aislado, con 1 mL de una suspensión de 1×10^4 zoosporas en la base del tallo de cada planta, utilizando una jeringa dosificadora de 50 mL (Ape®). Las plantas se mantuvieron saturadas con agua por 24 h para favorecer la infección. Se registró la aparición de síntomas y se reaisló al patógeno en medio selectivo NARPH.

RESULTADOS

En total se obtuvieron 41 aislados de *Phytophthora* spp. de cultivos de cucurbitáceas y solanáceas que

with 1 mL of a suspension of 1×10^4 zoospores mL⁻¹, which was applied at the base of each plant's stem using a 50 mL dosing syringe (Ape®). The plants remained saturated with water for 24 h to favor infection. The appearance of symptoms was recorded, and the pathogen was re-isolated in NARPH selective medium.

RESULTS

A total of 41 *Phytophthora* spp. isolates from cucurbitaceae and solanaceae crops with a range of 20-80% wilt incidence were obtained (Table 1). Seventy-six percent of the isolates were recovered from samples collected in the municipalities of Copándaro, Morelia, Queréndaro and Yurécuaro, Michoacán.

Table 2 shows the description of the different sexual and asexual traits that were observed. The isolates had sporangia arranged in simple sympodia sporangiophores. Forty isolates showed caducous and papillated sporangia, and long pedicel; only the CPV-269 isolate had semi-papillated sporangia with medium-sized pedicel. Regarding the form of sporangia, 10 isolates had irregular or distorted form (Figure 3c). Overall, ellipsoid, ovoid and globose forms prevailed. The presence of globose and terminal chlamydospores (Figure 3d) was detected on the CPV-279 isolate. Eighty-eight percent of the isolates grew at 35 °C, except CPV-280, CPV-285, CPV-294, CPV-295 and CPV-296. All the isolates had plerotic oospores with amphigynous antheridia (Figure 3d). Forty isolates were heterothallic, and one was homothallic. In regard to the mating type, 21 isolates were of A1 type, and 19 of A2 type. Both were recovered from chili pepper plots at the municipalities of Copándaro, Queréndaro, Tarímbaro and Yurécuaro, Michoacán; and La Barca, Jalisco. A ratio of mating types close to 1:1 was found in the municipalities of Copándaro, La

presentaron un rango de incidencia de la enfermedad marchitez de 20-80% (Cuadro 1). El 76% de los aislados fueron recuperados de muestras provenientes de los municipios de Copándaro, Morelia, Queréndaro y Yurécuaro, Michoacán

En el Cuadro 2 se presenta la descripción de los diferentes caracteres sexuales y asexuales observados. Los aislados mostraron esporangios dispuestos en esporangióforos simples simpódicos. Cuarenta aislados presentaron esporangios caducos, papilados y con pedicelo largo, solo el aislado CPV-269 mostró esporangios semipapilados con pedicelo mediano. Con respecto a la forma de los esporangios, 10 aislados mostraron formas irregulares o distorsionadas (Figura 3c). En general, predominaron las formas elipsoide, ovoide y globosa. La presencia de clamidosporas globosas y terminales (Figura 3e) se detectó en el aislado CPV-279. El 88% de los aislados crecieron a 35 °C, excepto los aislados CPV-280, CPV-285, CPV-294, CPV-295 y CPV-296. Todos los aislados presentaron oosporas pleróticas con anteridio anfigino (Figura 3d). Cuarenta aislados fueron heterotálicos y un aislado fue homotálico. En el tipo de compatibilidad, 21 aislados fueron tipo A1 y 19 fueron tipo A2. Ambos se recuperaron en parcelas de cultivos de chile en los municipios de Copándaro, Queréndaro, Tarímbaro y Yurécuaro, Michoacán y en La Barca, Jalisco. Una proporción de tipos de compatibilidad sexual cercana a 1:1 se encontró en los municipios de Copándaro, La Barca, Tarímbaro y Yurécuaro. En Morelia se obtuvieron aislados del tipo A2.

Con lo que respecta a la prueba de patogenicidad, se observaron síntomas de marchitez a partir del tercer día en la variedad California Wonder con los siete aislados inoculados, y en todos los casos se reaisló a *P. capsici*, comprobando la patogenicidad de los aislados.

Barca, Tarímbaro and Yurécuaro. In Morelia, type A2 isolates were obtained.

In regard to the pathogenicity test, wilt symptoms were observed on the California Wonder variety at day three with the seven isolates that were inoculated; in all the cases, *P. capsici* was re-isolated to confirm the isolates pathogenicity.

DISCUSSION

P. capsici was identified as the causal agent in a total of 14 isolates (seven correspond to a pathogenicity test conducted in a previous study (Reyes-Tena *et al.*, 2019a) and 27 are associated to wilt disease in cucurbitaceae and solanaceae crops in the Jalisco and Michoacán municipalities where samples were collected. The morphological identification was in agreement with the molecular identification in a sample of isolates (Reyes-Tena *et al.*, 2019a; Reyes-Tena *et al.*, 2019b). The isolates of this pathogen had the two mating types (A1 and A2) in a ratio close to 1:1 in four municipalities: Copándaro, La Barca, Tarímbaro and Yurécuaro. This result suggests that sexual reproduction could occur (Castro-Rocha *et al.*, 2016). A similar result regarding the ratio of both mating types was reported in *P. capsici* populations recovered from crops in Aguascalientes, Chihuahua, Mexico City, State of Mexico, Guanajuato, Michoacán, Querétaro, and Zacatecas (Castro-Rocha *et al.*, 2016; Fernández-Pavía *et al.*, 2007; Pérez-Moreno *et al.*, 2003; Silva-Rojas *et al.*, 2009). A ratio of mating types close to 1:1 was also found in populations from China, the United States and South Africa (Bi *et al.*, 2014; Fernández-Pavía *et al.*, 2004; Gevens *et al.*, 2007; Meitz *et al.*, 2010; Yin *et al.*, 2012). The presence of a single mating type (A2) in Morelia is comparable

Cuadro 1. Aislados de *Phytophthora* obtenidos de solanáceas y cucurbitáceas con síntomas de marchitez provenientes de municipios de Michoacán y Jalisco.**Table 1. *Phytophthora* isolates from solanaceae and cucurbitaceae showing wilt symptoms collected in Michoacán and Jalisco municipalities.**

Aislado	Fuente	Hospedante	Municipio	Año de colecta
CPV-259 ^z	Suelo	<i>Capsicum annuum</i>	Copándaro Mich.	2016
CPV-260	Tejido	<i>C. annuum</i>	Copándaro Mich.	2016
CPV-261	Suelo	<i>C. annuum</i>	Copándaro Mich.	2016
CPV-262	Tejido	<i>C. pepo</i>	Morelia, Mich.	2016
CPV-263	Tejido	<i>C. pepo</i>	Morelia, Mich.	2016
CPV-264	Tejido	<i>C. annuum</i>	Copándaro Mich.	2016
CPV-265	Tejido	<i>C. pepo</i>	Morelia, Mich.	2016
CPV-266	Tejido	<i>C. annuum</i>	Copándaro Mich.	2016
CPV-267	Tejido	<i>C. pepo</i>	Morelia, Mich.	2016
CPV-268	Tejido	<i>C. pepo</i>	Morelia, Mich.	2016
CPV-269	Tejido	<i>C. pepo</i>	Morelia, Mich.	2016
CPV-270	Tejido	<i>C. annuum</i>	Tarímbaro, Mich.	2016
CPV-271	Tejido	<i>C. annuum</i>	Tarímbaro, Mich.	2016
CPV-272	Tejido	<i>C. annuum</i>	Tarímbaro, Mich.	2016
CPV-273	Tejido	<i>Solanum lycopersicum</i>	Tarímbaro, Mich.	2016
CPV-274	Tejido	<i>S. lycopersicum</i>	Tarímbaro, Mich.	2016
CPV-277	Tejido	<i>C. annuum</i>	Queréndaro, Mich.	2017
CPV-278	Tejido	<i>C. annuum</i>	Queréndaro, Mich.	2017
CPV-279	Tejido	<i>C. annuum</i>	Queréndaro, Mich.	2017
CPV-280	Tejido	<i>C. annuum</i>	Queréndaro, Mich.	2017
CPV-281	Tejido	<i>C. annuum</i>	Queréndaro, Mich.	2017
CPV-282	Tejido	<i>C. annuum</i>	Copándaro Mich.	2017
CPV-283	Tejido	<i>C. annuum</i>	Yurécuaro, Mich.	2017
CPV-284	Tejido	<i>C. annuum</i>	Yurécuaro, Mich.	2017
CPV-285	Tejido	<i>C. annuum</i>	Yurécuaro, Mich.	2017
CPV-286	Tejido	<i>C. annuum</i>	La Barca, Jal.	2017
CPV-287	Tejido	<i>C. annuum</i>	Copándaro Mich.	2017
CPV-288	Tejido	<i>C. annuum</i>	Copándaro Mich.	2017
CPV-289	Tejido	<i>C. annuum</i>	Yurécuaro, Mich.	2017
CPV-290	Tejido	<i>C. annuum</i>	La Barca, Jal.	2017
CPV-291	Tejido	<i>C. annuum</i>	Yurécuaro, Mich.	2017
CPV-292	Tejido	<i>C. annuum</i>	La Barca, Jal.	2017
CPV-293	Tejido	<i>C. annuum</i>	Yurécuaro, Mich.	2017
CPV-294	Tejido	<i>C. annuum</i>	Copándaro Mich.	2017
CPV-295	Tejido	<i>C. annuum</i>	Yurécuaro, Mich.	2017
CPV-296	Tejido	<i>C. annuum</i>	Copándaro Mich.	2017
CPV-297	Tejido	<i>C. annuum</i>	Vista Hermosa, Mich.	2017
CPV-298	Tejido	<i>C. annuum</i>	Yurécuaro, Mich.	2017
CPV-299	Tejido	<i>C. annuum</i>	Yurécuaro, Mich.	2017
CPV-300	Tejido	<i>C. annuum</i>	Yurécuaro, Mich.	2017
CPV-301	Tejido	<i>C. annuum</i>	Yurécuaro, Mich.	2017

^z Código de la Colección de oomicetes del Laboratorio de Patología Vegetal del IIAF-UMSNH. / ^z Code of the oomicetes collection of the Plant Pathology Laboratory, Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, Universidad Michoacana of San Nicolás de Hidalgo.

Cuadro 2. Morfología comparativa de aislados de *Phytophthora capsici* obtenidos de solanáceas y cucurbitáceas con síntomas de marchitez provenientes de municipios de Michoacán y Jalisco.
Table 2. Comparative morphology of *Phytophthora capsici* isolates obtained from solanaceae and cucurbitaceae showing wilt symptoms collected in Michoacán and Jalisco municipalities.

Aislado	Esporangiofóro	Esporangios	Presencia de clamidosporas	Papila	Pedicelo	Oospora	Anteridio	Compatibilidad sexual	Crec. a 35 °C
CPV-259	Simple simpódico	Elipsoides, globosos, formas irregulares. Caducos.	-	Esporangios papilados (\bar{x} 3.8 μ m).	Largo (\bar{x} 45.6 μ m).	Plerótica	Anfigino	A1	+
CPV-260	Simple simpódico	Elipsoides, globosos, bipapilados. Caducos.	-	Esporangios papilados (\bar{x} 4.2 μ m).	Largo (\bar{x} 38.7 μ m).	Plerótica	Anfigino	A2	+
CPV-261	Simple simpódico	Elipsoides. Caducos.	-	Esporangios papilados (\bar{x} 3.9 μ m).	Largo (\bar{x} 40.6 μ m).	Plerótica	Anfigino	A1	+
CPV-262	Simple simpódico	Formas irregulares, globosos, bipapilados. Caducos.	-	Esporangios papilados (\bar{x} 4.9 μ m).	Largo (\bar{x} 43.2 μ m).	Plerótica	Anfigino	A2	+
CPV-263	Simple simpódico	Globosos, formas irregulares, elipsoides. Caducos.	-	Esporangios papilados (\bar{x} 4.1 μ m).	Largo (\bar{x} 37.1 μ m).	Plerótica	Anfigino	A2	+
CPV-264	Simple simpódico	Elipsoides. Caducos.	-	Esporangios papilados (\bar{x} 4.2 μ m).	Largo (\bar{x} 38.9 μ m).	Plerótica	Anfigino	A1	+
CPV-265	Simple simpódico	Elipsoides. Caducos.	-	Esporangios papilados (\bar{x} 3.8 μ m).	Largo (\bar{x} 42.3 μ m).	Plerótica	Anfigino	A2	+
CPV-266	Simple simpódico	Globosos y ovoides. Caducos.	-	Esporangios papilados (\bar{x} 4.0 μ m).	Largo (\bar{x} 32.4 μ m).	Plerótica	Anfigino	A1	+
CPV-267	Simple simpódico	Elipsoides. Caducos.	-	Esporangios papilados (\bar{x} 4.2 μ m).	Largo (\bar{x} 36.2 μ m).	Plerótica	Anfigino	A2	+
CPV-268	Simple simpódico	Elipsoides y globosos. Caducos.	-	Esporangios papilados (\bar{x} 4.0 μ m).	Largo (\bar{x} 46.2 μ m).	Plerótica	Anfigino	A2	+
CPV-269	Simple simpódico	Elipsoides y globosos. Caducos.	-	Esporangios semipapilados (\bar{x} 3.2 μ m).	Mediano (\bar{x} 18.6 μ m).	Plerótica	Anfigino	A2	+
CPV-270	Simple simpódico	Elipsoides, ovoides. Caducos.	-	Esporangios papilados (\bar{x} 4.2 μ m).	Largo (\bar{x} 38.6 μ m).	Plerótica	Anfigino	A2	+
CPV-271	Simple simpódico	Ovoides, globosos, formas irregulares, bipapilados. Caducos.	-	Esporangios papilados ($<\bar{x}$ 4.3 μ m).	Largo (\bar{x} 43.8 μ m).	Plerótica	Anfigino	A1	+
CPV-272	Simple simpódico	Ovoides, elipsoides, bipapilados. Caducos.	-	Esporangios papilados ($<\bar{x}$ 4.2 μ m).	Largo (\bar{x} 45.6 μ m).	Plerótica	Anfigino	A2	+
CPV-273	Simple simpódico	Elipsoides, ovoides. Caducos.	-	Esporangios papilados (\bar{x} 4.38 μ m).	Largo (\bar{x} 51.9 μ m).	Plerótica	Anfigino	A1	+
CPV-274	Simple simpódico	Ovoides, elipsoides, bipapilados, formas irregulares. Caducos	-	Esporangios papilados (\bar{x} 3.85 μ m).	Largo (\bar{x} 45.7 μ m).	Plerótica	Anfigino	A1	+
CPV-275	Simple simpódico	Elipsoides, globosos, limoniformes. Caducos.	-	Esporangios papilados (\bar{x} 3.5 μ m).	Largo (\bar{x} 41.9 μ m).	Plerótica	Anfigino	A1	+
CPV-277	Simple simpódico	Ovoides, formas irregulares, bipapilados. Caducos.	-	Esporangios papilados (\bar{x} 3.9 μ m).	Largo (\bar{x} 62.0 μ m).	Plerótica	Anfigino	A1	+
CPV-278	Simple simpódico	Ovoides, bipapilados. Caducos.	-	Esporangios papilados (\bar{x} 4.3 μ m).	Largo (\bar{x} 47.5 μ m).	Plerótica	Anfigino	A1	+
CPV-279	Simple simpódico	Elipsoides y ovoides. Caducos.	+	Esporangios papilados (\bar{x} 4.1 μ m).	Largo (\bar{x} 56.4 μ m).	Plerótica	Anfigino	A2	+

Cuadro 2. Continúa

Cuadro 2. Continuación.
Table 2. Continuation.

Aislado	Esporangióforo	Esporangios	Presencia de clamidosporas	Papila	Pedicelo	Oospora	Anteridio	Compatibilidad sexual	Crec. a 35 °C
CPV-280	Simple simpódico	Elipsoides, globosos, bipapilados. Caducos.	-	Esporangios papilados (\bar{x} 3.8 μ m).	Largo (\bar{x} 36.8 μ m).	Plerótica	Anfíginos	A1	-
CPV-281	Simple simpódico	Globosos, obpiriformes, ovoides. Caducos.	-	Esporangios semipapilados (\bar{x} 2.83 μ m).	Largo (\bar{x} 57.5 μ m).	Plerótica	Anfíginos	A1	+
CPV-282	Simple simpódico	Elipsoides. Caducos.	-	Esporangios papilados (\bar{x} 4.1 μ m).	Largo (\bar{x} 65.0 μ m).	Plerótica	Anfíginos	A2	+
CPV-283	Simple simpódico	Elipsoides, globosos. Caducos.	-	Esporangios papilados (\bar{x} 3.6 μ m).	Largo (\bar{x} 38.8 μ m).	Plerótica	Anfíginos	A2	+
CPV-284	Simple simpódico	Elipsoides, globosos, bipapilados. Caducos.	-	Esporangios papilados (\bar{x} 3.7 μ m).	Largo (\bar{x} 42.8 μ m).	Plerótica	Anfíginos	A1	+
CPV-285	Simple simpódico	Elipsoides, ovoides. Caducos.	-	Esporangios papilados (\bar{x} 3.9 μ m).	Largo (\bar{x} 53.3 μ m).	Plerótica	Anfíginos	A2	-
CPV-286	Simple simpódico	Elipsoides, ovoides. Caducos.	-	Esporangios papilados (\bar{x} 4.1 μ m).	Largo (\bar{x} 30.7 μ m).	Plerótica	Anfíginos	Homotálico	+
CPV-287	Simple simpódico	Elipsoides, globosos, bipapilados. Caducos.	-	Esporangios papilados (\bar{x} 4.3 μ m).	Largo (\bar{x} 65.0 μ m).	Plerótica	Anfíginos	A2	+
CPV-288	Simple simpódico	Elipsoides. Caducos.	-	Esporangios papilados (\bar{x} 4.7 μ m).	Largo (\bar{x} 58.5 μ m).	Plerótica	Anfíginos	A1	+
CPV-289	Simple simpódico	Elipsoides y globosos. Caducos.	-	Esporangios papilados (\bar{x} 4.3 μ m).	Largo (\bar{x} 74.8 μ m).	Plerótica	Anfíginos	A2	+
CPV-290	Simple simpódico	Elipsoides, globosos, formas irregulares. Caducos.	-	Esporangios papilados (\bar{x} 4.4 μ m).	Largo (\bar{x} 34.5 μ m).	Plerótica	Anfíginos	A2	+
CPV-291	Simple simpódico	Ovoides, elipsoides. Caducos.	-	Esporangios papilados (\bar{x} 4.3 μ m).	Largo (\bar{x} 52.3 μ m).	Plerótica	Anfíginos	A1	+
CPV-292	Simple simpódico	Ovoides, elipsoides. Caducos.	-	Esporangios papilados (\bar{x} 4.2 μ m).	Largo (\bar{x} 62.7 μ m).	Plerótica	Anfíginos	A1	+
CPV-293	Simple simpódico	Elipsoides. Caducos.	-	Esporangios papilados (\bar{x} 3.8 μ m).	Largo (\bar{x} 41.4 μ m).	Plerótica	Anfíginos	A1	+
CPV-294	Simple simpódico	Globosos, elipsoides, formas irregulares. Caducos.	-	Esporangios papilados (\bar{x} 4.3 μ m).	Largo (\bar{x} 41.5 μ m).	Plerótica	Anfíginos	A2	-
CPV-295	Simple simpódico	Elipsoides, globosos. Caducos.	-	Esporangios papilados (\bar{x} 4.3 μ m).	Largo (\bar{x} 29.8 μ m).	Plerótica	Anfíginos	A1	-
CPV-296	Simple simpódico	Elipsoides, globosos, formas irregulares. Caducos.	-	Esporangios papilados (\bar{x} 4.7 μ m).	Largo (\bar{x} 37.3 μ m).	Plerótica	Anfíginos	A1	-
CPV-297	Simple simpódico	Elipsoides, formas irregulares. Caducos.	-	Esporangios papilados (\bar{x} 3.9 μ m).	Largo (\bar{x} 48.4 μ m).	Plerótica	Anfíginos	A1	+
CPV-298	Simple simpódico	Globosos, ovoides, elipsoides. Caducos.	-	Esporangios papilados (\bar{x} 3.9 μ m).	Largo (\bar{x} 43.2 μ m).	Plerótica	Anfíginos	A2	+
CPV-299	Simple simpódico	Elipsoides. Caducos.	-	Esporangios papilados (\bar{x} 4.3 μ m).	Largo (\bar{x} 31.3 μ m).	Plerótica	Anfíginos	A1	+
CPV-300	Simple simpódico	Ovoides, elipsoides. Caducos.	-	Esporangios papilados (\bar{x} 4.2 μ m).	Largo (\bar{x} 41.1 μ m).	Plerótica	Anfíginos	A2	+
CPV-301	Simple simpódico	Elipsoides. Caducos.	-	Esporangios papilados (\bar{x} 3.9 μ m).	Largo (\bar{x} 33.5 μ m).	Plerótica	Anfíginos	A2	+

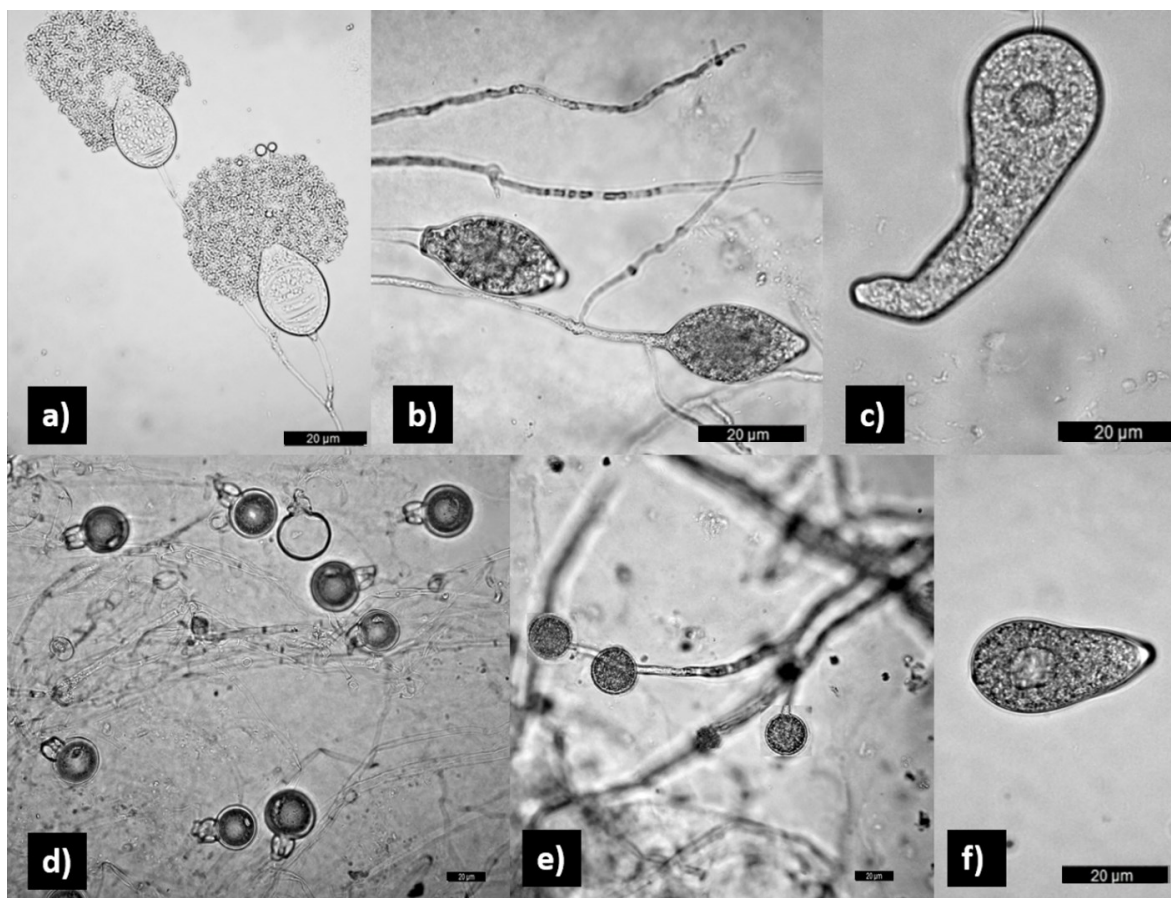


Figura 3. Estructuras sexuales y asexuales de *Phytophthora capsici*: a) esporangióforo simple simpódico, b) esporangios elipsoides papilados, c) esporangio con formas irregulares, d) oosporas pleróticas con anteridio anfígeno, e) clamidosporas globosas, terminales, y f) esporangio caduco.

Figure 3. *Phytophthora capsici* sexual and asexual structures: a) simple sympodia sporangiophore; b) papillated and ellipsoid sporangia; c) sporangia with irregular forms; d) plerotic oospores with amphigynous antheridium; e) globose and terminal chlamydospores; and f) expired caducous sporangium.

DISCUSIÓN

Se identificó a *P. capsici* como agente causal en un total de 14 aislados (siete corresponden a una prueba de patogenicidad de un estudio previo, Reyes-Tena *et al.*, 2019a) y 27 asociados a la enfermedad marchitez, en cultivos de cucurbitáceas y solanáceas en los municipios muestreados de Jalisco y Michoacán. La identificación morfológica, coincidió con la identificación molecular que se realizó en una muestra de aislados (Reyes-Tena *et al.*,

to that reported by Pérez-Moreno *et al.* (2003) with isolates obtained in Salvatierra, Guanajuato, where only A2 was found, as well as to studies using populations from Argentina, Spain, and Peru, where clonal populations were detected (Gobena *et al.*, 2012; Hurtado-González *et al.*, 2008; Silvar *et al.*, 2006). This suggests that the presence of the pathogen is recent and that no isolates with both mating types have been introduced. Eighty-eight percent of the isolates grew at 35 °C, a result that was similar to that obtained by Pons-Hernández

2019a; Reyes-Tena *et al.*, 2019b). Los aislados de este patógeno presentan los dos tipos de compatibilidad sexual (A1 y A2) en una proporción cercana a 1:1, en cuatro municipios, Copándaro, La Barca, Tarímbaro y Yurécuaro. Lo que sugiere que podría estar ocurriendo reproducción sexual (Castro-Rocha *et al.*, 2016). Un resultado similar en la proporción de ambos tipos de compatibilidad se reportó en poblaciones de *P. capsici* recuperadas en cultivos provenientes de Aguascalientes, Chihuahua, Ciudad de México, Estado de México, Guanajuato, Michoacán, Querétaro y Zacatecas (Castro-Rocha *et al.*, 2016; Fernández-Pavía *et al.*, 2007; Pérez-Moreno *et al.*, 2003; Silva-Rojas *et al.*, 2009). La proporción de compatibilidad sexual cercana a 1:1 también se encontró en poblaciones de China, Estados Unidos de América y Sudáfrica (Bi *et al.*, 2014; Fernández-Pavía *et al.*, 2004; Gevens *et al.*, 2007; Meitz *et al.*, 2010; Yin *et al.*, 2012). La presencia de un solo tipo de compatibilidad (A2) en Morelia es comparable con lo reportado por Pérez-Moreno *et al.* (2003) con aislados obtenidos en Salvatierra, Guanajuato donde se encontró solo A2; y con estudios en poblaciones de Argentina, España y Perú, donde se detectaron poblaciones clonales (Gobena *et al.*, 2012; Hurtado-González *et al.*, 2008; Silvar *et al.*, 2006). Esto podría sugerir que la presencia del patógeno es reciente y no se han introducido aislados de ambos tipos de compatibilidad. El 88% de los aislados crecieron a 35 °C lo cual fue similar a lo observado por Pons-Hernández *et al.*, 2020, quienes reportan un 96% para aislados de Guanajuato.

La ocurrencia de reproducción sexual en poblaciones de *P. capsici* en cultivos de cucurbitáceas y solanáceas en Jalisco y Michoacán, podría favorecer la supervivencia y el surgimiento de mayor variabilidad genética dentro de las poblaciones de este patógeno en esta región del país, lo que podría dificultar los programas de manejo (Babadoost y

et al., 2020, who reported 96% for isolates from Guanajuato.

The sexual reproduction observed on *P. capsici* populations in cucurbitaceae and solanaceae crops in Jalisco and Michoacán could favor the survival and emergence of greater genetic variability within the pathogen's populations in this Mexican region and thus hinder the management programs efforts (Babadoost and Pavon, 2013; Lamour and Hausbeck, 2000). Although there is information about a high level of genetic diversity in populations from central Mexico (Castro-Rocha *et al.*, 2016), it is necessary to consider additional genetic factors that could cause variability, since the high level of *P. capsici* polymorphism could be mediated by other processes that produce variability, such as mutations, genetic recombination, epigenetic processes, and horizontal gene and chromosome transfer (Raffaele and Kamoun, 2012). Another unfavorable factor in wilt management is the practice of susceptible crops rotation, such as *C. pepo* and *S. lycopersicum*. Crop rotation with non-susceptible hosts in 3-5-year periods is preferred in order to reduce the levels of the pathogen's inoculum (Barchenger *et al.*, 2018).

The form of sporangia observed on this study agrees with the description for *P. capsici*, which develop varied forms, ranging from ovoid, ovo-ovoid, sub-globose, globose, ellipsoid, fusiform, piriform, to irregular forms, as well as the frequent presence of bi-papillated sporangia (Li *et al.*, 2007; Soto-Plancarte *et al.*, 2017). The *C. pepo* isolates had sporangia with irregular or distorted forms, a fact that reflects the phenotypic plasticity of this species (Iribarren *et al.*, 2015). On the other hand, the CPV-269 isolate had semi-papillated sporangia with pedicel medium in size, which is a typical characteristic of *P. capsici*, and short, medium, and large pedicels (Granke *et al.*, 2011; Martin *et al.*, 2012). Semi-papillated sporangia have been

Pavon, 2013; Lamour y Hausbeck, 2000). Existe el antecedente de una elevada diversidad genética en poblaciones del centro de México (Castro-Rocha *et al.*, 2016); sin embargo, es necesario considerar factores genéticos adicionales que pudieran ocasionar variabilidad porque el elevado polimorfismo que presenta *P. capsici* podría estar mediado por otros procesos causantes de variabilidad como: mutaciones, recombinación genética, procesos epigenéticos y transferencia horizontal de genes y cromosomas (Raffaele y Kamoun, 2012). Otro factor desfavorable en el manejo de la marchitez, es la práctica de rotación de cultivos susceptibles como *C. pepo* y *S. lycopersicum*. Es preferible que la rotación de cultivos se lleve a cabo en periodos de 3 a 5 años con hospedantes no susceptibles, con el propósito de reducir los niveles de inóculo del patógeno (Barchenger *et al.*, 2018).

La forma de los esporangios registrada en el presente estudio coincide con la descripción para *P. capsici*, la cual puede presentar formas variadas desde ovoides, ovo-ovoides, sub-globosos, globosos, elipsoides, fusiformes, piriformes y con formas irregulares y la frecuente presencia de esporangios bipapilados (Li *et al.*, 2007; Soto-Plancarte *et al.*, 2017). Los aislados provenientes de *C. pepo* mostraron esporangios con formas irregulares o distorsionadas; reflejo de la plasticidad fenotípica de esta especie (Iribarren *et al.*, 2015). Por otro lado, el aislado CPV-269 presentó esporangios semipapilados con pedicelo mediano, esta característica es típica de *P. capsici* con pedicelos cortos, medianos y largos (Granke *et al.*, 2011; Martin *et al.*, 2012). Esporangios semipapilados han sido reportados previamente en aislados de *P. capsici* (French-Monar *et al.*, 2006). En este estudio, el aislado CPV-279

previously reported in *P. capsici* isolates (French-Monar *et al.*, 2006). In this study, the CPV-279 isolate that was obtained from *C. annuum* had apical globose chlamyospores; this isolate was previously identified as *P. capsici* at the molecular level by sequencing the cytochrome oxidase genes 1 and 2 (Reyes-Tena *et al.*, 2019a). The presence of chlamyospores is an unusual characteristic in *P. capsici* and is not considered in the description of the interactive key for this species (Aragaki and Uchida, 2001; Bowers *et al.*, 2007; Donahoo and Lamour, 2008; Martin *et al.*, 2012). However, there are several reports of *P. capsici* forming these structures in the United States and Malaysia (Farhana *et al.*, 2013; Granke *et al.*, 2011; Islam *et al.*, 2004). For this reason, the high level of phenotypic variability that this pathogen shows could be associated with the location and the host from which they were obtained, but more studies need to be conducted to confirm this fact.

CONCLUSIONS

The results provide information about the presence and distribution of *P. capsici* in solanaceae (35 isolates) and cucurbitaceae (six isolates) producing areas in Michoacán and Jalisco municipalities. Thirty-three isolates from *C. annuum*, six from *C. pepo*, and two from *S. lycopersicum* were obtained. Since no previous studies have been conducted in these production areas, the information provided in this research will help horticultural producers to adopt preventive measures and apply specific products to combat this pathogen.

obtenido de *C. annuum* presentó clamidosporas apicales globosas, este aislado previamente fue identificado a nivel molecular como *P. capsici* mediante la secuenciación de los genes de la citocromo oxidasa 1 y 2 (Reyes-Tena *et al.*, 2019a). La presencia de clamidosporas es una característica poco común en *P. capsici* y no está considerada en la descripción de la clave lúcida para esta especie (Aragaki y Uchida, 2001; Bowers *et al.*, 2007; Donahoo y Lamour, 2008; Martin *et al.*, 2012). Sin embargo, existen varios reportes de *P. capsici* en EE. UU. y Malasia que forman estas estructuras (Farhana *et al.*, 2013; Granke *et al.*, 2011; Islam *et al.*, 2004). Por este motivo, la alta variabilidad fenotípica que presenta este patógeno podría correlacionarse con el lugar y el hospedante de donde fueron obtenidos, sin embargo, se necesitan estudios para confirmarlo.

CONCLUSIONES

Los resultados proveen información acerca de la presencia y distribución de *P. capsici* en zonas de producción de solanáceas (35 aislados) y cucurbitáceas (seis aislados) en municipios de Michoacán y Jalisco. Se aislaron 33 aislamientos del cultivo de *C. annuum*, seis de *C. pepo* y dos de *S. lycopersicum*. Debido a que no existen estudios previos en estas zonas de producción, la información de este trabajo es útil para que los productores adopten medidas de prevención y apliquen productos específicos contra este patógeno.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca de estudios de doctorado.

ACKNOWLEDGMENTS

The first author of this study wishes to thank Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) for the scholarship granted for his Ph.D. studies.

~~~~~ End of the English version ~~~~~

## LITERATURA CITADA

- Abad ZG, Burgess T, Bienapfl JC, Redford AJ, Coffey M and Knight L. 2019. IDphy: Molecular and morphological identification of *Phytophthora* based on the types. USDA APHIS PPQ S&T Beltsville Lab, USDA APHIS PPQ S&T ITP, Centre for *Phytophthora* Science and Management, and World *Phytophthora* Collection. [http://idtools.org/id/phytophthora/tabular\\_key.php](http://idtools.org/id/phytophthora/tabular_key.php)
- Almaraz-Sánchez A, Alvarado-Rosales D y Saavedra-Romero LL. 2013. Trampeo de *Phytophthora cinnamomi* en bosque de encino con dos especies ornamentales e inducción de su esporulación. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 19(1): 5-12. <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2011.09.062>
- Anaya-López JL, González-Chavira MM, Villordo-Pineda E, Rodríguez-Guerra R, Rodríguez-Martínez R, Guevara-González RG, Guevara-Olvera L, Montero-Tavera V y Torres-Pacheco I. 2011. Selección de genotipos de Chile resistentes al complejo patogénico de la marchitez. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 2(3): 373-383. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342011000300006&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342011000300006&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Aragaki M and Uchida JY. 2001. Morphological distinctions between *Phytophthora capsici* and *P. tropicalis* sp. nov. Mycologia 93(1): 137-145. <https://www.jstor.org/stable/3761611>
- Babadoost M and Pavon C. 2013. Survival of oospores of *Phytophthora capsici* in soil. Plant Disease 97(11): 1478-1483. <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-12-1123-RE>
- Barchenger DW, Lamour KH and Bosland PW. 2018. Challenges and strategies for breeding resistance in *Capsicum annuum* to the multifarious pathogen, *Phytophthora capsici*. Frontiers in Plant Science 9: 628. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00628>

- Bautista-Calles JR, García-Espinosa R, Zavaleta-Mejía E, Pérez-Moreno J, Montes-Belmont R, Ferrera-Cerrato R and Huerta-Lara M. 2010. Disminución de la marchitez del chile (*Phytophthora capsici* Leo) con complejidad ascendente de antagonistas en el sustrato de germinación del chile (*Capsicum annuum* L.). *Interciencia* 35(9): 613-618. <https://www.redalyc.org/pdf/339/33914212007.pdf>
- Bi Y, Hu J, Cui X, Shao J, Lu X, Meng Q, and Liu X. 2014. Sexual reproduction increases the possibility that *Phytophthora capsici* will develop resistance to dimethomorph in China. *Plant Pathology* 63(6): 1365-1373. <https://doi.org/10.1111/ppa.12220>
- Bowers JH, Martin FN, Tooley PW and Luz EDMN. 2007. Genetic and morphological diversity of temperate and tropical isolates of *Phytophthora capsici*. *Phytopathology* 97(4): 492-503. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-97-4-0492>
- Castro-Rocha A, Fernández-Pavía SP y Osuna-Ávila P. 2012. Mecanismos de defensa del chile en el patosistema *Capsicum annuum-Phytophthora capsici*. *Revista Mexicana de Fitopatología* 30(1): 49-65. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0185-33092012000100005&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092012000100005&lng=es&nrm=iso)
- Castro-Rocha A, Shrestha S, Lyon B, Grimaldo-Pantoja GL, Flores-Marges JP, Valero-Galván J, Aguirre-Ramírez M, Osuna-Ávila P, Gómez-Dorantes N, Ávila-Quezada G, Luna-Ruiz JJ, Rodríguez-Alvarado G, Fernández-Pavía SP and Lamour K. 2016. An initial assessment of genetic diversity for *Phytophthora capsici* in northern and central Mexico. *Mycological Progress* 15:15. <https://doi.org/10.1007/s11557-016-1157-0>
- Donahoo RS and Lamour KH. 2008. Interspecific hybridization and apomixes between *Phytophthora capsici* and *Phytophthora tropicalis*. *Mycologia* 100(6): 911-920. <https://doi.org/10.3852/08-028>
- Erwin DC and Ribeiro OK. 1996. *Phytophthora* Diseases Worldwide. American Phytopathological Society Press. St. Paul, Minnesota. 562 p.
- Farhana MDSN, Bivi MR, Khairulmazmi A, Wong SK and Sariah M. 2013. Morphological and molecular characterization of *Phytophthora capsici*, the causal agent of foot rot disease of black pepper in Sarawak, Malaysia. *International Journal of Agriculture and Biology* 15(6) 1083-1090. [http://www.fspublishers.org/published\\_papers/70113\\_.pdf](http://www.fspublishers.org/published_papers/70113_.pdf)
- Fernández-Pavía SP, Biles CL, Waugh ME, Onsurez-Waugh K, Rodríguez-Alvarado G and Lidell CM. 2004. Characterization of southern New Mexico *Phytophthora capsici* Leonian isolates from pepper (*Capsicum annuum* L.). *Revista Mexicana de Fitopatología* 22(1): 82-89. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61222111>
- Fernández-Pavía SP, Rodríguez-Alvarado G and Sánchez-Yáñez JM. 2007. Buckeye rot of tomato caused by *Phytophthora capsici* in Michoacan, Mexico. *Plant Disease* 87(7): 872-872. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2003.87.7.872C>
- French-Monar RD, Jones JB and Roberts PD. 2006. Characterization of *Phytophthora capsici* associated with roots of weeds on Florida vegetable farms. *Plant Disease* 90(3): 345-350. <https://doi.org/10.1094/PD-90-0345>
- García-Rodríguez MR, Chiquito-Almanza E, Loeza-Lara PD, Godoy-Hernández H, Villordo-Pineda E, Pons-Hernández JL, González-Chavira J y Anaya-López JL. 2010. Producción de chile ancho injertado sobre Criollo de Morelos 334 para el control de *Phytophthora capsici*. *Agrociencia* 44(6): 701-709. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952010000600009&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952010000600009&lng=es&nrm=iso)
- Gevens AJ, Donahoo RS, Lamour KH and Hausbeck MK. 2007. Characterization of *Phytophthora capsici* from Michigan surface irrigation water. *Phytopathology* 97(4): 421-428. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-97-4-0421>
- Gobena D, Roig J, Galmarini C, Hulvey J and Lamour K. 2012. Genetic diversity of *Phytophthora capsici* isolates from pepper and pumpkin in Argentina. *Mycologia* 104(1): 102-107. <https://doi.org/10.3852/11-147>
- Gómez-Rodríguez O, Corona-Torres T and Aguilar-Rincón VH. 2017. Differential response of pepper (*Capsicum annuum* L.) lines to *Phytophthora capsici* and root-knot nematodes. *Crop Protection* 92 (2):148-152. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.10.023>
- Granke LL, Quesada-Ocampo LM and Hausbeck MK. 2011. Variation in phenotypic characteristics of *Phytophthora capsici* isolates from a worldwide collection. *Plant Disease* 95(9): 1080-1088. <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-11-0190>
- Granke LL, Quesada-Ocampo L, Lamour K and Hausbeck MK. 2012. Advances in research on *Phytophthora capsici* on vegetable crops in the United States. *Plant Disease* 96(11): 1588-1600. <https://doi.org/10.1094/PDIS-02-12-0211-FE>
- Hurtado-González O, Aragon-Caballero L, Apaza-Tapia W, Donahoo R and Lamour K. 2008. Survival and spread of *Phytophthora capsici* in coastal Peru. *Phytopathology* 98(6): 688-694. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-98-6-0688>
- Iribarren MJ, Pascuan C, Soto G and Ayub ND. 2015. Genetic analysis of environmental strains of the plant pathogen *Phytophthora capsici* reveals heterogeneous repertoire of effectors and possible effector evolution via genomic island. *FEMS Microbiology Letters* 362(22): 1-6. <https://doi.org/10.1093/femsle/fnv189>
- Islam SZ, Babadoost M, Lambert NK, Ndeme A and Fouly HM. 2004. Characterization of *Phytophthora capsici* isolates from processing pumpkin in Illinois. *Plant Disease* 89(2): 191-197. <https://doi.org/10.1094/PD-89-0191>
- Kamoun S, Furzer O, Jones JDG, Judelson HS, Ali GS, Dalió RJD, Roy SG, Schena L, Zambounis A, Panabières F, Cahill D, Ruocco M, Figueiredo A, Chen XR, Hulvey J, Stam R, Lamour K, Gijzen M, Tyler BM, Grünwald NJ, Mukhtar MS, Tomé DFA, Tör M, Van den ackerveken G, McDowell J, Daayf F, Fry WE, Lindqvist-Kreuzer H, Meijer HJG, Petre B, Ristaino J, Yoshida K, Birch PRJ and Govers F. 2015. The top 10 oomycete pathogens in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology* 16(4): 413-434. <https://doi.org/10.1111/mpp.12190>
- Lamour KH and Hausbeck MK. 2000. Mefenoxam insensitivity and the sexual stage of *Phytophthora capsici* in Michigan cucurbit fields. *Phytopathology* 90(4): 396-400. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2000.90.4.396>

- Lamour KH, Stam R, Jupe J and Huitema E. 2012. The oomycete broad-host-range pathogen *Phytophthora capsici*. Molecular Plant Pathology 13(4): 319-337. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2011.00754.x>
- Li Z, Long W, Zheng J and Lei J. 2007. Isolation and identification of *Phytophthora capsici* in Guangdong Province and measurement of their pathogenicity and physiological race differentiation. Frontiers of Agriculture in China 1(4): 377-381. <https://doi.org/10.1007/s11703-007-0063-2>
- Martin FN, Abad ZG, Balci Y and Ivors K. 2012. Identification and detection of *Phytophthora*: reviewing our progress, identifying our needs. Plant Disease 96(8): 1080-1103. <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-11-1036-FE>
- Meitz JC, Linde CC, Thompson A, Langenhoven S and McLeod A. 2010. *Phytophthora capsici* on vegetable hosts in South Africa: distribution, host range and genetic diversity. Australasian Plant Pathology 39(5): 431-439. <http://link.springer.com/10.1071/AP09075>
- Morán-Bañuelos SH, Aguilar-Rincón VH, Corona-Torres T y Zavaleta-Mejía E. 2010. Resistencia a *Phytophthora capsici* Leo. de chiles nativos del sur de Puebla, México. Revista Fitotecnia Mexicana 33(4): 21-26. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_isoref&pid=S0187-73802010000500006&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_isoref&pid=S0187-73802010000500006&lng=es&tlng=es)
- Palma-Martínez E, Aguilar-Rincón VH, Corona-Torres T and Gómez-Rodríguez O. 2017. Resistencia a *Phytophthora capsici* Leo en líneas de chile huacle (*Capsicum annum* L.). Revista Fitotecnia Mexicana 40(3): 359-363. <https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/40-3/13a.pdf>
- Pérez-Moreno L, Durán-Ortiz LJ, Ramírez-Malagón R, Sánchez-Pale JR y Olalde-Portugal V. 2003. Compatibilidad fisiológica y sensibilidad a fungicidas de aislamientos de *Phytophthora capsici* Leo. Revista Mexicana de Fitopatología 21(1): 19-25. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61221103>
- Pons-Hernández JL, Guerrero-Aguilar BZ, González-Chavira MM, González-Pérez E, Villalobos-Reyes S y Muñoz-Sánchez CI. 2020. Variabilidad fenotípica de aislados de *Phytophthora capsici* en Guanajuato. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 11(8): 1891-1901. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i8.2618>
- Quesada-Ocampo LM and Hausbeck MK. 2010. Resistance in tomato and wild relatives to crown and root rot caused by *Phytophthora capsici*. Phytopathology 100(6): 619-627. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-100-6-0619>
- Raffaele S and Kamoun S. 2012. Genome evolution in filamentous plant pathogens: Why bigger can be better. Nature Reviews Microbiology 10(6): 417-430. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2790>
- Reis A, Paz-Lima ML, Moita AW, Aguiar FM, Fonseca MEN, Café-Filho AC and Boiteux LS. 2018. A reappraisal of the natural and experimental host range of neotropical *Phytophthora capsici* isolates from *Solanaceae*, *Cucurbitaceae*, *Rosaceae* and *Fabaceae*. Journal of Plant Pathology 100: 215-223. <https://doi.org/10.1007/s42161-018-0069-z>
- Reyes-Tena A, Rincón-Enríquez G, López-Pérez L and Quiñones-Aguilar EE. 2017. Effect of mycorrhizae and actinomycetes on growth and bioprotection of *Capsicum annum* L. against *Phytophthora capsici*. Pakistan Journal of Agricultural Sciences 54(3): 513-522. <https://www.pakjas.com.pk/papers/2730.pdf>
- Reyes-Tena A, Castro-Rocha A, Rodríguez-Alvarado G, Vázquez-Marrufo G, Pedraza-Santos ME, Lamour K, Larsen J and Fernández-Pavía SP. 2019a. Virulence phenotypes on chili pepper for *Phytophthora capsici* isolates from Michoacán, Mexico. HortScience 54(9): 1526-1531. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI13964-19>
- Reyes-Tena A, Huguet-Tapia JC, Lamour KH, Goss EM, Rodríguez-Alvarado G, Vázquez-Marrufo G, Santillán-Mendoza R and Fernández-Pavía SP. 2019b. Genome sequence data of six isolates of *Phytophthora capsici* from Mexico. Molecular Plant-Microbe Interactions 32(10): 1267-1269. <https://doi.org/10.1094/MPMI-01-19-0014-A>
- Reyes-Tena A, Rodríguez-Alvarado G, Santillán-Mendoza R, Díaz-Celaya M y Fernández-Pavía SP. 2019c. Marchitez causada por *Fusarium solani* en chile chilaca (*Capsicum annum*) en Michoacán. Revista Mexicana de Fitopatología 37(1): 43-47. <http://dx.doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1904-1>
- Rivera-Jiménez MN, Zavaleta-Mancera HA, Rebollar-Alviter A, Aguilar-Rincón VH, García-de-los-Santos G, Vaquera-Huerta H and Silva-Rojas HV. 2018. Phylogenetics and histology provide insight into damping-off infections of 'Poblano' pepper seedlings caused by *Fusarium* wilt in greenhouses. Mycological Progress 17: 1237-1249. <https://doi.org/10.1007/s11557-018-1441-2>
- SADER, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. 2020 Servicio de información agroalimentaria y pesquera. <https://www.gob.mx/siap> (consulta, julio 2020).
- Silva-Rojas HV, Fernández-Pavía SP, Góngora-Canul C, Macías-López BC y Ávila-Quezada GD. 2009. Distribución espacio temporal de la marchitez del chile (*Capsicum annum* L.) en Chihuahua e identificación del agente causal *Phytophthora capsici* Leo. Revista Mexicana de Fitopatología 27(2): 134-147. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0185-33092009000200006](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092009000200006)
- Silvar C, Merino F and Díaz J. 2006. Diversity of *Phytophthora capsici* in northwest Spain: analysis of virulence, metalaxyl response, and molecular characterization. Plant Disease 90(9): 1135-1142. <https://doi.org/10.1094/PD-90-1135>
- Soto-Plancarte A, Rodríguez-Alvarado G, Fernández-Pavía YL, Pedraza-Santos ME, López-Pérez L, Díaz-Celaya M y Fernández-Pavía SP. 2017. Protocolos de aislamiento y diagnóstico de *Phytophthora* spp. enfoque aplicado a la investigación. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 8(8): 1867-1880. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263153822011>
- Velarde-Félix S, Garzón-Tiznado JA, Hernández-Verdugo S, López-Orona CA and Retes-Manjarrez JE. 2018. Occurrence of *Fusarium oxysporum* causing wilt on pepper in Mexico. Canadian Journal of Plant Pathology 40(2): 238-247. <https://doi.org/10.1080/07060661.2017.1420693>
- Yin J, Jackson KL, Candole BL, Csinos AS, Langston DB and Ji P. 2012. Aggressiveness and diversity of *Phytophthora capsici* on vegetable crops in Georgia. Annals Applied Biology 160(2): 191-200. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2012.00532.x>