

Fungicides, biocontrollers and resistance inducers in commercial bell pepper hybrids inoculated with *Phytophthora capsici*

Fungicidas, biocontroladores e inductores de resistencia en híbridos comerciales de pimiento morrón inoculados con *Phytophthora capsici*

Rafael Godínez-Paoli¹, Santos Gerardo Leyva-Mir², María del Rosario García-Mateos¹, Jesús Magdaleno-Villar¹, Instituto de Horticultura, Departamento de Fitotecnia¹, Micología Agrícola, Departamento de Parasitología Agrícola², Universidad Autónoma Chapingo, Carretera México-Texcoco, Km 38.5, Texcoco, Estado de México, CP 56230, México; Oscar Cruz-Alvarez, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, Avenida Pascual Orozco, Campus 1, s/n, Chihuahua, Chihuahua, CP 31350, México. María Teresa Martínez-Damián^{1*}. *Autor para correspondencia: teremd13@gmail.com

Recibido: 04 de Febrero, 2020.

Aceptado: 02 de Abril, 2020.

Godínez-Paoli R, Leyva-Mir SG, García-Mateos MR, Magdaleno-Villar J, Cruz-Álvarez O and Martínez-Damián MT. 2020. Fungicides, biocontrollers and resistance inducers in commercial bell pepper hybrids inoculated with *Phytophthora capsici*. Mexican Journal of Phytopathology 38(2): 258-268.

DOI: 10.18781/R.MEX.FIT.2002-1

Primera publicación DOI: 09 de Abril, 2020.

First DOI publication: April 09, 2020.

Resumen. El objetivo de esta investigación fue evaluar el nivel de resistencia de diferentes híbridos comerciales de pimiento morrón (Caoba rojo, Dicaprio amarillo, Pimiento Olvera, Sympathy, California wonder y PS16364212), a *P. capsici* mediante el uso de fungicidas, biocontroladores e inductores de resistencia. El ensayo se realizó bajo condiciones de invernadero en bolsas de polietileno

Abstract. The aim of this research was to evaluate the resistance level of different commercial bell peppers hybrids (Caoba rojo, Dicaprio amarillo, Pimiento Olvera, Sympathy, California wonder y PS16364212), to *P. capsici* by using fungicides, biocontrollers and inducers of resistance. The essay was carried out under greenhouse conditions in black polyethylene bags with tezontle sand as substrate. The products were applied according to the manufacturer's recommended dose, applied 10 and 20 days after transplantation. Subsequently, the plants were inoculated with a solution of mobile zoospores at a concentration of 1×10^{-6} . Three visual evaluations were carried out to record incidence, severity and AUDSC. It was found that PS16364212 presented better resistance to *P. capsici* attack with 14.9% incidence and 15.7% day⁻¹ (AUDSC) compared to California wonder (44.2% incidence). The application of Metalaxil-M and Acibenzolar-S-methyl showed the lowest AUDSC (0.8 and

negro con arena de tezontle como sustrato. Los productos se aplicaron de acuerdo con la dosis recomendada por el fabricante, aplicándose a los 10 y 20 días después del trasplante. Posteriormente, las plantas se inocularon con una solución de zoosporas móviles a una concentración de 1×10^{-6} . Se realizaron tres evaluaciones visuales para el registro de incidencia, severidad y ABCPE. Se encontró que PS16364212 presentó mejor resistencia al ataque de *P. capsici* con 14.9% de incidencia y $15.7\% \text{ dia}^{-1}$ (ABCPE) respecto a California wonder (44.2% de incidencia). La aplicación de Metalaxil-M y Acibenzolar-S-metil mostraron la menor ABCPE (0.8 y $6.8\% \text{ dia}^{-1}$, respectivamente), por lo que ambos productos pueden ser considerados como una alternativa para su empleo dentro del manejo integrado de la marchitez del chile.

Palabras clave: *Capsicum annuum*, oomicetes, marchitez, Acibenzolar-S-metil, activador de defensa, resistencia sistémica

Capsicum annuum es una de las especies de chile con mayor diversidad morfológica y superficie cultivada a nivel mundial. En México, se cultivan en condiciones de campo abierto e invernadero, en la que se destacan los tipos “jalapeño”, “pimiento morrón” y “poblano”, donde el volumen de producción asciende a 3,296,875 t y las entidades federativas con mayor producción son Chihuahua, Sinaloa, Zacatecas y San Luis Potosí (SIAP, 2018). El país es el principal exportador de pimiento morrón con 150,303 t, cuyos principales mercados son los Estados Unidos, Canadá y Japón (Sánchez-Gurrola *et al.*, 2019). Sin embargo, la producción de chile, no solo de pimiento morrón, se ven afectadas por la presencia del Oomiceto *Phytophthora capsici* en el suelo (Barchenger *et al.*, 2018).

El patógeno *P. capsici* ocasiona la marchitez o secadera del chile, producto de la pudrición radicular,

$6.8\% \text{ dia}^{-1}$, respectively), so that both products can be considered as an alternative for their use within the integrated management of wilt of the chili.

Key words: *Capsicum annuum*, oomycetes, wilting, Acibenzolar-S-methyl, defense activator, systemic resistance

Capsicum annuum is one of the pepper species with the highest morphological diversity and surface planted on a global scale. In Mexico, they are planted under open field conditions and in greenhouses, in which the “jalapeño”, “bell pepper” y “poblano” types stand out, since the production volume amounts to 3,296,875 t, and the states with the highest production levels are Chihuahua, Sinaloa, Zacatecas and San Luis Potosí (SIAP, 2018). Mexico is the main exporter of bell peppers, with 150,303 t, and the main importing countries are the United States, Canada and Japan (Sánchez-Gurrola *et al.*, 2019). However, the production of chili peppers, and not just bell peppers, are affected by the presence of the Oomycete *Phytophthora capsici* in the soil (Barchenger *et al.*, 2018).

The pathogen *P. capsici* causes the wilting or drying of peppers, produced by the rotting of the root, chlorosis and falling of leaves, affecting between 10 and 100% of all plants (Jiménez-Camargo *et al.*, 2018), which depends on the prevailing weather conditions and the timely application of fungicides that help inhibit the fungal reproductive cycle; notwithstanding, the constant use of chemical products has led to the resistance of the pathogen, as well as environmental deterioration (soil, water and air) and an increase in production costs (Fernández-Herrera *et al.*, 2007).

Among the strategies used to reduce the negative effect of *P. capsici*, is the use of resistant rootstock; however, its use is limited by the type of rootstock, edaphoclimatic conditions and the

clorosis y caída de hojas con niveles de afectación entre 10 y 100% de las plantas (Jiménez-Camargo *et al.*, 2018), lo cual se encuentra en función de las condiciones climáticas prevalecientes y la aplicación oportuna de fungicidas que permitan inhibir el ciclo de reproducción del hongo; no obstante, el empleo constante de productos químicos ha causado la resistencia del patógeno, así como deterioro ambiental (suelo, agua y aire) e incremento de los costos de producción (Fernández-Herrera *et al.*, 2007).

Entre las estrategias empleadas para disminuir el efecto negativo de *P. capsici*, se encuentra el uso de portainjertos resistentes; no obstante, su uso se ve limitado por el tipo de portainjerto, condiciones edafoclimáticas y la especie o variedad empleada como injerto (Sánchez-Chávez *et al.*, 2015). En este sentido, lo más práctico y útil es el aprovechamiento de los mecanismos de defensa físicos (ceras, cutícula, paredes celulares, tamaño, forma y ubicación de aperturas naturales, entre otras) y químicos pre-existentes (etileno, ácido jasmónico, ácido salicílico y nutrimentos esenciales) (Huallanca y Cadenas, 2014), así como la inducción de mecanismos de defensa que son activadas antes y después de la penetración del patógeno (Qi *et al.*, 2012), proporcionando una mejor respuesta de la planta a un posterior ataque (Castro *et al.*, 2012).

En la actualidad, a nivel comercial existen productos de origen natural y sintético (biocontroladores) e inductores de resistencia (sintéticos) que mediante su aplicación actúan sobre la planta e impiden o retrasan la entrada del patógeno y con ello limitan su actividad en el tejido u órgano infectado, pero sin tener un efecto directo o actividad específica sobre los fitopatógenos (Huallanca y Cadenas, 2014). Por consiguiente, el objetivo de esta investigación fue evaluar el nivel de resistencia de diferentes híbridos comerciales de pimiento morrón a *P. capsici* mediante el uso de fungicidas, biocontroladores e inductores de resistencia.

species or variety used as a graft (Sánchez-Chávez *et al.*, 2015). In this sense, the most practical and useful thing is the use of the pre-existing physical (waxes, cuticles, cell walls, size, shape and location of natural apertures, among others) and chemical defense mechanisms (ethylene, jasmonic acid, salicylic acid, and essential nutrients) (Huallanca and Cadenas, 2014), as well as the induction of defense mechanisms that are activated before and after the penetration of the pathogen (Qi *et al.*, 2012), providing a better response by the plant to a later attack (Castro *et al.*, 2012).

Nowadays, products from natural or synthetic sources (biocontrollers) and resistance inducers (synthetic) are available in the market, and with their application on the plant, they act on it and stop or delay the entrance of the pathogen, limiting its activity on the infected tissue or organ, without having a direct effect or specific activity on the phytopathogens (Huallanca and Cadenas, 2014). Therefore, the aim of this research was to evaluate the level of resistance of different commercial bell pepper hybrids to *P. capsici* with the use of fungicides, biocontrollers and resistance inductors.

The experiment was set up in a tunnel-like greenhouse, P-5, located in the Experimental Agricultural Field in the Universidad Autónoma Chapingo (UACH), State of Mexico, Mexico (19° 29' 33" N, 98° 52' 21" W), at an altitude and with an annual average temperature of 2,267 masl and 15.9 °C, respectively. The plant material used consisted of commercial bell pepper hybrids: Caoba rojo, Dicaprio amarillo, Olvera pepper, Sympathy, California Wonder and PS16364212. On the other hand, the commercial name, active ingredient and doses of fungicides, biocontrollers and resistance inductors are described in Table 1.

The plants were sown in expanded polystyrene trays with 128 pits, using peat moss and perlite (1:2) as a substrate. The essay was carried out under greenhouse conditions, using 384, 60-

El experimento se estableció en el invernadero P-5 tipo túnel ubicado en el Campo Agrícola experimental del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Estado de México, México (19° 29' 33" N, 98° 52' 21" O) con una altitud y temperatura media anual de 2,267 m y 15.9 °C, respectivamente. El material vegetal empleado consistió de los híbridos comerciales de pimiento morrón: Caoba rojo, Dicaprio amarillo, Pimiento Olvera, Sympathy, California Wonder y PS16364212. Por otro lado, el nombre comercial, ingrediente activo y dosis de los fungicidas, biocontroladores e inductores de resistencia se describen en el Cuadro 1.

La siembra se realizó en charolas de poliestireno expandido con 128 cavidades, en la que se empleó peat moss (turba) y perlita (1:2) como sustrato. El ensayo se realizó en condiciones de invernadero, empleándose 384 plántulas con 60 días de edad, las cuales fueron trasplantadas en bolsas de polietileno negro con capacidad de 10 L rellenas con arena de tezontle como sustrato. La nutrición se llevó a cabo mediante un sistema de riego por goteo, cuya solución nutritiva tuvo una composición nutrimental (mg L⁻¹): N (250), P (60), Ca (250), K (250), Mg

day old seedlings, which were grafted in black polyethylene bags, with a capacity of 10 L, filled with tezontle sand as a substrate. Nutrition was carried out by a drip irrigation system, the nutrient solution of which had a nutritional composition of (mg L⁻¹): N (250), P (60), Ca (250), K (250), Mg (60), S (205), Fe (3), Mn (1), B (0.5), Cu (0.1) and Zn (0.5), where the volume of applied irrigation was of one liter per plant per day, distributed in two irrigations (morning and afternoon) with a duration of 30 minutes.

An experimental design of plots divided with a factorial 6 x 8 factorial treatments was used, and for this we considered 1) six commercial hybrids (Caoba rojo, Dicaprio amarillo, Pimiento Olvera, Sympathy, California wonder and PS16364212), 2) eight treatments (Acibenzolar methyl (ASM) + inoculation, *Bacillus subtilis* (BS) + inoculation, distilled water (TEST) + inoculation, Metalaxil-M (METM) + inoculation, *Trichoderma* spp. (TRICH) + inoculation, Potassium phosphonate (FP) + inoculation, Fosetyl-Al (FAL) + inoculation and distilled water (TESTAB) without inoculating). The experimental unit was composed of a plant with eight repetitions per treatment. The products

Cuadro 1. Nombre comercial, ingrediente activo y dosis aplicados de los productos utilizados para el control de *P. capsici* en pimiento morrón.

Table 1. Commercial name, active ingredient and applied doses of the products used for the control of *P. capsici* in bell peppers.

Nombre comercial	Ingrediente activo	Dosis ha ⁻¹
Actigard 50 GS ^x	S-metilbenzo [1,2,3]tiadiazol-7-carbotioato	50 g
Fitoprón ^x	Anhídrido fosfórico, óxido de potasio y fosfonato potásico	2 L
Serenade ASO ^y	<i>Bacillus subtilis</i> cepa QAT 713	1.5 kg
Espectro Trico-Bio ^y	<i>Trichoderma</i> spp.	2 L
Ridomil Gold 480 SL ^z	Metil N-(metotoxiacetil)-N-(2,6-xilil)-D-alaninato	0.5 L (1 ^a aplicación) 1.25 L (2 ^a aplicación)
Aliette ^z	Tris-O-etil fosfonato de aluminio.	2.5 kg
Testigo sin tratamiento	Agua destilada	2 L
Testigo absoluto sin inocular	Agua destilada	2 L

^xInductor de resistencia, ^yBiocontrolador y ^zFungicida químico / ^xResistance inductor, ^yBiocontrollerr and ^zChemical fungicide.

(60), S (205), Fe (3), Mn (1), B (0.5), Cu (0.1) y Zn (0.5), donde el volumen de riego aplicado fue de un litro por planta por día, distribuidos en dos riegos (mañana y tarde) con media hora de duración.

Se empleó un diseño experimental de parcelas divididas con arreglo de tratamientos factorial 6 x 8, para ello se consideró: 1) seis híbridos comerciales (Caoba rojo, Dicaprio amarillo, Pimiento Oiveira, Sympathy, California wonder y PS16364212), 2) ocho tratamientos (Acibenzolar metil (ASM) + inoculación, *Bacillus subtilis* (BS) + inoculación, agua destilada (TEST) + inoculación, Metalaxil-M (METM) + inoculación, *Trichoderma* spp. (TRICH) + inoculación, Fosfonato de potasio (FP) + inoculación, Fosetil-Al (FAL) + inoculación y agua destilada (TESTAB) sin inoculación). La unidad experimental se constituyó de una planta con ocho repeticiones por tratamiento. Los productos fueron aplicados de acuerdo con la dosis indicada por el fabricante (Cuadro 1) y donde se consideró una densidad de 2.5 plantas m⁻². La aplicación de los tratamientos se realizaron a los 10 y 20 días después del trasplante, respectivamente. Con excepción de Actigard 50 GS y Aliette, el resto de productos fueron aplicados mediante la inyección directa al sustrato (área de la base del tallo). Las plantas fueron inoculadas con 50 mL de una solución de zoosporas móviles a una concentración de 1x10⁶.

En este trabajo se empleó la cepa 6143 de *P. capsici*, misma que fue proporcionada por el área de Fitosanidad-Fitopatología del Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo, la cual fue re-sembrada en medio de cultivo de jugo V8-agar. Una vez que se desarrolló el patógeno, se procedió a su multiplicación mediante la siembra de cuadros de 0.5x0.5 cm en caja Petri con medio de cultivo de jugo V8-agar, dejándose reposar por 24 h a temperatura ambiente (19 °C), posteriormente se colocaron dentro de una incubadora a 28 °C durante seis días.

were applied according to the dosage indicated by the manufacturer (Table 1), which considered a density of 2.5 plants m⁻². Treatments were applied 10 and 20 days after transplant, respectively. With exception from Actigard 50 GS and Aliette, the remaining products were applied by injecting directly into the substrate (stem base area). Plants were inoculated with 50 mL of a solution of mobile zoospores at a concentration of 1x10⁶.

In this experiment, we used the 6143 *P. capsici* strain, which was provided by the Plant Health-Pathology area of the Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo, which was replanted in a V8 juice-agar medium. Once the pathogen developed, its multiplication was carried out by planting 0.5x0.5 cm squares in Petri dishes with a V8 juice-agar culture medium, and letting it stand for 24h at room temperature (19 °C), followed by incubation at 28 °C for six days.

Out of the total of experimental units, 336 were inoculated with 50 mL of a solution of mobile zoospores, at a concentration of 1x10⁶ zoospores mL⁻¹. Samples were taken at random from the roots of 10 plants with typical symptoms of chili wilting, which were washed with running water and disinfested with a 0.5% sodium hypochlorite solution for five minutes, to later be placed in the V8 juice-agar culture medium (Singleton *et al.*, 1992).

The samples that developed isolations consisting of cottonlike white mycelia, were morphologically characterized. After corroborating the presence of the oomycete in the analyzed samples, the method was repeated to obtain sporangia. Subsequently, 50 mL of a solution of zoospores were prepared, at a concentration of 1x10⁶ zoospores mL⁻¹, and directly applied on the roots of 10 Caoba rojo, hybrid plants, 60 days to transplant, in order to satisfy Koch's postulates; two transplanting plants were used as controls.

Visual evaluations were carried out 8, 16 and 24 days after inoculation (dai) in order to detect

Del total de unidades experimentales, 336 fueron inoculadas con 50 mL de una solución de zoosporas móviles a una concentración de 1×10^6 zoosporas mL^{-1} . Se tomaron al azar muestras de raíz de 10 plantas con síntomas típicos de marchitez del chile que fueron lavadas con agua corriente y desinfectadas con una solución de hipoclorito de sodio al 0.5% por cinco minutos y después fueron enjuagadas con agua destilada estéril, para posteriormente ser colocadas en medio de cultivo jugo V8-agar (Singlenton *et al.*, 1992).

Las muestras que desarrollaron aislados consistentes con micelio blanco algodonoso, se caracterizaron morfológicamente. Una vez corroborada la presencia del oomiceto en las muestras analizadas se repitió la metodología para la obtención de esporangios. Posteriormente se prepararon 50 mL de solución de zoosporas a una concentración de 1×10^6 zoosporas mL^{-1} , la cual se aplicó directamente a la raíz de 10 plantas del híbrido Caoba Rojo con 60 días al trasplante, con la finalidad de cumplir con los postulados de Koch, dos plantas se emplearon como testigo.

Las evaluaciones visuales se realizaron a los 8, 16 y 24 días después de la inoculación (ddi) con la finalidad de detectar plantas con síntomas de marchitez o secadera. La evaluación de incidencia se realizó mediante la identificación de plantas con síntomas típicos de la enfermedad respecto del número total de plantas y mientras que para el porcentaje de daño que presentó cada planta se propuso una escala visual (Figura 1).

Con los datos obtenidos del nivel de daño, se calculó la severidad de ataque del oomiceto y se determinó el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE), para lo cual se empleó el método de integración trapezoidal propuesto por Shaner y Finney (1977). Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de comparación de medias de rango múltiple de

plants with symptoms of wilting or dryness. The evaluation of incidence was carried out by identifying plants with typical symptoms of the disease in comparison with the total number of plants, and for the percentage of damage presented for each plant, a visual scale was proposed (Figure 1).

Using the data obtained on the damage levels, we calculated the severity of the attack of the oomycete, and the Area Under the Disease Progress Curve (AUDPC) was determined, using the trapezoidal research method proposed by Shaner and Finney (1977). The data underwent an analysis of variance (ANOVA) and a Tukey-Kramer multiple range test of comparison of averages ($p \leq 0.05$), using the SAS® 9.0 statistical package.

According to Koch's test, all plants inoculated with the *P. capsici* zoospore solution presented a loss in turgency until their complete wilting, whereas the control, which only received distilled water, displayed no symptoms. Initial results displayed an incidence of 19.5% of *P. capsici* on the hybrids, increasing to 38.8 and 48.9%, respectively for the second and third evaluations (Table 2). In this sense, it has been reported that the attack of the oomycete begins with the segregation of proteins within the host, causing physiological alterations (Thines and Kamoun, 2010). During the evaluation, hybrid PS16364212 presented an incidence of 14.9% in comparison with California wonder, with 44.2%, and that has a longer time of use, and therefore has a lower resistance to the attack of the pathogen (Sánchez-Gurrola *et al.*, 2019).

Plants inoculated with the *B. subtilis* treatment displayed a damage severity of 33.5%, regarding Metalaxil-M and Acibenzolar-S-Metil (0% in both cases). At the end of 16 dai, this value increased to 80.4%; by contrast, Metalaxil-M registered 0.4%. In the last evaluation (24 dai), an increase was observed in the severity for plants treated with

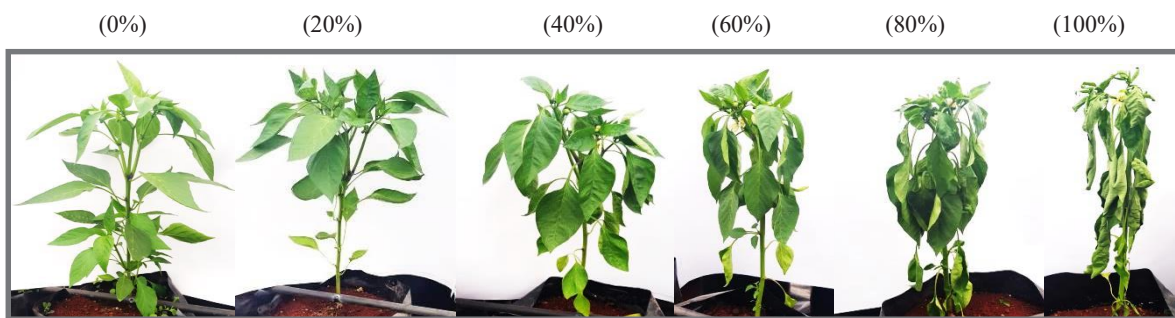


Figura 1. Guía visual para evaluación de incidencia y nivel de daño (%) causado por *P. capsici* en plantas de pimiento morrón.
Figure 1. Visual guide for incidence evaluation and damage level (%) caused by *P. capsici* in bell pepper plants.

Tukey-Kramer ($p \leq 0.05$), en la que se empleó el paquete estadístico SAS® versión 9.0.

De acuerdo con la prueba de Koch, todas las plantas inoculadas con la solución de zoosporas de *P. capsici* presentaron pérdida de turgencia hasta una marchitez total, mientras que el testigo al que únicamente se le aplicó agua destilada, no presentó síntomas. Los resultados iniciales registraron 19.5% de incidencia de *P. capsici* sobre los híbridos, incrementándose a 38.8 y 48.9%, respectivamente para la segunda y tercera evaluación (Cuadro 2). En este sentido, se ha reportado que el ataque del oomiceto inicia con la segregación de proteínas al

B. subtilis (92.9%), which agrees with reports by Huallanca and Cadena (2014). In addition, a slight increase appeared in the severity after applying Metalaxil-M and Acibenzolar-S-Metil, with values of 0.8 and 7.0%, respectively (Cosme-Velázquez *et al.*, 2015).

The analysis of variance displayed highly significant effects on the hybrid x treatment interaction ($p < 0.0001$) (data not shown). In general terms, the six hybrids displayed a lower AUDPC when they were given Acibenzolar-S-Metil (resistance inducer) and Metalaxil-M (fungicide) with values of 6.8 and 0.8% respectively, in

Cuadro 2. Incidencia de marchitez en híbridos de pimiento morrón inoculados con *P. capsici*.

Table 2. Incidence of wilting in bell pepper hybrids inoculated with *P. capsici*.

Híbrido	Días después de inoculación		
	8	16	24
Caoba rojo	2.2 d ^z	4.2 bc	5.3 ab
Dicaprio amarillo	2.5 cd	4.2 bc	4.8 bc
Pimiento Olvera	1.6 ab	4.1 ab	5.2 ab
Sympathy	1.9 d	4.4 b	6.3 a
California wonder	2.5 cd	5.0 ab	5.8 ab
PS16364212	1.1 e	1.4 de	2.0 d

^zLetras iguales en columnas indican que no existe diferencias estadísticamente significativas de acuerdo con Tukey-Kramer ($p \leq 0.05$) / Equal letters in the columns indicate that there are no statistically significant differences according to Tukey-Kramer ($p \leq 0.05$).

interior del hospedante, lo que ocasiona alteraciones fisiológicas (Thines y Kamoun, 2010). Durante la evaluación se pudo observar que el híbrido PS16364212 presentó 14.9% de incidencia con respecto a California wonder con 44.2% quien al ser un material vegetal que cuenta con largo de tiempo de uso, ve mermada su resistencia al ataque del patógeno (Sánchez-Gurrola *et al.*, 2019).

Con respecto a la severidad de daños, plantas inoculadas con el tratamiento *B. subtilis* mostraron 33.5%, esto respecto a Metalaxil-M y Acibenzolar-S-Metil (0% en ambos casos). A los 16 ddi, este valor se incrementó a 80.4%, en contraste, Metalaxil-M registró 0.4%. En la última evaluación (24 ddi) se observó un incremento en la severidad para las plantas tratadas con *B. subtilis* (92.9%), lo cual concuerda con lo reportado con Huallanca y Cadenas (2014), además también se presentó un ligero incremento en la severidad con la aplicación de Metalaxil-M y Acibenzolar-S-Metil con valores de 0.8 y 7.0%, respectivamente (Cosme-Velázquez *et al.*, 2015).

El análisis de varianza mostró efectos altamente significativos en la interacción híbrido x tratamiento ($p < 0.0001$) (datos no mostrados). En términos generales los seis híbridos presentaron menor ABCPE cuando se aplicó Acibenzolar-S-Metil (inductor de resistencia) y Metalaxil-M (fungicida) con valores de 6.8 y 0.8% respectivamente, esto en relación con el TEST. Entre los tratamientos, el uso de Metalaxil-M mostró ABCPE (Cuadro 3), comportamiento que se asocia con la acción sistémica de este fungicida, es decir, interfiere la incorporación de la uridina durante el proceso de síntesis de ARN (Barchenger *et al.*, 2018). En estudios realizados con Metalaxil-M, se ha demostrado que este es eficiente al reducir el daño ocasionado por el oomiceto *P. capsici* (Fernández-Herrera *et al.*, 2007); sin embargo, es importante buscar otras alternativas de control, pues la eficacia de este fungicida se ha

relation to the TEST. Among the treatments, the use of Metalaxil-M displayed an AUDPC (Table 3), a behavior related to the systemic action of this fungicide, i.e., it interferes with the incorporation of uridine during the RNA synthesis process (Barchenger *et al.*, 2018). Studies performed with Metalaxil-M have shown its efficiency in reducing the damage caused by the oomycete *P. capsici* (Fernández-Herrera *et al.*, 2007); however, it is important to search for other alternatives of control, since the effectiveness of this fungicide has been affected by some cases of resistance to the oomycete (Qi *et al.*, 2012).

The use of Acibenzolar-S-methyl presented no statistical differences with Metalaxil-M and the TESTAB, since it displayed the lowest AUDPC among the treatments (Table 3). In this sense, Malolepsza (2006) reports that Acibenzolar-S-methyl acts in a similar way to salicylic acid, since it is composed of analogous molecules, where the former is highly related to the acquired systemic resistance, given its interaction with the activity of enzymes related to the manifestation of resistance in plants.

In regards to hybrids, the values of the AUDPC fluctuated between 15.7 and 100.8 (% day⁻¹), where the most outstanding was PS16364212 (Table 3). This behavior may be linked to the synthesis of secondary metabolites with different chemical natures, including proteins and amino-acids, which help the plant create a level of resistance against the attack of *P. capsici* (Barchenger *et al.*, 2018). In some circumstances, these defense mechanisms are activated by the compounds segregated by the pathogens in the plant when attacked (Sánchez-Chávez *et al.*, 2015).

The activator of defenses Potassium phosphonate and the fungicide Fosetyl-Al displayed a similar growth in AUDPC (Table 4). In this sense, Huallanca and Cadenas (2014) indicate that

Cuadro 3. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) de *P. capsici* en plantas de pimiento morrón sometidas con fungicidas, biocontroladores e inductores de resistencia.
Table 3. Area under the disease progress curve (AUDPC) for *P. capsici* in bell pepper plants treated with fungicides, bio-controllers and resistance inductors.

Tratamiento	ABCPE (% día ⁻¹)					
	Caoba rojo	Dicaprio amarillo	Pimiento Olvera	Sympathy	California wonder	PS16364212
Acibenzolar-S-Metil	22.5 fg ^z	18.8 fg	0.0 g	0.0 g	0.0 g	0.0 g
<i>B. subtilis</i>	195.0 a	182.5 a	170.0 ab	173.8 ab	195.0 a	45.0 dg
Agua destilada	157.5 ab	195.0 a	170.0 ab	157.5 ac	170.0 ab	32.5 eg
Metalaxil-M	5.0 g	0.0 g	0.0 g	0.0 g	0.0 g	0.0 g
<i>Trichoderma</i> spp.	118.8 ac	126.3 ad	128.8 ad	157.5 ac	167.5 ab	28.8 eg
Fosfonato potásico	22.5 fg	43.8 dg	42.5 dg	87.5 bg	105.0 af	3.8 g
Fosetil-Al	60.0 dg	50.0 dg	42.5 dg	87.5 bg	68.8 cg	0.0 g
Agua destilada ^y	0.0 g	0.0 g	0.0 g	0.0 g	0.0 g	0.0 g

^zSin inoculación. ^zLetras iguales en columnas indican que no existe diferencias estadísticamente significativas de acuerdo con Tukey-Kramer ($p \leq 0.05$) / ^yWithout inoculation. ^eEqual letters in the columns indicate that there are no statistically significant differences according to Tukey-Kramer ($p \leq 0.05$).

visto afectada por algunos casos de resistencia del oomiceto (Qi *et al.*, 2012).

La aplicación de Acibenzolar-S-metil no presentó diferencia estadística respecto a Metalaxil-M y al TESTAB, al mostrar los valores de ABCPE más bajos entre los tratamientos (Cuadro 3). En este sentido, Malolepsza (2006) reporta que el modo de acción del Acibenzolar-S-metil es similar al ácido salicílico al ser moléculas análogas, donde el primero se encuentra muy asociado con la resistencia sistémica adquirida, dada su interacción con la actividad de enzimas asociadas con la manifestación de resistencia en las plantas.

Con relación a los híbridos, los valores de ABCPE fluctuaron entre 15.7 y 100.8 (% día⁻¹), donde el más sobresaliente fue PS16364212 (Cuadro 3). Comportamiento que podría vincularse con la síntesis de metabolitos secundarios con diferente naturaleza química, entre éstas, proteínas y aminoácidos, las cuales le permiten a la planta generar un nivel de resistencia en contra del ataque de *P. capsici* (Barchenger *et al.*, 2018), en algunas circunstancias, estos mecanismos de defensa son activa-

Potassium phosphonate is a product with a limited efficiency in the control of *P. capsici*. The use of Fosetyl-Al has been reported to reduce the level of severity of the oomycete attack, although it does not surpass the use of Metalaxyl-M (Fernandez-Herrera *et al.*, 2007), which, in this study, displayed an AUDPC of 0.5%. On the other hand, the use of biocontrollers (*Trichoderma* spp. and *B. subtilis*) created the greatest AUDPC, similar to what was observed in the TEST, therefore its effectiveness was minimal to suppress the oomycete, which agrees with reports by Huallanca and Cadena (2014).

With an AUDPC of 4.3%, the use of Acibenzolar-S-Methyl displayed a good control of the disease, although it did not improve on observations for Metalaxyl. In this regard, Cosme-Velázquez *et al.* (2015) point out that Acibenzolar-S-Methyl, is a reducer of systemic resistance, and therefore reduces the AUDPC significantly, but does not eliminate the infection. On the other hand, Baysal (2005) reports that the reduction of the damage caused by *P. capsici* is linked to the induction

das por los compuestos que los patógenos segregan dentro de la planta al ser atacadas (Sánchez-Chávez *et al.*, 2015).

El activador de las defensas Fosfonato potásico y el fungicida Fosetil-Al mostraron un ABCPE de crecimiento similar (Cuadro 4). En este sentido, Huallanca y Cadenas (2014) indican que el Fosfonato potásico es un producto que muestra una efectividad limitada en el control de *P. capsici*. Se ha reportado que la aplicación de Fosetil-Al disminuye el nivel de severidad del ataque del oomiceto, sin embargo, no supera al uso de Metalaxil-M (Fernandez-Herrera *et al.*, 2007), que en este estudio presentó un ABCPE de 0.5%. Por otro lado, el uso de biocontroladores (*Trichoderma* spp. y *B. subtilis*), desarrollaron la mayor ABCPE similar a lo observado con el TEST, por lo que su efectividad fue mínima para suprimir al oomiceto, lo que coincide con lo reportado por Huallanca y Cadena (2014).

Con 4.3% de ABCPE, la aplicación Acibenzolar-S-Metil mostró buen control de la enfermedad, no obstante, no superó lo observado con Metalaxil. Al respecto, Cosme-Velázquez *et al.* (2015) señalan

of the product with the creation and synthesis of enzymes, phenolic compounds and PR proteins, reported as responsible for the effectiveness of defense mechanisms in plants against the attack of pathogens.

In this research and the specific conditions of evaluation, the bell pepper hybrid PS16364212 displayed the best results for resistance to the attack of *P. capsici*. The use of Metalaxyl-M and Acibenzolar-S-methyl displayed an efficient control, as opposed to Potassium phosphonate, Fosetyl-Al and the biocontrollers (*B. subtilis* and *Trichoderma* spp.).

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

que el Acibenzolar-S-Metil al ser un inductor de la resistencia sistémica, reduce de manera significativa el ABCPE, pero, no elimina la infección. Por su parte, Baysal (2005) reporta que la disminución

**Cuadro 4. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) de *P. capsici* en híbridos de pimiento morrón.**  
**Table 4. Area under the disease progress curve (AUDPC) for *P. capsici* in hybrid bell pepper plants.**

| Tratamiento                            | ABCPE (% día <sup>-1</sup> ) |
|----------------------------------------|------------------------------|
| Acibenzolar-S-Metil + inoculación      | 6.9 d <sup>z</sup>           |
| <i>Bacillus subtilis</i> + inoculación | 160.2 a                      |
| Testigo (agua destilada + inoculación) | 146.9 ab                     |
| Metalaxil-M + inoculación              | 0.8 d                        |
| <i>Trichoderma</i> spp. + inoculación  | 121.3 b                      |
| Fosfonato potásico + inoculación       | 52.2 c                       |
| Fosetil-Al + inoculación               | 51.5 c                       |
| Agua destilada (TESTAB)                | 0.0 d                        |

<sup>z</sup>Letras iguales en columnas indican que no existe diferencias estadísticamente significativas de acuerdo con Tukey-Kramer ( $p \leq 0.05$ ) / Equal letters in the columns indicate that there are no statistically significant differences according to Tukey-Kramer ( $p \leq 0.05$ ).

del daño provocado por *P. capsici* se vincula a la inducción del producto con la generación y síntesis de enzimas, compuestos fenólicos y proteínas PR, reportadas como responsables con la efectividad de los mecanismos de defensa en las plantas en contra del ataque de patógenos.

En esta investigación y las condiciones específicas de evaluación, el híbrido de pimiento morrón PS16364212 mostró los mejores resultados de resistencia al ataque de *P. capsici*. El uso de Metalaxil-M y Acibenzolar-S-metil mostraron un control eficiente, en contraste con el Fosfonato potásico, Fosetil-Al y los biocontroladores (*B. subtilis* y *Trichoderma* spp.).

## LITERATURA CITADA

- 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>
- Baysal O, Turgut C, and Mao G. 2005. Acibenzolar-S-methyl induced resistance to *Phytophthora capsici* in pepper leaves. *Biología Plantarum* 49 (4): 599-604. <https://doi.org/10.1007/s10535-005-0055-0>
- Castro RA, Fernández PSP y Osuna ÁP. 2012. Mecanismos de defensa del chile en el patosistema *Capsicum annuum-Phytophthora capsici*. *Revista Mexicana de Fitopatología* 30(1): 49-65. [http://rmf.smf.org.mx/Contenido\\_Vol\\_30\\_1\\_2012.html](http://rmf.smf.org.mx/Contenido_Vol_30_1_2012.html)
- Cosme-Velázquez Y, Guzmán-Plazola RA, Sandoval-Islas S, Corona-Torres T y Mendoza-Pérez D. 2015. Efecto del acibenzolar-S-metil en plantas de chile serrano (*Capsicum annuum*) infectadas con *Phytophthora capsici* en diferentes edades. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 33(2): 156-172. <http://rmf.smf.org.mx/Vol3322015/AC/AC3.pdf>
- Fernández-Herrera E, Acosta-Ramos M y Pinto, VM. 2007. Efecto de aplicaciones de fungicidas sobre la incidencia de la marchitez (*Phytophthora capsici* Leo.) del jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero. *Revista Mexicana de Fitopatología* 25(2): 186-189. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmfi/v25n2/v25n2a14.pdf>
- Huallanca VCA y Cadenas GCA. 2014. Control de *Phytophthora capsici* Leonian en *Capsicum annuum* cv. Papriking con fungicidas, fertilizantes y biocontroladores. *Anales Científicos* 75 (1): 130-137. <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v75i1.94>
- Jiménez-Camargo A, Valadez-Moctezuma E y Lozoya-Saldaña H. 2018. Antagonismo de *Penicillium* sp. contra *Phytophthora capsici* Leonian. *Revista Fitotecnia Mexicana* 41(2). <https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/41-2/5a.pdf>
- Malolepsza U. 2006. Induction of disease resistance by acibenzolar-S-methyl and O-hydroxyethylrutin against *Botrytis cinerea* in tomato plants. *Crop Protection* 25: 956-962. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2005.12.009>
- Qi R, Wang T, Zhao W, Li P, Ding J, and Gao Z. 2012. Activity of ten fungicides against *Phytophthora capsici* isolates resistant to metalaxyl. *Journal of Phytopathology* 160(11-12): 717-722. <https://doi.org/10.1111/jph.12009>
- Sánchez-Chávez E, Torres-González A, Flores-Córdova MA, Preciado-Rangel P y Márquez-Quiroz C. 2015. Uso de portainjerto sobre el rendimiento, calidad del fruto y resistencia a *Phytophthora capsici* Leonian en pimiento morrón. *Nova Scientia* 7(15) 227-244. <https://doi.org/10.21640/ns.v7i15.302>
- Sánchez-Gurrola C, Gómez-Dorantes N, Rodríguez-Alvarado G, Fernández-Pavía SP y Ávila-Quezada G. 2019. Variabilidad morfológica y sensibilidad de *Phytophthora capsici* causando marchitez en chile pimiento morrón en Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 37(No. Esp. 1): 65-71. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1904-4>
- SIAP. 2018. Atlas Agroalimentario 2012-2018. Servicio de Información Agroalimentaria y pecuaria (SIAP). Ciudad de México. 215 p. [https://nube.siap.gob.mx/gobmx\\_publicaciones\\_siap/pag/2018/Atlas-Agroalimentario-2018](https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2018/Atlas-Agroalimentario-2018)
- Shaner G and Finney RE. 1977. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat. *Phytopathology* 67: 1051-1056. <https://doi.org/10.1094/Phyto-67-1051>
- Singleton LL, Mihail JD and Rush CM. 1992. Methods for research on soilborne phytopathogenic fungi. ALS press. Minesota, USA. 265 p.
- Thines M and Kamoun S. 2010. Oomycete-plant coevolution: recent advances and future prospects. *Current Opinion in Plant Biology* 13: 427-433. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2010.04.001>