

Sensibilidad *in vitro* de hongos fitopatógenos causantes de enfermedades en fresa a controladores biológicos y fungicidas, en el estado de Guanajuato, México

In vitro sensitivity of phytopathological fungi causing diseases in strawberry agents to biological control and fungicides, in the state of Guanajuato, Mexico

Luis Roberto Pérez-Rodríguez, *Luis Pérez-Moreno, Rafael Guzmán-Mendoza, Diana Sanzón-Gómez,
José Roberto Belmonte-Vargas.

Cuerpo Académico de Protección Vegetal (UGTO-CA-81), Departamento de Agronomía, División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato. km 9 Carretera Irapuato-Silao, Irapuato, Gto., C. P. 36821. México.

*Autor de correspondencia: luispm@ugto.mx

Resumen

Se evaluó la respuesta *in vitro* de un aislado de los hongos *Alternaria* sp., *Fusarium* sp., *Rhizoctonia solani*, a 16 agentes biológicos (AB), ocho fungicidas y un testigo. Se usó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial. El factor A correspondió a los aislados del hongo y el factor B a los productos de control. La comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey ($p < 0.05$). Se hizo la evaluación del crecimiento promedio radial micelial en centímetros (Cprm) cada 24 h durante 11 días. En cualquier caso, no se encontró efecto, solo o en interacción con los agentes de control. Dicloran, Tebuconazol y Cyprodinil-Fludioxonil inhibieron el crecimiento micelial de todos los aislados de los hongos con un promedio final de 1.0 Cprm, y en mayor proporción que los agentes biológicos. Los AB que propiciaron el menor crecimiento micelial de los aislados fueron: *Trichoderma* sp., *Trichoderma harzianum*, *Microorganismos* y *Trichoderma viridae*.

Palabras clave: Fresa; enfermedades fúngicas; biofungicidas; control químico.

Abstract

The *in vitro* response of one isolate of the fungi *Alternaria* sp., *Fusarium* sp., *Rhizoctonia solani*, to 16 biological control agents (BA), eight fungicides, and one control were evaluated. A completely randomized experimental design was used, with a factorial arrangement correction for each pathogen. Factor A corresponded to fungi isolates and Factor B to control agents. The comparison of means was carried out using a Tukey test ($p < 0.05$), the mycelial radial growth rate (Mrgr) was evaluated every 24 hours for 11 days. No effect was found in any case, alone or in interactions with control agents. Dicloran, Tebuconazole and Cyprodinil-Fludioxonil inhibited the mycelial growth of all fungi with a final average of 1.0 Mrgr, and in greater proportion than the BA. The BA that propitiated the least mycelial growth towards isolates were *Trichoderma* sp., *Trichoderma harzianum*, *Microorganismos* y *Trichoderma viridae*.

Keywords: Strawberry; fungal diseases; biofungicides; chemical control.

Recibido: 3 de marzo de 2017

Aceptado: 24 de octubre de 2018

Publicado: 23 de octubre de 2019

Como citar: Pérez-Rodríguez, L. R., Pérez-Moreno, L., Guzmán-Mendoza, R., Sanzón-Gómez, D., & Belmonte-Vargas, J. R. (2019). Sensibilidad *in vitro* de hongos fitopatógenos causantes de enfermedades en fresa a controladores biológicos y fungicidas, en el estado de Guanajuato, México. *Acta Universitaria* 29, e2339. doi: <http://doi.org/10.15174/au.2019.2339>

Introducción

El cultivo de la fresa (*Fragaria × ananassa*) se ha convertido en una actividad productiva importante, tanto en lo económico como en lo social en muchas partes del mundo. El crecimiento de la actividad es notable por el aumento en los niveles de producción y comercialización de la fresa para consumo en fresco, así como en productos procesados diversos (Barrantes & López, 2013).

En el ámbito internacional, los principales países productores son encabezados por China, con una producción de 3 005 304 t al año, seguido de Estados Unidos con 1 360 869 t y en tercer lugar México, con 379 464 t (*United Nations Food and Agriculture Organization* [FAOSTAT], 2017). Lo cual coloca a la fresa como la frutilla de mayor producción y exportación con una superficie cultivada que supera las 10000 ha. En orden de producción las principales entidades son Michoacán, Baja California y en tercer lugar Guanajuato (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2016).

En México, Ceja-Torres *et al.* (2008) han reportado que factores fitosanitarios limitantes para el cultivo de fresa son los hongos y pseudohongos que causan enfermedades de la raíz, destacando la secadera, que consiste en un marchitamiento y muerte gradual de la planta. La enfermedad se ha asociado con nueve organismos, de los cuales sobresalen cuatro especies de *Fusarium*, *Verticillium dahliae*, *Rhizoctonia solani* y *Phytophthora* spp. y otros hongos que afectan el sistema radical o zona cortical del cuello como *Rhizopus* spp., *Pythium* spp., *Cladosporium* spp., *Alternaria* spp. y *Penicillium* spp. (Ávila, 2014).

Existen un gran número de factores que propician enfermedades en las plantas, por sí solos o bien en combinación con uno o varios más que hacen que sea posible la aparición y desarrollo de la enfermedad. En los cultivos hortícolas, las enfermedades constituyen uno de los factores de mayor riesgo para su producción, por lo que resulta importante protegerlos del ataque de diversos patógenos (Agrios, 2005). En los últimos años, las enfermedades causadas por hongos han ocasionado fuertes pérdidas económicas en la producción de diferentes cultivos hortícolas en México (Montes-Belmont, Nava-Juárez, Flores-Moctezuma & Mundo-Ocampo, 2003; Rodríguez, García & Fernández, 2011; Pérez-Moreno *et al.*, 2013; Pérez-Moreno, Belmonte-Vargas, Núñez-Palenius, Guzmán-Mendoza & Mendoza-Celedón, 2015; Pérez-Rodríguez, Pérez-Moreno, Guzmán-Mendoza, Sanzón-Gómez & Belmonte-Vargas, 2017). Estas pérdidas son variables año con año y han estado en función de las condiciones climáticas, manejo del cultivo y control químico y biológico utilizado, llegando en algunos casos a alcanzar pérdidas del 100%, como es el caso del estado de Guanajuato donde la pudrición blanca del ajo puede ocasionar pérdidas del 100% (Montes-Belmont *et al.*, 2003; Michel-Aceves *et al.*, 2009; Pérez-Moreno *et al.*, 2013); mientras que la fresa puede perder más del 50% de su producción en presencia de la secadera bajo condiciones ambientales y culturales favorables para su incidencia (Ceja-Torres, Vázquez & Muñoz, 2001). Las enfermedades causadas por hongos fitopatógenos se han incrementado en casi todas las zonas productoras del país, convirtiéndose en uno de los problemas más importantes de los diversos cultivos, entre ellos la fresa (Mariscal-Amaro, Rivera-Yerena, Dávalos-González & Ávila-Martínez, 2017), siendo la región del Bajío una de las zonas con fuerte incidencia de enfermedades de origen fúngico (Montes-Belmont *et al.*, 2003; Rodríguez *et al.*, 2011; Pérez-Moreno *et al.*, 2013; Pérez-Rodríguez *et al.*, 2017), muchas de esas especies aún sin conocer (Mariscal-Amaro *et al.*, 2017).

De acuerdo con Pérez-Moreno *et al.* (2015), los agricultores utilizan a los fungicidas como medida de control. Pero por su uso excesivo, se ha promovido la resistencia en los patógenos a dichos agroquímicos, aunado a que generan residuos tóxicos en alimentos y en el medio ambiente, que pone en riesgo la salud humana. Por tal razón, es necesaria la búsqueda de nuevos fungicidas, que en algunos casos se encuentran en otros organismos, a los que se les conoce como biofungicidas (Angulo-Escalante *et al.*,

2009; Ávila, 2014; Pérez-Rodríguez *et al.*, 2017). En este sentido, han sido evaluados métodos de control alternativos a los fungicidas con resultados alentadores sobre el control de enfermedades fúngicas que atacan a la fresa (Ceja-Torres *et al.*, 2001). Por ello, el control biológico (CB) de fitopatógenos puede llegar a ser un alternativa eficaz, económica y libre de riesgo frente a los numerosos y crecientes problemas derivados del uso indiscriminado de agroquímicos (Pérez-Moreno *et al.*, 2015).

Entre los agentes antagonistas utilizados en control biológico son los hongos saprófitos de la clase *Hyphomycetes* y varias especies del género *Trichoderma* spp., (Pérez-Moreno *et al.*, 2015). Michel-Aceves *et al.* (2009) encontraron resultados satisfactorios de control biológico utilizando especies de *Trichoderma* spp., siendo altamente antagonísticos para muchas especies de hongos fitopatógenos como *Rhizoctonia* spp., *Fusarium* spp., *Pythium* spp., entre muchos otros que participan en la enfermedad de la secadera y otras enfermedades fungosas.

Existen fungicidas recomendados como los benzimidazoles y dicarboximidias; sin embargo, su efectividad es baja, por problemas de resistencia y la dificultad en las aplicaciones (Mondino, Alaniz & Leoni, 2003). Dada la importancia que la fresa ha tomado y que no existen estudios en México tendientes a conocer sensibilidad *in vitro* a agentes de control biológico y fungicidas en hongos fitopatógenos del suelo, se considera apropiado generar dicha información. Con base en la problemática antes descrita, se planteó como objetivo determinar la sensibilidad *in vitro* a agentes de control biológico y fungicidas sobre aislados de *Alternaria* spp., *Fusarium* spp. y *Rhizoctonia solani* del cultivo de fresa.

Materiales y Métodos

Localización de los experimentos

La investigación se realizó en campos de producción comercial de fresa del municipio de Irapuato, Guanajuato, México; y en el Laboratorio de Fitopatología de la División de Ciencias de la Vida del Campus Irapuato-Salamanca de la Universidad de Guanajuato.

Obtención de aislados

Se obtuvo un aislado de cada uno de los hongos *Alternaria* spp., *Fusarium* spp., *Rhizoctonia solani*, de plantas sintomáticas de fresa (*Fragaria x ananassa*), de campos comerciales del Rancho La Quina, de Irapuato, Guanajuato, México.

De cada aislado se tomó parte de tejido que presentó síntomas de la enfermedad, se desinfectó con hipoclorito de sodio al 1 %, y se cultivó en Papa Dextrosa Agar (PDA) durante ocho días a 20±2 °C.

Agentes de control biológico y fungicidas

Los agentes de control biológico y fungicidas que se evaluaron (tabla 3), se aplicaron con base en las recomendaciones comerciales.

De acuerdo con el Comité de Acción de Resistencia a Fungicidas (*Fungicide Resistance Action Committee* [FRAC]), los fungicidas evaluados pertenecen a los siguientes Códigos (*Code*) y Nombres de Grupo (*Group Name*): a) Dicloran, 14, AH-fungicidas (*Aromatic Hydrocarbons*) (*chlorophenyls nitroanilines*); b) Benomyl, 1, MBC-fungicidas (*Methyl Benzimidazole Carbamates*); c) Boscalid, 7, *carboxamides*; d) Iprodione, 2, *dicarboximides*; e) Chlorothalonil-Cymoxanil, M y 27, M5 y *cianoacetamide-oximes*; f) Cyprodinil-Fludioxonil, 9 y 12, AP-fungicidas (*Anilino-Pyrimidines*) y PP-

fungicidas (*PhenylPyroles*); g) Tebuconazole, 3, DMI-fungicidas (*DeMethylation Inhibitors*); h) Chlorothalonil, M, M5.

Sensibilidad *in vitro* y evaluación de productos biológicos y fungicidas

Se pesaron y midieron las dosis recomendadas comercialmente de los productos biológicos y fungicidas a evaluar para ser agregados al agar y posteriormente se vació en cajas Petri. Al solidificar el agar, se colocaron en el centro de la caja discos de un centímetro de diámetro de la periferia de las colonias obtenidas de cada aislado y se incubaron a 20 °C ± 2 °C.

Evaluación del crecimiento del micelio

Se midió el diámetro de la colonia en dos direcciones, en la mayor y menor longitud y el crecimiento micelial se obtuvo como el promedio de los valores en las dos direcciones a las 24 h, 48 h, 72 h, 96 h, 120 h, 144 h, 168 h, 192 h, 216 h, 240 h y 264 h, posteriores a la colocación del disco con el hongo en el centro de cada caja Petri en cada una de las tres repeticiones de cada tratamiento.

Análisis estadístico

El diseño experimental utilizado fue un completamente al azar, en un arreglo factorial, con tres repeticiones. El factor A correspondió a los aislados del hongo, el cual tuvo tres niveles. Al factor B se le asignaron los agentes de control biológico y los fungicidas, el cual tuvo 25 niveles; lo anterior dio un total de 75 tratamientos. La comparación múltiple de medias se realizó con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) (*Statgraphics Centurion XVII*, 2014).

Resultados

Hongos fitopatógenos del cultivo de fresa

En el cultivo de fresa se obtuvieron tres aislados de los hongos *Alternaria* spp., *Fusarium* spp., *Rhizoctonia solani*, provenientes del Rancho La Quina, Irapuato Guanajuato, por lo que el factor A tuvo tres niveles.

Alternaria spp., *Fusarium* spp., *Rhizoctonia solani*

Se observaron diferencias significativas para el factor A: aislados de los hongos *Alternaria* spp., *Fusarium* spp., *Rhizoctonia solani*, para el factor B: productos biológicos y fungicidas; y para la interacción de aislados por fungicidas y productos biológicos, en las variables de crecimiento micelial a las 24 h, 48 h, 72 h, 96 h, 120 h, 144 h, 168 h, 216 h, 240 h y 264 h. Lo anterior significa que al menos uno de los aislados de *Alternaria* spp., *Fusarium* spp. y *Rhizoctonia solani*, tuvo un crecimiento micelial diferente y que los tratamientos de productos biológicos y fungicidas propiciaron al menos un crecimiento micelial diferente (tabla 1).

El aislado que creció más rápido fue *Rhizoctonia solani*, seguido de *Alternaria* spp., en comparación de *Fusarium* spp., que fue el que desarrolló el crecimiento micelial más lento (tabla 2).

Los tres aislados fueron sensibles a tres de los 25 tratamientos evaluados (tabla 3). Los tres aislados fueron sensibles a tres de los ocho fungicidas: Dicloran, Ciprodinilo-Fludioxonilo, Tebuconazole (tabla 3).

Los agentes de control biológico que tuvieron los mayores efectos fungistáticos hacia los aislados de *Alternaria* spp., *Fusarium* spp., *Rhizoctonia solani*, a los 11 días posteriores a la confrontación, fueron:

Trichoderma sp. (*Trichoderma*), *Trichoderma harzianum* (*Biotricho-H*), *Trichoderma harzianum* (*Natucontrol*), *Microorganismo* (*BPG-Plus*) y *Trichoderma viride* (*Esporalis*), en comparación con *Gliocadium virens* (*Soil gard*), *Trichoderma harzianum* (*Triko root*), *Actinomadura viridis*, *B. subtilis*, *Streptomyces* sp. (*Baktillis*), y *Bacillus subtilis* (*Probac bs*), los cuales causaron un menor o un nulo efecto fungistático hacia los aislados (tabla 3).

Tabla 1. Significancia de los factores y la interacción de las variables analizadas para el cultivo de fresa.

No.	Crecimiento radial micelial (CRM) en cm	F0			C.V. (en %)
		A:aislados	B:productos	interacción	
1	CRM a las 24 h	**	**	**	2
2	CRM a las 48 h	**	**	**	9
3	CRM a las 72 h	**	**	**	12
4	CRM a las 96 h	**	**	**	10
5	CRM a las 120 h	**	**	**	9
6	CRM a las 144 h	**	**	**	8
7	CRM a las 168 h	**	**	**	8
8	CRM a las 192 h	**	**	**	9
9	CRM a las 216 h	**	**	**	7
10	CRM a las 240 h	**	**	**	7
11	CRM a las 264 h	**	**	**	7

** Altamente significativo.

F0= Estadístico de prueba; C.V.= Coeficiente de variación.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Crecimiento promedio radial del micelio (CPRM) de tres aislados de los hongos fitopatógenos *Alternaria* spp. *Fusarium* spp. y *Rhizoctonia solani*, del cultivo de fresa en medio PDA con productos biológicos, fungicidas y un testigo.

Hongo	CPRM (cm)										
	24 h	48 h	72 h	96 h	120h	144h	168h	192 h	216 h	240 h	264 h
<i>Rhizoctonia solani</i>	1.10b	1.55c	1.99b	2.59b	3.20b	3.62b	4.01b	4.34b	4.49b	4.58 c	4.59 c
<i>Fusarium</i> spp.	1.0a	1.27a	1.63a	1.84a	2.07a	2.29a	2.49a	2.68a	2.89a	3.06a	3.43a
<i>Alternaria</i> spp.	1.0a	1.33b	1.60a	1.82a	2.08a	2.31a	2.53a	2.75a	2.95a	3.23 b	3.68 b

Cada valor representa el crecimiento promedio del micelio del aislado en 25 tratamientos.

Valores en cada columna con letras diferentes, son estadísticamente diferentes.

Comparación Múltiple de Medias DSH Tukey $P < 0.05$.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Crecimiento promedio radial micelial (CPRM) de tres aislados de los hongos fitopatógenos *Alternaria* spp. *Fusarium* spp. y *Rhizoctonia solani*, del cultivo de fresa con 25 tratamientos de productos biológicos, fungicidas y un testigo.

No.	Nombre común	Nombre comercial	CPRM (cm)										
			24 h	48 h	72 h	96 h	120 h	144 h	168 h	192 h	216 h	240 h	264 h
1	Dicloran	Botran	1.00 a	1.00 a	1.00 a	1.00 a	1.00 a	1.00 a	1.00 a	1.00 a	1.00 a	1.00 a	1.00 a
2	Benomilo	Blindaje 50	1.00 a	1.13abc	1.19ab	1.21abc	1.27abc	1.32a-e	1.38 a-d	1.49 abc	1.58 c-e	1.68 d-f	1.87 e
3	Boscalid	Cabrio	1.00 a	1.00 a	1.00 a	1.00 a	1.02 a	1.03ab	1.04 ab	1.06 ab	1.07 ab	1.07 ab	1.07 ab
4	Iprodione	Rovral	1.00 a	1.02 a	1.06 a	1.18abc	1.33abc	1.42a-e	1.51cd	1.66 c	1.76 e	1.94 f	2.37 f
5	Clorotalonil-Cymoxanil	Strike	1.00 a	1.00 a	1.10ab	1.16abc	1.18ab	1.23a-e	1.25a-d	1.25 abc	1.25 a-d	1.27 a-d	1.35bcd
6	Ciprodinilo-Fludioxonilo	Swish	1.00 a	1.00 a	1.00 a	1.00 a	1.00 a	1.00 a	1.00 a	1.00 a	1.00 a	1.00 a	1.00 a
7	Tebuconazole	Tebucur	1.00 a	1.00 a	1.00 a	1.00 a	1.00 a	1.00 a	1.00 a	1.00 a	1.00 a	1.00 a	1.00 a
8	Clorotalonil	Trevanil	1.00 a	1.00 a	1.11ab	1.14ab	1.16ab	1.18a-d	1.20abc	1.21 abc	1.22 a-d	1.24abc	1.28abc
9	<i>T. harzianum</i>	Natucontrol	1.00 a	1.18a-e	1.28ab	1.33a-c	1.35abc	1.45cde	1.47bcd	1.47 abc	1.48 be	1.48bcd	1.51 b-e
10	<i>Bacillus</i> sp., <i>Glomus</i> sp.	Soil cure	1.00 a	1.29b-e	1.76 cd	2.29 d	2.87 d	3.45 e	4.07 e	4.57 d	5.03 f	5.78 hi	6.56 h
11	<i>T. harzianum</i>	Biotricho-H	1.00 a	1.10 ab	1.13ab	1.16a-c	1.17ab	1.17abc	1.19abc	1.19 abc	1.20abc	1.22abc	1.22abc
12	<i>Trichoderma</i> sp.	Trichoderma	1.00 a	1.00a	1.00a	1.06ab	1.06ab	1.06abc	1.06ab	1.11 ab	1.13abc	1.19abc	1.19 bc
13	<i>B. subtilis</i>	Natu bac-s	1.00 a	1.36def	2.00 df	2.65 d-f	3.40 ef	4.05 gh	4.70 gh	5.33 fg	5.86 h	6.20 i	6.70 h
14	Microorganismos	BPG-Plus	1.00 a	1.33cde	1.45 bc	1.52 c	1.59 c	1.63 e	1.66 d	1.67 c	1.67 de	1.72 ef	1.67 cde
15	<i>T. viride</i>	Esporalis	1.00 a	1.15a-d	1.36ab	1.38bc	1.42 bc	1.47 de	1.47 b-d	1.53 bc	1.57cde	1.62 c-f	1.76 de
16	<i>B. subtilis</i>	Bacillus subtilis	1.00 a	1.61 g	2.13e-g	2.64 d-f	3.37 ef	3.99 gh	4.57 ef	5.42 fg	5.70 h	5.91 i	6.37 i
17	<i>Streptomyces lydicus</i>	Actinovate	1.17 c	2.08 i	2.96 h	3.62 g	4.30 g	4.66 ij	4.79 gh	4.77 de	5.10 f	5.23 g	5.60 g
18	<i>B. subtilis</i>	Serenade Max	1.18 c	2.06 i	2.87 h	3.56 g	4.35 gh	4.75 j	4.92 gh	5.09 ef	5.23 fg	5.45 gh	5.80 g
19	<i>Actinomyces viridis</i> , <i>B. subtilis</i> , <i>Streptomyces</i> sp.	Baktillis	1.00 a	1.65 gh	2.21 fg	2.75 ef	3.58 f	4.11 h	4.72 gh	5.36 fg	5.79 h	6.18 i	6.70 i
20	<i>B. subtilis</i> , <i>B. cereus</i> , <i>B. megaterium</i>	Rhizobac combi	1.00 a	1.38 ef	1.96 df	2.89 f	4.69 h	4.31 hi	5.11 h	5.82 gh	6.48 i	6.87 j	7.51 j
21	<i>T. harzianum</i>	Triko root	1.08 b	1.83 h	2.91 h	3.66 g	4.69 h	5.36 k	5.83 i	6.30 h	6.70 i	7.13 j	7.80 j
22	<i>B. subtilis</i>	Probac bs	1.07 b	1.76 gh	2.43 g	3.00 f	3.18 f	4.31 hi	5.01 h	5.45 fg	5.66 gh	5.96 i	6.46 h
23	Testigo	Testigo	1.02 a	1.28b-e	1.77c-e	2.39 de	2.87 d	3.53 f	4.23 ef	4.65 ef	4.92 f	5.13 f	5.51 g
24	<i>Gliocladium virens</i>	Soil gard	1.33 d	2.81 j	3.92 i	5.02 h	5.87 i	6.30 l	6.88 j	7.37 i	7.76 j	8.03 l	8.50 j
25	<i>B. subtilis</i>	Probacil	1.56gh	1.50cde	1.99 df	2.46 de	3.17 de	3.70 f	4.23 ef	4.68 de	5.03 f	5.28 g	5.78 g

Cada valor representa el valor promedio de tres aislados.
Valores en cada columna con letras diferentes, son estadísticamente diferentes.
Comparación Múltiple de Medias DSH Tukey $P < 0.05$
Fuente: Elaboración propia.

Discusión

En el presente estudio se encontró que el aislado evaluado de cada uno de los hongos fitopatógenos mostró comportamiento diferente, a la gran parte de productos, tanto biológicos como fungicidas, que ejercieron un tipo de control hacia el micelio de los hongos fitopatógenos. La gran variabilidad mostrada por cada uno de los hongos evaluados ya se había reportado por diferentes investigadores en trabajos previos (Castañeda-Cabrera, 1999; Delgado & Méndez, 2002; Ramos García *et al.*, 2012; Pérez-Moreno *et al.*, 2013; Van den Bosh, Oliver, Van den Berg & Paveley, 2014; Costet-Costet, 2015; Pérez-Moreno *et al.*, 2015; Espinoza-Altamirano, Silva-Rojas, Leyva-Mir, Marbán-Mendoza & Rebollar-Alviter, 2017; Pérez-Rodríguez *et al.*, 2017); los resultados obtenidos en el presente estudio demuestran que *Trichoderma harzianum* y *Trichoderma viride*, son una alternativa en el control biológico de enfermedades radicales fungosas en fresa.

Para el aislado de *Fusarium* spp. de fresa se encontró que los productos fungicidas con efectividad del 100% fueron a) Dicloran (Botran), el cual pertenece al código 14 de la FRAC y esta agrupado dentro de los fungicidas AH, hidrocarburos aromáticos, b) Ciprodinilo-Fludioxonilo (Swish), de los códigos 9 y 12, perteneciente a los fungicidas anilino-pirimidinas (AP) y fenil pirroles (PP); finalmente, c) Tebuconazole (Tebucur), del código 3, perteneciente al grupo de los fungicidas inhibidores de la metilación (DMI) (tabla 3). Resultados similares fueron reportados por Delgadillo-Sánchez & Aguilar-Laguna (2006) y Pérez-Moreno *et al.* (2013), Pérez-Rodríguez *et al.* (2017), los cuales demostraron que Tebuconazole tiene un efecto fungicida o inhibitorio hacia *Fusarium* spp., pertenece al código 3, del grupo de los fungicidas inhibidores de la metilación (DMI), el cual está reportado por la FRAC como de mediano riesgo de generar resistencia por varias especies de hongos. Espinoza-Altamirano *et al.* (2017) indicaron con base en las distribuciones de las DE50, que los aislados de *Colletotrichum acutatum* fueron sensibles al azoxystrobin y moderadamente resistentes al metil tiofanato.

Los diferentes microorganismos antagonistas mostraron un comportamiento diferente hacia *Fusarium* spp., los productos a base de *Trichoderma* spp., indujeron un mayor efecto fungistático hacia el aislado, resultados similares a los obtenidos en este estudio, han sido reportados por González-Cárdenas, Servín-Piñón, Mateos-Crespo, Elorza-Martínez & Maruri-García (2004), Michel-Aceves *et al.* (2009), Ramos-Barraza *et al.* (2005), Ortega-García, Bravo-Luna, Arzuffi-Barrera & Guigón-López (2011), Pérez-Moreno *et al.* (2015), Pérez-Rodríguez *et al.* (2017) y que se contraponen con lo reportado por Elías-Ogaz, Murillo-Donato, Avitia-Talamantes & Guigón-López (2005), quienes observaron que cepas de *Trichoderma* spp., no ejercieron un efectos fungistáticos hacia aislados de *Fusarium* spp. En este sentido *Trichoderma* spp., puede ser un mejor controlador que otros utilizados como los isotiocianatos, que promueven respuestas diferentes sobre el control de *F. oxysporum* (Ramos García *et al.*, 2012) o bien la combinación de microorganismos antagonistas como *Pseudomonas fluorescens* + *Bacillus* spp., que no muestran efectos óptimos para el control de éste patógeno.

La efectividad de *Trichoderma* spp. sobre el control de *Fusarium* spp. puede incrementarse con la ayuda de otros agentes de control biológico. Delgado & Méndez (2002) reportan que la bacteria *Paenibacillus macerans* tuvo un efecto inhibitorio sobre un aislado de *Fusarium oxysporum* f. sp. *asparagui*; de forma similar, Rodríguez-Romero, Bautista-Baños & Villanueva-Arce (2013), encontró que la bacteria *Pseudomonas fluorescens* tuvo un efecto inhibitorio superior al 60% de efectividad, lo cual demuestra una nueva alternativa para el control del patógeno.

Para *Alternaria* spp. y *Rhizoctonia solani*, se obtuvieron efectos inhibitorios con los productos Dicloran (Botran), Ciprodinilo-Fludioxonilo (Swish), Tebuconazole (Tebucur), resultados similares a los obtenidos por Narro-Sánchez, Quijano-Carranza & Ramírez-Vega (2006), con los fungicidas Boscalid

(Cabrio), el cual pertenece al código 7 de la FRAC y está agrupado dentro de los fungicidas carboxamidas, y Ciprodinilo+Fludioxonilo (Swish) y efectos fungistáticos con los fungicidas Benomilo (Blindaje 50), del código 1, perteneciente al grupo de los fungicidas benzimidazoles metil carbamatos (MBC), el cual está reportado por la FRAC como de alto riesgo de generar resistencia por varias especies de hongos, Clorotalonil (Trevanil), del código M, perteneciente al grupo de los fungicidas M5, Clorotalonil+Cymoxanil (Strike), de los códigos M y 27, perteneciente a los fungicidas M5 y cianoacetamidas e Iprodione (Rovral), del código 2, perteneciente al grupo de los fungicidas dicarboximidas, caso contrario con los resultados de Narro-Sánchez *et al.* (2006), donde pudo obtener una inhibición con el fungicida Iprodione (Rovral) hacia el patógeno *Alternaria spp.*

Para los controladores biológicos también se encontró una gran variabilidad hacia los aislados de *Alternaria spp.* y *Rhizoctonia solani*, pero *Trichoderma spp.*, fue el controlador biológico que causó mayor efecto fungistático hacia los aislados de los patógenos. Esto ya ha sido reportado previamente por Michel-Aceves *et al.* (2009), Pérez-Moreno *et al.* (2015) y Pérez-Rodríguez *et al.* (2017). En otros estudios *in vitro*, Dhingra, Costa & Silva (2004) reportan una inhibición importante sobre el crecimiento micelial de *Rhizoctonia solani* cuando se adicionó al medio de cultivo el isotiocianato (ITC) de alilo a una concentración de 50 µl L-1. Troncoso, Sánchez-Estrada, Ruelas, García & Tiznado-Hernández (2005), reportan una completa inhibición del crecimiento micelial de *Alternaria alternata*, cuando se adicionó al medio de cultivo varios isotiocianatos (ITCs), tales como alilo, bencilo, fenilo y feniletilo. Finalmente, Mass (1998) indicó que se tiene un mejor control de la secadera de la fresa causada por *Rhizoctonia solani*, cuando se introduce el hongo antagonista *Trichoderma harzianum* posterior a la fumigación de los suelos, comparado con solo el efecto de la fumigación, sin la incorporación del agente de control biológico.

En predios infestados por patógenos, en donde se han realizado aplicaciones de controladores biológicos y fungicidas para su control, se ha observado que después de aplicar los tratamientos, en algunas áreas de los campos comerciales, las plantas permanecen sanas, mientras que en otros se observan plantas enfermas; lo anterior sugiere entre otras causas: a) la presencia de aislados sensibles e insensibles a los fungicidas y productos biológicos comúnmente usados; b) variación en las poblaciones naturales de microorganismos antagónicos al patógeno presentes en los diferentes lotes infestados; c) la selección inadecuada del fungicida y producto biológico usado, así como la dosis y la calidad de la aplicación; lo cual pudiera explicar las variaciones encontradas después de realizar las prácticas de control de las enfermedades (Castañeda-Cabrera, 1999; Costet-Costet, 2015; Pérez-Moreno *et al.*, 2015; Espinoza-Altamirano *et al.*, 2017; Pérez-Rodríguez *et al.*, 2017; Ramos García *et al.*, 2012; Van den Bosh *et al.*, 2014).

La gran variabilidad observada en el comportamiento de los patógenos, a los diferentes productos biológicos y fungicidas utilizados para su control, es un ejemplo de lo que se observa en las explotaciones comerciales de fresa, por lo que el uso frecuente de los diferentes ingredientes activos podría resultar en falta de eficacia en campo. Por ello los resultados de estudio sugieren que el diagnóstico etiológico, el uso racional de los fungicidas y controladores biológicos, la rotación de cultivos y en general un manejo integrado de las enfermedades radiculares de la fresa serán fundamentales para continuar las explotaciones comerciales de fresa en el Bajío guanajuatense y en general en el territorio mexicano.

Conclusiones

Existe variabilidad en la sensibilidad a fungicidas y productos biológicos dentro de los hongos fitopatógenos en las regiones productoras de fresa de donde fueron colectadas las muestras.

El Dicloran, Tebuconazole y Ciprodinilo-Fludioxonilo mostraron ser los fungicidas más tóxicos para los aislados de los hongos fitopatógenos.

Trichoderma sp. (*Trichoderma*), *Trichoderma harzianum* (Biotricho H), *Trichoderma harzianum* (Natucontrol), Microorganisms (BPG-Plus) y *Trichoderma viridae* (Esporalis) fueron los productos biológicos que ejercieron un mayor efecto fungistático hacia los aislados.

Trichoderma harzianum y *Trichoderma viride* son una alternativa en el control biológico de enfermedades radiculares fungosas en fresa.

Se tiene un riesgo potencial de resistencia con el uso de los fungicidas que actualmente se usan en México para el control de enfermedades radiculares fungosas en fresa.

El manejo integrado de las enfermedades será fundamental para continuar con las explotaciones comerciales de fresa en el Bajío Guanajuatense y en el resto del territorio mexicano.

Agradecimientos

Los autores reconocen a la División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato (DICIVA-CIS-UG), por el apoyo para la realización del proyecto de investigación del cual se generó esta propuesta de artículo científico. También, se agradece al Sr. Carlos Arredondo propietario del Rancho "La Quina", en Irapuato, Guanajuato., por las facilidades prestadas para obtener las colectas de plantas de fresa, de donde se obtuvieron los hongos fitopatógenos evaluados en el presente estudio.

Referencias

- Agrios, G. N. (2005). *Plant Pathology*. United States of America: Elsevier Academic, University of Florida.
- Angulo-Escalante, M. A., Armenta-Reyes, E., García-Estrada, R. S., Carrillo-Fasio, J. A., Salazar-Villa, E., & Valdez-Torres, J. B. (2009). Extractos de Semilla de *Swietenia humilis* Zucc., con actividad antifúngica en *Rhizopus stolonifer* (Ehrenb.: Fr.) Vuill. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 27(2), 84-92.
- Ávila, M. S. (2014). Viable el control biológico con agentes antifúngicos y antibacterianos. *Revista de Riego*, 76, 48-51.
- Barrantes, I. A., & López, K. J. (2013). Estudio de prefactibilidad para la implementación de una empresa para la producción y comercialización de fresa hidropónica en la ciudad de Trujillo (Tesis de Licenciatura). Universidad Privada del Norte, Perú.
- Castañeda-Cabrera, C. (1999). Sensibilidad *in vitro* de aislados del hongo *Sclerotium cepivorum* Berk. A los fungicidas comúnmente usados para su control. (Tesis de licenciatura). Universidad de Guanajuato, Guanajuato, México.
- Ceja-Torres, L. F., Vázquez, G. G., & Muñoz, R. C. (2001). Comparación de métodos de control de la secadera de la fresa (*Fragaria x ananassa* Duch). *Revista Mexicana de Fitopatología*, 19(2): 147-153.
- Ceja-Torres, L. F., Mora-Aguilera, G., Téliz, D., Mora-Aguilera, A., Sánchez-García, P., Muñoz-Ruiz, C., Tlapal-Bolaños, B., & De la Torre-Almaraz, R. (2008). Ocurrencia de hongos y etiología de la secadera de la fresa con diferentes sistemas de manejo agronómico. *Agrociencia*, 42(4), 451-461.
- Costet-Costet, M. (2015). Monitoring resistance in obligate pathogens by bioassays relating to field use: grapevine powdery and downy mildews. En: I. Hideo, & D. W. Hollomon (Eds.). *Fungicide resistance in plant pathogens* (pp. 251-280). Tokyo, Japan: Springer. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/978-4-431-55642-8>

- Delgadillo-Sánchez, F., & Aguilar-Laguna, A. (Julio, 2006). Evaluación de fungicidas *in vitro* para el control de *Rhizoctonia solani* y *Fusarium solani* causantes de la marchitez del tomate de cascara (*Physalis ixocarpa*) en Guanajuato, México. *XXXIII Congreso Nacional de Fitopatología*. Manzanillo, Col., México.
- Delgado, J. M. A., & Méndez, I. F. (Octubre, 2002). Posibilidades de control de *Fusarium oxysporum* f. sp. *asparagui* mediante bacterias antagonistas procedentes de la rizósfera de espárrago (*Asparagus officinalis* L.). *XVII Congreso Peruano de Fitopatología*. Tarapoto, San Martín, Perú.
- Dhingra, O. D., Costa, M. L. N., & Silva, G. J. (2004). Potential of allyl isothiocyanate to control *Rhizoctonia solani* seedling damping off and seedling blight in transplant protection. *Journal Phytopathology*, 152(6), 352-357. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2004.00855.x>
- Elías-Ogaz, L. R., Murillo-Donato, V. A., Avitia-Talamantes, M. C., & Guigón-López, C. (Julio, 2005). Evaluación *in vitro* de *Trichoderma* spp., contra *Macrophomina phaseolina* y *Fusarium* spp., causantes de pudriciones radicales de Chile. *XXXII Congreso Nacional de Fitopatología*. Chihuahua, Chih., México.
- Espinoza-Altamirano, D., Silva-Rojas, H. V., Leyva-Mir, S. G., Marbán-Mendoza, N., & Rebollar-Alviter, A. (2017). Sensitivity of *Colletotrichum acutatum* isolates obtained from strawberry to thiophanate-methyl and azoxystrobin fungicides. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 35(2), 186-203. doi: <http://dx.doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1612-4>
- United Nations Food and Agriculture Organization (FAOSTAT). (6 de noviembre de 2017). *Estadísticas agrícolas de fresa: producción, superficie y rendimiento*. Recuperado el 13 de noviembre de 2017 de <https://blogagricultura.com/estadisticas-fresa-produccion>
- González-Cárdenas, J. C., Servín-Piñón, M. I., Mateos-Crespo, J. R., Elorza-Martínez, P., & Maruri-García, J. M. (Julio, 2004). Comparación antagónica de *Trichoderma* spp., contra *Fusarium oxysporum* agente causal de Damping-off en papaya. *XXXI Congreso Nacional de Fitopatología*. Veracruz, México.
- Mariscal-Amaro, L. A., Rivera-Yerena, A., Dávalos-González, P. A., & Ávila-Martínez, D. (2017). Situación actual de hongos asociados a la secadera de la fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) en Guanajuato, México. *Agrociencia*, 51(6), 673-681.
- Mass, J. L. (1998). *Compendium of strawberry diseases*. Minesota. USA: The American Phytopathological Society (APS Press)
- Michel-Aceves, A. C., Otero-Sánchez, M. A., Solano-Pascacio, L. Y., Ariza-Flores, R., Barrios-Ayala, A., & Rebolledo-Martínez, A. (2009). Biocontrol *in vitro* con *Trichoderma* spp; de *Fusarium subglutinans* (Wollenweb. y Reinking) Nelson, Toussoun y Marasas y *F. oxysporum* Schlecht., agentes causales de la "escoba de bruja" del mango (*Mangifera indica* L.). *Revista Mexicana de Fitopatología*, 27(1), 18-26.
- Mondino, P., Alaniz, S., & Leoni, C. (2003). Nuevas estrategias en el manejo de las enfermedades y sus resultados en la Producción Integrada. En: *Producción Integrada en Uruguay: Claves de un sistema amigable con el medio ambiente que permite obtener frutas y hortalizas de alta calidad* (pp. 75-78). Montevideo, Uruguay: Programa de Reconversión y Desarrollo de la Granja: Convenio de Cooperación Técnica Uruguay-Alemania (PREDEG / GTZ).
- Montes-Belmont, B. R., Nava-Juárez, R. A., Flores-Moctezuma, H. E., & Mundo- Ocampo, M. (2003). Hongos y nematodos en raíces y bulbos de cebolla (*Allium cepa* L.) en el estado de Morelos, México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 21(3), 300-304.
- Narro-Sánchez, J., Quijano-Carranza, J. A., & Ramírez-Vega, M. (Julio, 2006). Control químico de la pudrición del florete (*Alternaria* spp.) en Brócoli en campo. *XXXIII Congreso Nacional de Fitopatología*. Manzanillo, Col., México.
- Ortega-García, J. C., Bravo-Luna, L., Arzuffi-Barrera, A. R., & Guigón-López, C. (Julio, 2011). Actividad antagónica de *Trichoderma asperellum* sobre *Fusarium* spp., aislados de jitomate en Morelos, México. *XXXVIII Congreso Nacional de Fitopatología*. Tlax., Tlaxcala, México.
- Pérez-Moreno, L., Delgado-Fernández, S., Interiano-Zapata, I., Navarro-León, M. J., Niño-Mendoza, G. H., Prieto-Sánchez, E., & Torres-Salgado, A. (Julio, 2013). Sensibilidad *in vitro* de los hongos *Fusarium solani*, *Alternaria solani* y *Sclerotinia sclerotiorum* a fungicidas usados comúnmente para su control. *XV Congreso Internacional/XL Congreso Nacional de Fitopatología*. Huatulco, Oaxaca, México. Recuperado el 14 de febrero de 2018 de <http://rmf.smf.org.mx/suplemento/docs/suplemento.pdf>

- Pérez-Moreno, L., Belmonte-Vargas, J. R., Núñez-Paleniuss, H. G., Guzmán-Mendoza, R., & Mendoza-Celedón, B. (2015). Sensibilidad *in vitro* de dos especies de *Sclerotinia* spp. y *Sclerotium cepivorum* a agentes de control biológico y fungicidas. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 33(2), 256-267.
- Pérez-Rodríguez, L. R., Pérez-Moreno, L., Guzmán-Mendoza, R., Sanzón-Gómez, D., & Belmonte-Vargas, J. R. (Julio, 2017). Sensibilidad *in vitro* de cepas de *Fusarium* spp. del espárrago a productos biológicos funguicidas. *XV Congreso Internacional/XL Congreso Nacional de Fitopatología*. Tuxtla, Gutiérrez, Chiapas, México. Recuperado el 18 de febrero de 2018 de http://www.rmfmf.org.mx/suplemento/docs/Volumen352017/VOLUMEN_35_SUPLEMENTO_2017.pdf
- Ramos-Barraza, Y., Carrillo-Fasio, J. A., García-Estrada, R. S., Márquez-Zequera, I., Galindo-Fentanes, E., & Serrano-Carrión, L. (Julio, 2005). Control biológico de la rabia del garbanzo (*Cicer arietinum* L.) en el estado de Sinaloa, México. *XXXVII Congreso Nacional de Fitopatología*. Chihuahua, Chih., México.
- Ramos García, M., Hernández López, M., Barrera Necha, L. L., Bautista Baños, S., Troncoso Rojas, R., & Bosquez Molina, E. (2012). *In vitro* response of *Fusarium oxysporum* isolates to isothiocyanates application. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 30(1),1-10.
- Rodríguez Alvarado, G., García López, J., & Fernández Pavía, S. P. (2011). Enfermedades del jitomate (*Solanum lycopersicum*) Cultivado en Invernadero en la Zona Centro de Michoacán. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 29(1), 50-60.
- Rodríguez-Romero, V. M., Bautista-Baños, S., & Villanueva-Arce, R. (Julio, 2013). *Pseudomonas fluorescens* Como agente de biocontrol de *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli*, *Colletotrichum fragariae* y *Botrytis cinerea*. *XL Congreso Nacional de Fitopatología*. Huatulco, Oaxaca, México. Recuperado el 14 de febrero de 2018 de <http://rmfmf.org.mx/suplemento/docs/suplemento.pdf>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2016). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Resumen Nacional por Producto, Cíclicos y Perenes 2015, modalidad riego + temporal*. Recuperado el 18 de marzo de 2017 de http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=351
- StatPoint Technologies. (2014). *STATGRAPHICS® Centurion XVI Manual de usuario*. USA: Statpoint Technologies, Inc.
- Troncoso, R., Sánchez-Estrada, A., Ruelas, C., García, H. S., & Tiznado-Hernández, M. E. (2005). Effect of benzyl isothiocyanate on tomato fruit infection development by *Alternaria alternata*. *Journal Science Food Agricultural*, 85(9), 1427-1434. doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.2129>
- Van den Bosh, F., Oliver, R., Van den Berg, F., & Paveley, N. (2014). Governing principles can guide fungicide-resistance management tactics. *Annual Review of Phytopathology*, 52, 175-195. doi: <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-102313-050158>