

DISMINUCIÓN DE LA MARCHITEZ DEL CHILE (*Phytophthora capsici* Leo) CON COMPLEJIDAD ASCENDENTE DE ANTAGONISTAS EN EL SUSTRATO DE GERMINACIÓN DEL CHILE (*Capsicum annuum* L.)

Juliana Bautista-Calles, Roberto García-Espinosa, Emma Zavaleta-Mejía, Jesús Pérez-Moreno, Roberto Montes-Belmont, Ronald Ferrera-Cerrato y Manuel Huerta-Lara

RESUMEN

Debido a que, en términos generales, el control biológico de fitopatógenos con origen en el suelo no ha mostrado ser eficiente en campo cuando se ha intentado la reintroducción de sólo un aislamiento de determinado antagonista en cantidades aumentadas al suelo, en este trabajo se intentó la reintroducción al suelo de consorcios de antagonistas a *Phytophthora capsici* con complejidad ascendente (con 8, 16, 24 y 32 aislamientos), mediante el sustrato de germinación del chile (*Capsicum annuum*) para lograr su establecimiento venciendo a la homeostasis del suelo y permitir la producción del cultivo. En

invernadero el tratamiento con menor incidencia de marchitez ($p \leq 0,05$) fue el sustrato con el consorcio de ocho actinomicetos. En campo los tratamientos con cualquier combinación de antagonistas presentaron menor incidencia de marchitez ($p \leq 0,05$) en comparación con el testigo. Entre los consorcios de antagonistas eficientes en campo, la mayor reducción de la incidencia de la marchitez ($p \leq 0,05$) fue en el tratamiento con la mayor complejidad de antagonistas. En invernadero y campo, la presencia de los diferentes consorcios de antagonistas disminuyó la incidencia de la marchitez del chile en comparación con el testigo.

Introducción

Dado que el manejo biológico parece inducir menores disturbios ecológicos, recientemente se ha enfatizado el uso de antagonistas para el manejo de fitopatógenos con origen edáfico. La mayoría de las veces el enfoque ha sido reduccionista, seleccionando un antagonista contra cada especie patogénica, ignorando el hecho de que estos patógenos nunca están solos en el suelo y su forma de acción está siempre en interacción con otros microorganismos, es decir, trabajan como complejos patogénicos, aprovechando las oportunidades que el ambiente edáfico les proporciona para inducir patogénesis.

En los últimos años, más de 80 productos patentados de

agentes de biocontrol han sido comercializados en el mundo y un gran porcentaje de ellos han sido desarrollados específicamente para cultivos en invernadero (Paulitz y Bélanger, 2001). La introducción de controladores biológicos para las enfermedades de plantas se ha practicado en la agricultura desde 1927, y desde entonces se han identificado centenares de agentes potenciales de control biológico, pero solo unos cuantos han sido formulados para uso comercial, y de ellos ~5% han sido exitosos (Desai *et al.*, 2002).

Existen microorganismos que han sido reportados como antagonistas, ya sea parasitando o causando lisis a los propágulos de *Phytophthora* en el suelo (Erwin y Ribeiro, 1996;

Paulitz y Bélanger, 2001). Sin embargo, hasta la fecha, no parece existir reporte alguno de antagonistas que por sí solos, resulten eficientes contra *P. capsici*, y mucho menos bajo condiciones de campo.

Cuando se intenta la reintroducción individual al suelo de cualquier antagonista, aún en cantidades aumentadas, los resultados no son los esperados a causa de la homeostasis del suelo, propiedad que impide que cualquier microorganismo introducido al suelo se establezca. Ante esta situación, el concepto de supresividad de suelos ofrece una nueva perspectiva en el desarrollo del control biológico. La supresividad en el suelo a ciertas especies de patógenos, observada de manera general en ecosistemas naturales,

puede deberse a la elevada complejidad tanto estructural como de comportamiento de las especies de microorganismos que en ellos interactúan. Es factible entonces que en los agroecosistemas la supresividad pudiera surgir al estimular la complejidad, por ejemplo al incrementar la diversidad de antagonistas a fitopatógenos con origen en el suelo (García, 2000).

El concepto de supresividad implica equilibrio en la ecología del suelo, que da como resultado ausencia o daños reducidos de la enfermedad en presencia de condiciones adecuadas para su ocurrencia en una determinada región y cultivo (Baker y Chet, 1982; Cook, 1982).

La supresividad es el resultado de la autoorganización

PALABRAS CLAVE / *Capsicum annuum* / Complejidad Ascendente / Control Biológico / Homeostasis Del Suelo /

Recibido: 03/08/2009. Modificado: 25/06/2010. Aceptado: 14/07/2010.

Juliana Bautista-Calles. Doctora en Ciencias, Colegio de Posgraduados (COLPOS), Montecillo, México. Investigadora, Despacho de Servicios Profesionales para el Desarrollo Amilli S.C. Puebla, México. Dirección: Amilli S.C., CP 72230, Puebla, México. e-mail: bjuliana@colpos.mx

Roberto García-Espinosa. Ph.D., University of Florida, EEUU. Profesor investigador, COLPOS, Montecillo, México.

Emma Zavaleta-Mejía. Ph.D., University of California, Riverside, EEUU. Profesora investigadora, COLPOS, Montecillo, México.

Jesús Pérez-Moreno. Ph.D., University of Sheffield, RU. Profesor investigador, COLPOS, Montecillo, México.

Roberto Montes-Belmont. Doctor en Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México. Profesor Investigador, Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, Instituto Politécnico Nacional (IPN), México.

Ronald Ferrera-Cerrato. Doctor en Ciencias, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN, México. Profesor Investigador, COLPOS, Montecillo, México.

Manuel Huerta-Lara. Doctor en Ciencias, COLPOS, México. Profesor Investigador, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México.

DECREASE OF CHILI PEPPER WILT (*Phytophthora capsici* Leo) WITH ASCENDING ANTAGONIST COMPLEXITY IN SUBSTRATES FOR CHILI PEPPER (*Capsicum annuum* L.) GERMINATION

Juliana Bautista-Calles, Roberto García-Espinosa, Emma Zavaleta-Mejía, Jesús Pérez-Moreno, Roberto Montes-Belmont, Ronald Ferrera-Cerrato and Manuel Huerta-Lara

SUMMARY

In general, biological control of soil-borne disease has not been efficient under field conditions, when reintroduction to the soil of increased amounts of a single antagonist isolate has been applied. This study attempted to reintroduce consortia antagonistic to *Phytophthora capsici* with ascending complexity (8, 16, 24 and 32 isolates), into the chili pepper (*Capsicum annuum*) germination substrate, so as to achieve its establishment, overcoming soil homeostasis and allowing for production of the crop. Under greenhouse conditions, the lowest disease incidence ($p \leq 0.05$) was

observed in the treatment with the consortium with eight actinomycetes. Under field conditions, all the treatments with antagonists had lower incidence ($p \leq 0.05$) than control. Among the antagonist consortia that were efficient in the field, the one with the highest complexity showed the lowest wilt incidence ($p \leq 0.05$). Both in greenhouse and field tests, the presence of consortia of antagonists decreased the incidence of chili pepper wilting in comparison with the control.

DIMINUIÇÃO DO MURCHAMENTO DA PIMENTA (*Phytophthora capsici* Leo) COM COMPLEXIDADE ASCENDENTE DE ANTAGONISTAS NO SUBSTRATO DE GERMINAÇÃO DA PIMENTA (*Capsicum annuum* L.)

Juliana Bautista-Calles, Roberto García-Espinosa, Emma Zavaleta-Mejía, Jesús Pérez-Moreno, Roberto Montes-Belmont, Ronald Ferrera-Cerrato e Manuel Huerta-Lara

RESUMO

Devido a que, em termos gerais, o controle biológico de fitopatogêneos com origem no solo não tem mostrado ser eficiente em campo quando tentada a reintrodução de somente um isolamento de determinado antagonista em quantidades aumentadas ao solo, neste trabalho foi tentada a reintrodução ao solo de consórcios de antagonistas a *Phytophthora capsici* com complexidade ascendente (com 8, 16, 24 e 32 isolamentos), mediante o substrato de germinação da pimenta (*Capsicum annuum*) para conseguir seu estabelecimento vencendo a homeostase do solo e permitindo a produção do cultivo. Em estufa, o tratamento

com menor incidência de murchamento ($p \leq 0,05$) foi o substrato com o consórcio de oito actinomicetos. Em campo os tratamentos com qualquer combinação de antagonistas apresentaram menor incidência de murchamento ($p \leq 0,05$) em comparação com o testemunho. Entre os consórcios de antagonistas eficientes em campo, a maior redução da incidência de murchamento ($p \leq 0,05$) foi no tratamento com a maior complexidade de antagonistas. Em estufa e campo, a presença dos diferentes consórcios de antagonistas diminuiu a incidência do murchamento da pimenta em comparação com o testemunho.

de comunidades microbianas nativas que han interactuado por largos períodos de tiempo y que han construido una estructura que produce esta propiedad emergente. Las poblaciones se autoorganizan y aparecen distintos patrones de conducta entre las especies hasta alcanzar un equilibrio, donde sobreviven las más aptas de acuerdo a la dinámica y complejidad de cada sistema (Lewin, 1992). De ahí que resulte inapropiado pretender inducir supresividad con base en la introducción de sólo un antagonista; esto no produce cambios en la estructura y tampoco en el comportamiento, solo desata homeostasis contra la especie introducida.

En México se ha documentado que la supresivi-

dad a una enfermedad puede ser inducida en sustratos de germinación, al introducir complejidad ascendente de antagonistas aislados de suelos supresores. García (2007) encontró, en un experimento con consorcios de 10, 20 y 30 antagonistas, que la supervivencia y vigor de las plantas fue mayor entre mayor fue el número de antagonistas empleados, comparados con el testigo (sin antagonistas). La complejidad creciente de antagonistas, no solo estuvo relacionada con el número de aislamientos sino también con diferentes grupos taxonómicos (hongos, bacterias y actinomicetos) y acciones fisiológicas (antibiosis o micoparasitismo).

Al parecer, las posibilidades de inducir cambios

estructurales y funcionales aumentan al introducir consorcios de microorganismos al sustrato de germinación, debido a que las comunidades microbianas de antagonistas se asocian al sistema de raíces. Basada en un enfoque de control biológico holístico, utilizando elementos de la teoría general de sistemas y la teoría de la complejidad, y visualizando a la supresividad como el punto de regulación de las especies fitopatógenas con origen en el suelo (Bautista *et al.*, 2008), la introducción de complejidad ascendente de antagonistas en la rizosfera del cultivo de chile podría ser una alternativa para lograr el éxito del control biológico de patógenos con origen en el suelo.

El presente trabajo tuvo

como objetivo disminuir los daños inducidos por *P. capsici* en el cultivo de chile inoculando diversos consorcios de antagonistas con complejidad ascendente (8, 16, 24 y 32 antagonistas), al sustrato de germinación del cultivo.

Materiales y Métodos

Se establecieron dos experimentos. El primero se realizó en invernadero, en Montecillo, México, a fin de evaluar el efecto de la complejidad ascendente de antagonistas (0, 8, 16 y 32) introducidos en los sustratos de germinación del chile sobre la incidencia de *P. capsici* en el cultivo, con dos repeticiones (ensayos), una el 29/05/2004 y otra el 03/07/2004. Cada ensayo es-

tuvo constituido por 16 tratamientos y 3 repeticiones.

El segundo experimento se realizó en el campo experimental de la Universidad Autónoma de Chapingo (UACH), México, el 01/05/2005, para evaluar el efecto de los mejores tratamientos con complejidad ascendente de antagonistas obtenidos en invernadero. Ambos experimentos se establecieron con un diseño completamente al azar, usando el manejo agronómico practicado por los agricultores de la zona, sin la aplicación de insumos químicos.

Selección y multiplicación de antagonistas a *P. capsici*

Se evaluaron *in vitro* 120 microorganismos antagonistas preservados en la colección del Laboratorio de Ecología de Enfermedades de la Raíz del Colegio de Posgraduados, México, obtenidos de trabajos de investigación sobre suelos supresores de fitopatógenos de la raíz; de los cuales se seleccionaron 32 microorganismos con base a su actividad (antibiosis o micoparasitismo) sobre *P. capsici*. Los aislamientos seleccionados se incluyeron en cuatro grupos (Tabla I): BA (bacterias antibióticas), AA (actinomicetos antibióticos), HA (hongos antibióticos), y HM (hongos micoparasitos).

Cada aislamiento se multiplicó en frascos conserveros de 900ml contentivos de 500g de suelo con 1% de harina de maíz y humedecido a capacidad de campo. Los frascos previamente preparados, fueron esterilizados durante 4h a 15lb de presión, durante 2 días consecutivos y posterior a la inoculación fueron herméticamente cerrados. Un mes después de la siembra, se estimó en cada frasco el número

TABLA I
ANTAGONISTAS EMPLEADOS EN EXPERIMENTOS ESTABLECIDOS EN INVERNADERO Y CAMPO

Grupo BA	Grupo AA	Grupo HA	Grupo HM
B1	A1	<i>Gliocladium</i> H05	<i>Rhizopus</i> H20
B2	A2	<i>Gliocladium</i> H24	<i>Trichoderma</i> H40
B4.1	A13	<i>Gliocladium</i> H34	<i>Trichoderma</i> H41
B13.2	AP13	<i>Gliocladium</i> H58	<i>Trichoderma</i> H43
B15.1	A37	<i>Gliocladium</i> H63	<i>Rhizopus</i> H49
B19	A44	<i>Fusarium</i> H69	<i>Rhizopus</i> H62
B29	A51	<i>Fusarium</i> H74	<i>Fusarium</i> H70
B29.1	A53	<i>Penicillium</i> H77	<i>Rhizopus</i> H75

BA: bacterias antibióticas, AA: actinomicetos antibióticos, HA: hongos antibióticos, HM: hongos micoparasíticos.

de unidades formadoras de colonias (UFC) de antagonistas por g de suelo.

Para determinar la población inicial expresada como el número de UFC/g de suelo de bacterias, actinomicetos y hongos se utilizó la técnica de dilución seriada y conteo en placa de agar descrita por

TABLA II
POBLACIÓN DE ANTAGONISTAS (UFC $\times 10^6 g^{-1}$ DE SUELO) EN LOS SUSTRATOS EMPLEADOS EN LOS EXPERIMENTOS ESTABLECIDOS EN INVERNADERO (2004) Y EN CAMPO (2005)

Grupos	Aislamientos de antagonistas	Unidades formadoras de colonia (UFC) $\times 10^6 g^{-1}$ de suelo*			
		Invernadero		Campo	
		Poblaciones iniciales	Poblaciones finales	Poblaciones iniciales	Poblaciones finales
1) BA	1) B1	1813	220	1021	106
	2) B2	1005	108	1247	124
	3) B4.1	1902	105	637	65
	4) B13.2	913	384	1042	114
	5) B15.1	808	1106	1309	1259
	6) B19	2018	275	1458	502
	7) B29	1347	473	985	2033
	8) B29.1	796	309	1206	96
2) AA	1) A1	283	796	451	480
	2) A2	304	281	132	85
	3) A13	208	692	179	244
	4) AP13	643	648	812	811
	5) A37	394	284	923	872
	6) A44	640	412	547	540
	7) A51	298	260	346	47
	8) A53	386	381	1245	128
3) HA	1) H05	133	120	225	142
	2) H24	141	12	211	162
	3) H34	124	260	654	597
	4) H58	12	128	75	99
	5) H63	92	78	103	94
	6) H69	134	92	215	104
	7) H74	68	16	348	296
	8) H77	163	82	97	98
4) HM	1) H20	51	23	121	92
	2) H40	79	12	243	217
	3) H41	184	123	97	95
	4) H43	20	142	84	394
	5) H49	97	20	211	92
	6) H62	120	280	287	183
	7) H70	13	7	142	98
	8) H75	94	120	314	211

* Promedio de cuatro repeticiones.

BA: bacterias antibióticas, AA: actinomicetos antibióticos, HA: hongos antibióticos, HM: hongos micoparasíticos.

Klement *et al.* (1990). Para bacterias se utilizó el medio Agar Nutritivo®; para actinomicetos se empleo Agar Nutritivo® basificado a pH 11 con hidróxido de potasio; y para hongos se utilizó el medio papa dextrosa Agar (PDA®), al cual se le agregó un surfactante (Tergitol®) y estreptomycina (Steiner y Watson, 1965). Este último medio, si bien no es selectivo, reduce y define el crecimiento de las colonias individuales de hongos y permite la diferenciación de los géneros utilizados en los experimentos. Las cajas se incubaron a 28 y 32°C para bacterias y actinomicetos, respectivamente. Para hongos, las cajas se mantuvieron a temperatura ambiente (25-30°C). El número de colonias se registró a las 48h. Cada conteo se hizo por triplicado (Tabla II).

Preparación de sustratos de germinación

Sustrato base. La mezcla base consistió de suelo de monte y polvo de coco 20:1 (peso:peso). La mezcla se humedeció a capacidad de campo y por cada kg de mezcla se adicionó 1g de urea. El sustrato presentó un pH de 6,5 y fue colocado en costales de 50kg, los cuales se esterilizaron a 100°C durante 6h por 2 días consecutivos.

Sustratos con complejidad ascendente de antagonistas. Estos sustratos se prepararon en tres pasos: i) Se prepararon 32 sustratos (uno por cada antagonista). En cada una de las 32 bolsas de polietileno con capacidad de 20kg se depositaron 5kg del sustrato base más 500g del suelo en que se multiplicó cada uno de los antagonistas. ii) A

partir de los 32 sustratos se prepararon cuatro sustratos de complejos con 8 microorganismos, de acuerdo al grupo de antagonistas. Se formaron los cuatro complejos (BA, AA, HA y HM) mezclando los aislamientos de acuerdo a su grupo y forma de acción, cada complejo con 44kg de sustrato.

iii) Con los cuatro sustratos con complejidad de 8 microorganismos se prepararon los sustratos con 16, 24 y 32 antagonistas. Se tomaron 6kg de cada uno de los cuatro complejos para formar los sustratos con 16 antagonistas (BA-AA, BA-HA, BA-HM, AA-HA, AA-HM y HA-HM), 4kg de cada uno para formar los sustratos con 24 antagonistas (BA-AA-HA, BA-AA-HM, BA-HA-HM y AA-HA-HM) y 3kg de cada uno para formar el sustrato con 32 antagonistas (AA-BA-HA-HM). Los conteos de UFC de bacterias y actinomicetos se realizaron de la misma forma que los conteos de hongos, antes de la inoculación al sustrato base y 15 días después de la formación de todos los complejos de antagonistas. Se verificó la presencia de cada aislamiento y se registraron los datos de población final producto del promedio del conteo de 4 cajas de los antagonistas (Tabla II).

Una vez que se formaron y mezclaron todos los complejos, se utilizaron al día siguiente para llenar las charolas de almácigo en las que se sembró la semilla de chile variedad jalapeño.

Para los experimentos en invernadero se emplearon los 16 sustratos de complejidad ascendente (Tabla III) y para el experimento en campo, solo se utilizaron cinco de los sustratos de germinación con complejidad ascendente de antagonistas, los cuales fueron seleccionados por pre-

TABLE III
SUSTRATOS DE GERMINACIÓN CON COMPLEJIDAD ASCENDENTE DE ANTAGONISTAS (TRATAMIENTOS), EMPLEADOS EN LOS EXPERIMENTOS DE INVERNADERO Y CAMPO

Tratamientos empleados en invernadero	Grupos de antagonistas	Cantidad total de antagonistas
1) T (Testigo)*	0	0
2) BA (bacterias antagonistas)	1	8
3) AA (actinomicetos antagonistas)*	1	8
4) HA (hongos antagonistas)	1	8
5) HM (hongos micoparasíticos)	1	8
6) BA-AA (bacterias y actinomicetos antagonistas)	2	16
7) BA-HA (bacterias y hongos antagonistas)	2	16
8) BA-HM (bacterias antagonistas y hongos micoparasíticos)	2	16
9) AA-HA (actinomicetos y hongos antagonistas)	2	16
10) AA-HM (actinomicetos antagonistas y hongos micoparasíticos)*	2	16
11) HA-HM (hongos antagonistas y hongos micoparasíticos)	2	16
12) BA AA HA (bacterias, actinomicetos y hongos antagonistas)	3	24
13) BA-AA-HM (bacterias y actinomicetos antagonistas más hongos micoparasíticos)	3	24
14) BA-HA-HM (bacterias y hongos antagonistas más hongos micoparasíticos)	3	24
15) AA-HA-HM (actinomicetos y hongos antagonistas más hongos micoparasíticos)*	3	24
16) AA-BA-HA-HM (bacterias, actinomicetos y hongos antagonistas más hongos micoparasíticos)*	4	32

*Tratamientos empleados en campo (1, 3, 10, 15 y 16).

sentar la menor incidencia de marchitez en invernadero (Tabla III).

Preparación del inóculo infectivo

Se prepararon matraces, previamente esterilizados en autoclave durante 1h, con 200g de grano de sorgo, a los que se adicionó agar al 2% en agua enriquecido con 250ml de jugo V8® por litro, hasta cubrir el grano. En cada matriz se adicionó una rodaja de la cepa PC105 de *P. capsici* aislada de chile de los Valles Centrales de Oaxaca. Después de 30 días de incubación, se adicionaron 20g de granos colonizados por *P. capsici* por unidad experimental. El experimento en campo se estableció en suelos naturalmente infestados con *P. capsici*, causante de la marchitez del chile.

Experimentos en invernadero

Se sembraron semillas de chile en cada una de las

en función del tiempo (Campbell y Madden, 1990).

Experimento en campo

En charolas germinadoras contentivas con cada uno de los cinco sustratos seleccionados de los tratamientos evaluados en invernadero (Tabla III) se sembraron semillas de chile. En campo, cada unidad experimental estuvo formada por tres surcos de 1m de longitud, con un distanciamiento entre surcos de 30cm y entre plantas de 15cm, para 15 plantas por unidad experimental. El suelo del campo experimental de la UACH es de textura franco arenosa, pobre en materia orgánica (1,32%) y con pH 7,3. Cada tratamiento se efectuó con cinco repeticiones. La primera evaluación de incidencia

de la marchitez se realizó a los 15ddt y a partir de ahí, cada 7 días hasta el primer corte de frutos, para obtener el ABCPE, así como el rendimiento del cultivo y el peso seco de las plantas al final del cultivo.

Para los experimentos de invernadero y campo, los datos de cada variable fueron sometidos a análisis de varianza y cuando se encontraron diferencias significativas, se hizo la comparación de medias entre tratamientos con la prueba de Tukey ($\alpha=0,05$).

Resultados

Experimentos en invernadero

Incidencia de la marchitez del chile en invernadero. En la Figura 1 se observa que el 50% de las plantas de chile murieron alrededor de los 67ddt (Experimento 1) y a los 60ddt (Experimento 2). El tratamiento AA presentó la menor incidencia ($p \leq 0,05$) de la marchitez con un 40% (Experimento1) y 16,67%

charolas de almácigos, en los que se había incorporado el complejo o combinación de organismos correspondientes a cada uno de los 16 tratamientos (Tabla III). Para el trasplante, cada unidad experimental estuvo formada por una maceta de 10kg con suelo no esterilizado, proveniente del campo experimental de la UACH, de textura franco arenosa, pobre en materia orgánica (1,32%) y pH 7,3 donde se transplantaron 10 plántulas de chile provenientes de los sustratos de germinación de cada uno de los tratamientos, con tres repeticiones. La inoculación con *P. capsici* se realizó el día del trasplante. Se evaluó la supervivencia a los 15 días después del trasplante (ddt) y posteriormente cada 7 días, hasta la muerte de más del 50% de las plantas de chile. Se estimó el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE), variable que describe la intensidad de la enfermedad

(Experimento 2), en comparación al resto de los tratamientos cuya incidencia varió en el experimento 1 entre 86,67 y 100% y para el experimento 2 entre 66,67 y 100%.

En los tratamientos HM, AA-HM, HA-HM, AA-HA-HM y AA-BA-HA-HM se registraron incidencias entre 76,7 y 85% en promedio para ambos experimentos, y la mayor ($p \leq 0,05$) incidencia estuvo entre 91,6 y 100% para el resto de los tratamientos.

Se registró una reducción de la tasa de mortandad, al mostrar la menor ABCPE, en los tratamientos AA, AA-HM, AA-HA-HM y AA-BA-HA-HM a diferencia de los tratamientos BA-HA y BA-HA-HM, que registraron la mayor ABCPE, y el testigo (Tabla IV). Para ambos experimentos, no fue el tratamiento con mayor complejidad de antagonistas el que resultó menos dañado, sino el tratamiento que contenía los ocho actinomicetos antagonísticos (AA).

Experimento en campo

Incidencia de la marchitez del chile en campo. Se registró una menor incidencia ($p \leq 0,05$) de la marchitez y menor ($p \leq 0,05$) ABCPE en los tratamientos AA, AA-HM, AA-HA-HM y AA-BA-HA-HM, en comparación con el testigo (Tabla V). Los tratamientos que presentaron la menor ($p \leq 0,05$) incidencia fueron AA, AA-HM y AA-BA-HA-HM con complejidad de 8, 16 y 32 aislamientos de antagonistas (Tabla V).

Rendimiento y peso seco de las plantas. Estas variables presentaron mayores valores ($p \leq 0,05$)

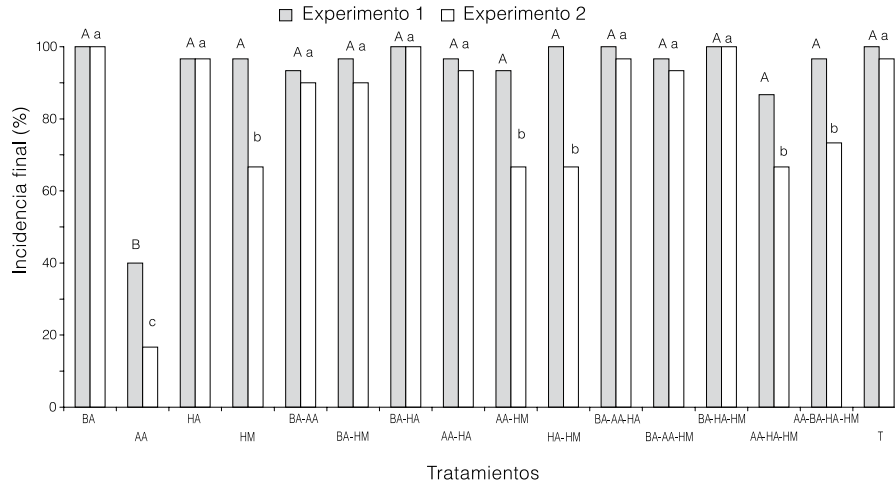


Figura 1. Incidencia de la marchitez del chile en invernadero, primera y segunda repetición en tiempo del experimento. Para el experimento 1, DMS= 0,2141. Las diferencias estadísticas se indican con letras mayúsculas. Para el experimento 2, DMS= 0,1449. BA: bacterias antibióticas, AA: actinomicetos antibióticos, HA: hongos antibióticos, HM: hongos micoparasíticos, T: testigo. Las diferencias estadísticas se indican con letras minúsculas; las medias con diferente letra, entre los experimentos, son diferentes ($p \leq 0,05$).

en todos los tratamientos donde se utilizó sustrato de germinación con antagonistas en comparación con el testigo. El tratamiento AA presentó el mayor rendimiento ($p \leq 0,05$), seguido del tratamiento con mayor complejidad de antagonistas (Tabla V).

Discusión

En invernadero únicamente el tratamiento AA, que contenía ocho actinomicetos antagonísticos, resultó exitoso, ya que mostró un retraso en la aparición de la marchitez del chile de manera consistente (Figura 1), po-

siblemente debido a la disminución en la autoinfección en las plantas, no resultando así para el tratamiento con mayor complejidad de antagonistas.

En relación al éxito del consorcio de actinomicetos, existen reportes sobre la actividad antagonística de este grupo de microorganismos sobre el género *Phytophthora*, donde han mostrado ser efectivos. Broadbent *et al.* (1971; citado por Zentmyer, 1980) aisló microorganismos de 60 muestras de suelo de Australia y seleccionó aquellos con antagonismo a ocho fitopatógenos de la raíz, incluyendo a *P. cinnamomi*, siendo

los actinomicetos más inhibidores a *Phytophthora* que a otros patógenos. Posteriormente Weste y Vithanage (1977; citado por Zentmyer, 1980) encontraron que en áreas donde las pudriciones de raíz progresaron rápidamente las poblaciones de actinomicetos fueron significativamente más bajas que en los suelos donde la enfermedad progresó más lentamente.

Existen reportes que señalan que los actinomicetos en general son eficientes en el control de fitopatógenos con origen en las semillas o en el suelo, tanto que existe en el mercado mundial un producto que tiene como biocontrolador a *Streptomyces griseoviridis* (Mycostop® desarrollado por Kemira Oy, en Finlandia). La eficacia de dicho producto es comparable al de los fungicidas químicos y es compatible con algunos pesticidas, pudiendo ser usado para el manejo integrado de plagas (Mohammadi, 1992, Warrior *et al.*, 2002).

En el invernadero, la reducción de la tasa de mortalidad se presentó en los tratamientos AA, AA-HM, AA-HA-HM y AA-

TABLA IV
INCIDENCIA DE MARCHITEZ Y ÁREA BAJO LA CURVA DEL PROGRESO DE LA ENFERMEDAD (ABCPE) DE LOS EXPERIMENTOS CON COMPLEJIDAD ASCENDENTE DE ANTAGONISTAS EN EL INVERNADERO

Tratamientos	Experimento 1		Experimento 2	
	Incidencia 60 ddt (%)	ABCPE	Incidencia 54 ddt (%)	ABCPE
1) T (Testigo)	100 a	4350 ab	96,67 a	4350 ab
2) BA	100 a	4050 abc	100 a	4050 abc
3) AA	40 b	900 f	16,67 c	475 f
4) HA	96,67 a	3975 bcd	96,67 a	4050 abc
5) HM	96,67 a	3275 bcde	66,67 b	2875 cde
6) BA-AA	93,33 a	2650 cde	90 a	2650 cde
7) BA-HA	100 a	4350 ab	100 a	4400 ab
8) BA-HM	96,67 a	3675 abcde	90 a	3700 abcde
9) AA-HA	96,67 a	3725 abcde	93,33 a	3800 abcd
10) AA-HM	93,33 a	2450 e	66,67 b	2350 e
11) HA-HM	100 a	3150 bcde	66,67 b	3150 bcde
12) BA AA HA	100 a	3850 abcde	96,67 a	3800 abcd
13) BA-AA-HM	96,67 a	3425 abcde	93,33 a	3400 abcde
14) BA-HA-HM	100 a	4800 a	100 a	4800 a
15) AA-HA-HM	86,67 a	2600 de	66,67 b	2525 de
16) AA-BA-HA-HM	96,67 a	2475 e	73,33 b	2400 de
DMS *	0,2141	1445,5	0,1449	1437,6

* DMS: Diferencia mínima significativa. Medias con diferente letra, entre columnas, son diferentes ($p \leq 0,05$). ABCPE: área bajo la curva del progreso de la enfermedad, BA: bacterias antibióticas, AA: actinomicetos antibióticos, HA: hongos antibióticos, HM: hongos micoparasíticos.

BA-HA-HM que también mostraron la menor ABCPE (Tabla IV). Por tratarse solo de un cambio sutil en la estructura del patosistema, no es de esperarse que dicho cambio sea permanente.

En campo, la mayor incidencia de la marchitez del chile fue observada en el tratamiento sin antagonistas, lo que indica el efecto benéfico del empleo de los tratamientos con antagonistas en el cultivo de chile, ya que en dichos tratamientos se incrementó la supervivencia de las plantas (Tabla V). A diferencia de los experimentos en invernadero, en campo no fue un solo tratamiento el que mostró retraso en la epidemia de la marchitez del chile, sino que cuatro consorcios de antagonistas utilizados mostraron retraso en la epidemia de la enfermedad, logrando disminuir la incidencia de la marchitez del chile en comparación con el testigo.

Los resultados del presente estudio muestran que el éxito en la introducción de los antagonistas está determinado por el empleo de consorcios, ya que al menos cuatro de ellos (AA, AA-HM, AA-HA-HM y AA-BA-HA-HM), mostraron posibilidades de vencer la homeostasis y disminuir la incidencia de la marchitez del chile.

Inducir supresividad al suelo contra un determinado patógeno requiere un cambio profundo en la estructura del patosistema; puede ser temporal o permanente, y puede ser a todo el volumen agrícola del suelo o dirigido solo al área de influencia de la rizosfera de los cultivos. En este trabajo, la intención fue reducir la incidencia de *P. capsici* colonizando la rizosfera de las plantas de chile. El empleo de diferentes consorcios de antagonistas en sustratos de germinación del cultivo de chile es un punto de regulación determinado dentro del patosistema *P. capsici*-chile.

TABLA V
INCIDENCIA DE MARCHITEZ, RENDIMIENTO Y PESO SECO DEL CHILE EN EL EXPERIMENTO DE CAMPO EN CHAPINGO, MÉXICO (2005)

Tratamiento	Incidencia 70 ddt (%)	ABCPE	Rendimiento (g)	Peso seco (g)
1) T (Testigo)	94,4 a	4490 a	23,5 d	2,94 b
2) AA	28,8 c	940 b	162,4 a	109,30 a
3) AA-HM	35,8 c	1870 b	122,2 c	87,33 a
4) AA-HA-HM	48,8 b	1590 b	102,6 c	85,76 a
5) AA-BA-HA-HM	28,8 c	1060 b	133,4 b	116,94 a
DMS *	0,0817	1109,3	37,963	64,348

* DMS: Diferencia mínima significativa. Medias con diferente letra, entre columnas, son diferentes ($p \leq 0,05$).

Los experimentos establecidos en invernadero permitieron determinar cuál de los complejos de antagonistas es más efectivo para regular el comportamiento del patógeno en el campo, donde se logró cambiar el comportamiento del patosistema *P. capsici*-chile, al disminuir la incidencia de la marchitez del chile en los tratamientos con complejos de antagonistas comprados con el testigo.

Sin embargo, este trabajo evidencia la necesidad de ampliar la investigación con trabajos con este enfoque, realizados en campo con mayor número de repeticiones en tiempo y durante periodos más prolongados para lograr la estabilidad en el sistema y permitir así la emergencia de la supresividad en el suelo. Tal vez en posteriores trabajos pueda lograrse que el uso de complejidad ascendente de antagonistas aplicada de manera consistente y a largo plazo, pueda cambiar el comportamiento del patosistema *P. capsici*-chile, sino además lograr inducir que emerja la supresividad en determinados sistemas.

Conclusiones

Bajo las condiciones en que se desarrollaron los experimentos, el éxito de los complejos de antagonistas aplicados al suelo estuvo determinado por el empleo de los antagonistas en con-

sorcios y no necesariamente por la cantidad de aislamientos empleados en los sustratos de germinación.

El retraso de la enfermedad, así como la disminución de la incidencia y daños de la marchitez del chile, emergieron como propiedad de un suelo en el que se transplantan plántulas de chile germinadas previamente en sustratos con diversos complejos de antagonistas y permitieron obtener producción del cultivo de chile en el experimento de campo.

REFERENCIAS

- Baker R, Chet I (1982) Induction of Suppressiveness. En Schneider RW (Ed.). *Suppressive Soils and Plant Disease*. The American Phytopathological Society Press. St. Paul, MN, EEUU. pp. 35-50.
- Bautista-Calles J, García-Espinosa R, Pérez-Moreno J, Zavaleta-Mejía E, Montes-Belmont R, Ferrera-Cerrato R (2008) Inducción de supresividad a fitopatógenos del suelo. Un enfoque holístico al control biológico. *Interciencia* 33: 96-102.
- Campbell CL, Madden LV (1990) *Introduction to Plant Disease Epidemiology*. Wiley. Nueva York, NY, EEUU. 532 pp.
- Cook RJ (1982) Use of pathogen suppressive soils for disease control. En Schneider RW (Ed.) *Suppressive Soils and Plant Disease*. The American Phytopathological Society Press. St. Paul, MN, EEUU. pp: 51-65.
- Desai S, Reddy MS, Kloepper JW (2002). *Comprehensive Testing of Biocontrol Agents*. En Gnanamanickam SS (Ed.)

Biological Control of Crop Diseases. Dekker. Nueva York, NY, EEUU. pp. 387-420.

- Erwin DC, Ribeiro OK (1996) *Phytophthora. Diseases Worldwide*. The American Phytopathological Society Press. St. Paul, MN, EEUU. 562 pp.
- García ER (2000) Algunos trabajos en México sobre caracterización e inducción de supresividad de suelos a enfermedades de la raíz. En Quintero-Lizaola R, Reyna Trujillo T, Corlay-Chee L, Ibáñez-Huerta A, García Calderón NE (Eds.) *La Edafología y sus Perspectivas al Siglo XXI*. Universidad Nacional Autónoma de México-Colegio de Posgraduados-Universidad Autónoma Chapingo. México. pp. 306-317.
- García ER (2007) Control biológico y supresividad. En Ferrera CR, Alarcón A (Eds.) *Microbiología Agrícola para el Siglo XXI*. Trillas. México. pp. 328-341.
- Klement Z, Rudolph K, Sands DC (1990) *Methods In Phytobacteriology*. Académiai I Kiadó - Nyomda Vállalat. Budapest, Hungary. pp. 99-100.
- Lewin R (1992) Stability and the reality of Gaia. En *Complexity, Life at the Edge of Chaos*. Macmillan. Nueva York, EEUU. pp. 106-129.
- Mohammadi O (1992) Mycostop biofungicide-present status. En Tjamos EC, Papavizas GC, Cook RJ (Eds.) *Biological Control of Plant Diseases: Progress and Challenges for the Future*. NATO Advanced Science Institutes Series. Nueva York, NY, EEUU. pp: 207-210.
- Paulitz TC, Bélanger RR (2001) Biological control in greenhouse systems. *Annu. Rev. Phytopathol.* 39: 103-133.
- Steiner GW, Watson RD (1965) Use of surfactants in the soil dilution and plate count method. *Phytopathology* 55: 728-730.
- Warrior P, Konduru K, Vasudevan P (2002) Formulation of biological control agents for pest and disease management. En Gnanamanickam SS (Ed.) *Biological Control of Crop Diseases*. Dekker. Nueva York, NY, EEUU. pp. 421-441.
- Zentmyer GA (1980). *Phytophthora cinnamomi and the Disease it Causes*. Monograph N° 10. The American Phytopathological Society. St. Paul, MN, EEUU. pp. 72-96.