

DISMINUCIÓN DE LA MARCHITEZ DEL CHILE POR INTRODUCCIÓN DE ANTAGONISTAS EN CULTIVOS DE ROTACIÓN

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

RESUMEN

El control biológico de fitopatógenos con origen edáfico se ha intentado por reintroducción de aislamientos individuales de antagonistas en cantidades aumentadas al suelo, pero esta búsqueda reduccionista, regularmente ha resultado inefectiva. Este trabajo, con enfoque holístico, probó diferentes consorcios de antagonistas a *Phytophthora capsici* con complejidad ascendente (de 8, 16, 24 y 32 aislamientos) de diferente grupo taxonómico y modo de acción. Para la reintroducción al suelo de los consorcios y reducir la incidencia de la marchitez del chile (*Capsicum annuum*) en el segundo ciclo, se empleó como vehículo: la rizosfera de cultivos de rotación (*Mucuna deeringiana* o *Pachyrizus erosus*). En el invernadero, algunos tratamientos que

tuvieron en común un grupo de ocho antagonistas (actinomicetos antibióticos) presentaron la menor incidencia ($p \leq 0,05$) de la marchitez en el segundo ciclo y no fue la cantidad ni la diversidad de antagonistas lo que influyó para que emergiera la supresividad, sino las características propias de cada complejo en el sistema edáfico probado. En campo, el empleo del sustrato con mayor complejidad de antagonistas cambió el comportamiento del patosistema *P. capsici*-chile, al permitir el establecimiento y producción del chile en el segundo ciclo. La rotación con leguminosas, por sí sola, permitió una mayor producción ($p \leq 0,05$) del cultivo de chile.

Introducción

En México, la marchitez del chile (*Capsicum annuum*) inducida por *Phytophthora*

capsici es considerada la enfermedad más importante del cultivo (Guigón y González, 2001). La táctica de manejo más utilizada contra la en-

fermedad ha sido el uso de fungicidas, sin resultados efectivos (Papavizas y Bowers, 1981; Cohen y Coffey, 1986; Hwang y Sung, 1989; Oui-

mette y Coffey, 1989, Erwin y Ribeiro, 1996). Solo han mostrado efectividad algunos fumigantes de suelo altamente tóxicos, como el bromuro

PALABRAS CLAVE / Control Biológico / Homeostasis del Suelo / *Mucuna deeringiana* / *Pachyrizus erosus* / *Phytophthora capsici* /

Recibido: 03/08/2009. Modificado: 25/06/2010. Aceptado: 26/07/2010.

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., Puebla, México. CP 72230. e-mail: bjuliana@colpos.mx

Roberto García-Espinosa. Ph.D., University of Florida, EEUU. 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.

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.

Ronald Ferrera-Cerrato. Doctor en Ciencias, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN,

México. Profesor Investigador COLPOS, Montecillo, México.

Rubén García de la Cruz. Maestro en Ciencias, COLPOS, México. Profesor Investigador, COLPOS, Tabasco, México.

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

DECREASE OF CHILI PEPPER WILT BY INTRODUCTION OF ANTAGONISTS IN CROP ROTATION

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

SUMMARY

Biological control of soil-borne diseases has been attempted by reintroduction of single isolate of antagonistic in increased amounts to the soil, but this reductionist approach has proven ineffective. This work, with a holistic approach, tested different antagonist consortia to *Phytophthora capsici* with increasing complexity (8, 16, 24 and 32 isolates) of different taxonomic groups and modes of action. For reintroduction of the consortia to the soil and reduction of the incidence of wilt in chili pepper (*Capsicum annuum*), the rhizosphere of a crop rotation (*Mucuna deeringiana* or *Pachyrizus erosus*) was used as a vehicle in the second cycle. In the greenhouse,

some treatments that had in common a group of eight antagonists (actinomycetes antibiotics) had the lowest incidence ($p \leq 0.05$) of wilt in the second cycle. It was not the quantity nor the diversity of antagonists that determined the suppressiveness emergence, but the characteristics of each complex in the soil system tested. In the field, the use of more complex substrate with antagonists changed the behavior of the pathosystem *P. capsici*-chili pepper, allowing the establishment and production of chili in the second cycle. The rotation with legumes, by itself, allowed for a greater production ($p \leq 0.05$) of chili peppers.

DIMINUIÇÃO DA MURCHAMENTO DO CHILE POR INTRODUÇÃO DE ANTAGONISTAS EM CULTIVOS DE ROTAÇÃO

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

RESUMO

Para o controle biológico de fitopatógenos com origem edáfico tem sido realizadas experiências por reintrodução de isolamentos individuais de antagonistas no solo em quantidades aumentadas, mas esta busca reducionista, regularmente tem resultado ineficaz. Este trabalho, com enfoque holístico, provou diferentes consórcios de antagonistas a *Phytophthora capsici* com complexidade ascendente (de 8, 16, 24 e 32 isolamentos) de diferente grupo taxonômico e modo de ação. Para a reintrodução ao solo dos consórcios e reduzir a incidência do murchamento do chile (*Capsicum annuum*) no segundo ciclo, foi empregado como veículo: a rizosfera de cultivos de rotação (*Mucuna deeringiana* ou *Pachyrizus erosus*). Na es-

tufa, alguns tratamentos que tiveram em comum um grupo de oito antagonistas (actinomicetos antibióticos) apresentaram a menor incidência ($p \leq 0,05$) de murchamento no segundo ciclo, não foi a quantidade nem a diversidade de antagonistas o que influenciou para que emergera a supressividade, e sim as características próprias de cada complexo no sistema edáfico provado. Em campo, o emprego do substrato com maior complexidade de antagonistas mudou o comportamento do patossistema *P. capsici*-chile, ao permitir o estabelecimento e produção do chile no segundo ciclo. A rotação com leguminosas, por si só, permitiu uma maior produção ($p \leq 0,05$) do cultivo de chile.

de metilo, pero su uso condiciona no solo dependencia del agroecosistema para el tratamiento; además es uno de los destructores de la capa de ozono de la atmósfera, y crea problemas de contaminación (Chellemi, 2002). Este trabajo de control biológico bajo el enfoque holístico alejado de la búsqueda del control biológico convencional, se realizó en el marco de la búsqueda de alternativas al bromuro de metilo.

La búsqueda de estrategias de control biológico para fitopatógenos con origen en el suelo ha enfatizado la utilización de organismos antagónicos, pero con frecuencia de manera reduccionista, buscando un antagonista para cada especie patogénica, ignorando

el hecho de que estos patógenos nunca están solos en el suelo y su forma de acción es siempre en interacción con otros microorganismos; es decir, trabajan como complejos patogénicos que utilizan las oportunidades que el ambiente edáfico les proporciona para inducir patogénesis.

Por ser la marchitez del chile una enfermedad con origen en el suelo, es de elevada complejidad y debe ser considerada y manejada como el resultado de numerosas interacciones entre los microorganismos del suelo, la planta, el ambiente y el manejo del cultivo, y no como si se tratara de una relación causa-efecto.

El control biológico con enfoque holístico se centra en una propiedad emergente del

sistema edáfico, la supresividad (Batista-Calles *et al.*, 2008). Esta propiedad es explicada por la homeostasis de los ecosistemas estables, es decir la capacidad de resistir a cambios tales como la introducción de especies externas (Baker y Chet, 1982; Cook, 1982). Un suelo supresor es aquel donde un patógeno no puede establecerse, y de hacerlo causa daños mínimos o inicialmente severos que disminuyen con el monocultivo continuo (Hornby, 1979; Schneider, 1982). La existencia de suelos supresores a enfermedades ha motivado a investigar si esta propiedad emergente puede ser inducida.

En México, se ha documentado que en la rotación de cultivos con leguminosas la

supresividad puede ser inducida, al introducir diferentes consorcios de antagonistas (aislados de suelos supresores) en el sustrato de germinación de la leguminosa, como por ejemplo *Mucuna deeringiana*, conocida comúnmente como frijol terciopelo y empleada usualmente en la rotación de cultivos (García, 1998, 2007). En el sureste y sur del país la rotación de cultivos, los cultivos asociados y los cultivos de cobertura son estrategias de manejo que reducen la incidencia de enfermedades inducidas por patógenos con origen en el suelo (*Pythium* y *Phytophthora*). Además, aumentan la fertilidad del suelo y reducen el número de malezas, especialmente cuando se utilizan leguminosas como

Mucuna sp., *Canavalia* sp., *Pueraria* sp. y *Cajanus* sp. (Maciel y García, 1986; Granados *et al.*, 1990; Quiroga *et al.*, 1992; Hernández *et al.*, 2003; García de la Cruz *et al.*, 2005).

La jícama (*Pachyrizus erosus* [Lynd y Porcino, 1987]), es una especie de leguminosa que además de aportar fijación de nitrógeno al suelo, tiene la ventaja adicional de adaptarse a condiciones subtropicales tolerando bajas temperaturas, lo que le permite ser usada en un rango de cultivo mucho más amplio que sus parientes tropicales y hace posible su expansión hacia latitudes más elevadas en ambos hemisferios.

Briggs y Peat (1989) aseveran que si se pretende lograr cambios profundos en el funcionamiento de un sistema, se deben realizar cambios profundos en su estructura. Producir cambios profundos significa introducir antagonistas en la rizosfera de los cultivos empleados en rotación para disminuir la incidencia de *P. capsici* en el chile. Ante la imposibilidad aparente de lograr que un solo antagonista, aunque aplicado en grandes cantidades, se establezca en el suelo y funcione contra *P. capsici*, se plantea que el establecimiento de antagonistas con complejidad ascendente de diversos microorganismos: (hongos, bacterias y actinomicetos) con diferente acción fisiológica (antibiósis o micoparasitismo) contra *P. capsici* se logra de manera más eficiente introduciéndolos en los sustratos de germinación de los cultivos en rotación.

El objetivo de este trabajo fue disminuir la marchitez del chile al introducir antagonistas, en complejidad ascendente, a los sustratos de germinación de los cultivos en rotación.

Materiales y Métodos

Se establecieron tres experimentos entre 2003 y 2005, a saber: 1) El 17/07/2003 en un campo ubicado en Yautepec, Morelos, México, se es-

TABLA I
ANTAGONISTAS EMPLEADOS EN LOS EXPERIMENTOS DE INVERNADERO EN MONTECILLO, Y EN CAMPO, EN MORELOS Y TABASCO (2003-2005)

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.

tableció un experimento para probar el efecto de la mayor complejidad de antagonistas introducidos en los sustratos de germinación de dos leguminosas, una especie cultivada en la zona (jícama) y otra empleada en zonas tropicales ("Mucuna" o frijol terciopelo). 2) El 29/05/2004 en un invernadero ubicado en Montecillo, México, se estableció un experimento para evaluar el efecto de la complejidad ascendente de (0, 8, 16, 24 y 32) antagonistas introducidos en los sustratos de germinación del frijol terciopelo sobre la incidencia y daños de *P. capsici* en el segundo ciclo del cultivo. 3) El 13/05/2005 en un campo ubicado en el ejido "La Esperanza" Huimanguillo, Tabasco, México, se estableció un experimento para determinar el efecto del sustrato de germinación con mayor complejidad de antagonistas en el frijol terciopelo. Los tres experimentos se establecieron bajo un diseño completamente al azar, con dos ciclos de cultivo, sembrando primero la leguminosa correspondiente y luego el cultivo de importancia económica, el chile.

Selección y multiplicación de antagonistas

Se seleccionaron 32 aislamientos de antagonistas con base en el tipo de actividad observada (antibiósis o micoparasitismo) sobre *Phytophthora capsici*. Los aislamientos seleccionados pertenecen a cuatro grupos

(Tabla I): BA (bacterias antibióticas), AA (actinomicetos antibióticos), HA (hongos antibióticos), y HM (hongos micoparasitos). Cada aislamiento se multiplicó en frascos conservadores esterilizados contentivos de suelo estéril y un mes después se estimó para cada frasco el número de unidades formadoras de colonias (UFC) de antagonistas por g de suelo. El conteo de UFC de bacterias, actinomicetos y hongos se realizó por triplicado mediante la técnica de dilución seriada y conteo en placa de agar (Klement *et al.*, 1990).

Para el crecimiento de bacterias se utilizó el medio Agar Nutritivo®; para actinomicetos se empleó Agar Nutritivo® basificado ajustado a pH 11 con hidróxido de potasio; y para hongos el medio utilizado por Steiner y Watson (1965) a base de papa dextrosa Agar (PDA®), surfactante (Tergitol®) y estreptomina. Las cajas se incubaron a 28°C 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.

Preparación de sustratos de germinación

Sustrato base. Se denominó así al sustrato empleado para todos los tratamientos con y sin antagonistas. Se empleó suelo de monte mezclado con polvo de coco en una rela-

ción peso: peso 20:1 y pH 6.5. Ambos componentes se utilizaron por ser materiales orgánicos, y específicamente el polvo de coco por ser un material que retiene la humedad, proporciona aireación y buen drenaje al sustrato. La mezcla se humedeció a capacidad de campo y por cada kg se adicionó 1g de urea.

Una vez preparado el sustrato base se colocó en costales de 50kg y se esterilizó a 100°C durante 6h por 2 días consecutivos. En todos los casos, los sustratos fueron sembrados con los antagonistas en cuanto su temperatura bajó a la temperatura del ambiente en el laboratorio.

Sustratos con complejidad ascendente de antagonistas. Al sustrato base se adicionaron los antagonistas multiplicados previamente en los frascos conservadores (Tabla II). Primero se prepararon cuatro sustratos de 44kg cada uno, inoculando en cada sustrato 8 microorganismos antagonistas ubicados de acuerdo a su grupo taxonómico y fisiológico (BA, AA, HA y HM). Los cuatro sustratos con complejidad de 8 microorganismos sirvieron de base para obtener los sustratos con 16, 24 y 32 antagonistas, para esto 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 cada uno para formar los sustratos con 24 (BA-AA-HA, BA-AA-HM, BA-HA-HM y AA-HA-HM) y tres kg cada uno para formar el sustrato con 32 antagonistas (BA-AA-HA-HM).

La evaluación del número promedio de UFC por antagonistas se obtuvo del conteo de los microorganismos crecidos en cuatro cajas de Petri contenitiva del medio de cultivo respectivo. Este conteo se realizó a los 15 días de haber formado todos los complejos (Tabla II). El procedimiento se realizó en dos ocasiones: 1) para el experimento de Morelos, y 2) para los experimentos en invernadero y en

campo ubicados en Tabasco. Para el experimento en invernadero se emplearon los 16 sustratos de germinación (Tabla III) y para los experimentos en campo se utilizaron dos sustratos, el testigo (sustrato sin antagonistas) y el consorcio con 32 antagonistas a *P. capsici*.

Inóculo infectivo. Se prepararon matraces con 200g de grano de sorgo cubiertos con agar agua al 2% enriquecido con 250ml de jugo V8. En cada matraz se adicionó una rodaja de PDA con la cepa PC105 de *P. capsici*, aislada de plantas de chile enfermo provenientes de los Valles Centrales de Oaxaca. Después de 30 días, los granos de sorgo sirvieron para infestar el suelo únicamente en los experimentos en el campo ubicado en Morelos e invernadero, usando 200 y 20g por unidad experimental, respectivamente.

Experimento en invernadero

Para el establecimiento de los 16 tratamientos con sus cuatro repeticiones en el primer ciclo, se sembraron semillas de frijol terciopelo en almácigos con cada uno de los 16 sustratos de germinación (Tabla III). Luego, las plántulas de frijol terciopelo obtenidas fueron transplantadas a macetas de 5kg con suelo no esterilizado. Cada unidad experimental estuvo formada por una maceta con cinco plántulas y el testigo absoluto consistió de plantas de frijol terciopelo que no fueron inoculadas con *P. capsici*.

El 08/05/2004 se realizó la inoculación con *P. capsici*,

TABLA II
POBLACIÓN DE ANTAGONISTAS (UFC×10⁶g⁻¹ DE SUELO) EN LOS SUSTRATOS EMPLEADOS EN LOS EXPERIMENTOS ESTABLECIDOS EN INVERNADERO (2004) Y EN CAMPO (2003 Y 2005)

Grupos	Aislamientos de antagonistas	Unidades formadoras de colonia (UFC) x 10 ⁶ g ⁻¹ de suelo*			
		Morelos		Invernadero y Tabasco	
		Poblaciones iniciales	Poblaciones finales	Poblaciones iniciales	Poblaciones finales
1) BA	1) B1	1813	220	125	89
	2) B2	1005	108	142	264
	3) B4.1	1902	105	57	110
	4) B13.2	913	384	60	497
	5) B15.1	808	1106	904	118
	6) B19	2018	275	82	2312
	7) B29	1347	473	99	204
	8) B29.1	796	309	44	676
2) AA	1) A1	283	796	69	911
	2) A2	304	281	37	778
	3) A13	208	692	95	114
	4) AP13	643	648	194	1045
	5) A37	394	284	22	237
	6) A44	640	412	394	1147
	7) A51	298	260	118	658
	8) A53	386	381	1044	415
3) HA	1) H05	133	120	212	71
	2) H24	141	12	514	96
	3) H34	124	260	52	111
	4) H58	12	128	167	90
	5) H63	92	78	48	58
	6) H69	134	92	143	22
	7) H74	68	16	288	31
	8) H77	163	82	159	80
4) HM	1) H20	51	23	183	94
	2) H40	79	12	589	53
	3) H41	184	123	2010	17
	4) H43	20	142	2231	102
	5) H49	97	20	49	29
	6) H62	120	280	366	194
	7) H70	13	7	62	28
	8) H75	94	120	209	19

* Promedio de tres repeticiones.

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

ci, empleando 20g de inóculo por cada maceta y, a su vez, se hizo el transplante de las plántulas de frijol terciopelo. Dos meses después, se cortaron las plantas de frijol terciopelo al ras del suelo y se dejaron como cubierta del suelo para el siguiente ciclo.

Para el segundo ciclo se transplantaron en cada una de las macetas, cinco plántulas de chile (*C. annuum*) germinadas en sustrato sin antagonistas. Se registró la incidencia de la marchitez del chile cada 7 días a partir del transplante y hasta el primer corte de frutos, así como el rendimiento del cultivo.

Experimentos en campo

Experimento en Morelos. Se sembraron almácigos de frijol terciopelo (*M. deerin-giana*), jícama (*P. erosus*) y chile (*C. annuum*) en charolas de unicel de 200 cavidades. Se emplearon dos sustratos, sin antagonistas y con un consorcio de 32 antagonistas. Se establecieron seis tratamientos en el primer ciclo, estando formada cada unidad experimental por tres surcos de 1m de longitud, con una distancia entre surcos de 30cm y 20cm entre plantas de frijol terciopelo, jícama o chile (sin antago-

nistas y con 32 antagonistas), con 18 repeticiones.

El transplante a campo de las leguminosas se realizó el 17/07/2003 y el de chile "criollo Morelos" el 29/07/2003. Al término del primer ciclo las leguminosas aportaron gran cantidad de materia orgánica por dejarse los residuos como cobertura para el siguiente ciclo. Para el segundo ciclo, se transplantó el chile (sin antagonistas) el 6/12/2003 en todas las parcelas. Se evaluó la incidencia de la marchitez del chile cada 15 días a partir del transplante y hasta el primer corte de frutos, y el rendimiento del cultivo y el peso seco de las plantas al final del ciclo del cultivo.

Experimento en Tabasco. En el primer ciclo se estableció el cultivo de maíz en todas las parcelas. Se establecieron tres tratamientos: i) parcelas sin rotación y sin antagonistas, solo el cultivo de maíz (testigo regional), ii) parcelas de frijol terciopelo germinadas en sustrato con antagonistas e intercaladas con el cultivo de maíz, y iii) parcelas de frijol terciopelo sin antagonistas, intercaladas con el cultivo de maíz. Cada tratamiento con tres repeticiones; la unidad experimental estuvo formada por cuatro surcos de 6m de longitud, 1m entre surcos y 30cm entre plantas de frijol terciopelo.

El maíz se sembró el 13/05/2005 y se cosechó el 15/08/2005, mientras que el transplante de las leguminosas se hizo el 15/05/2005. Las leguminosas se cortaron y sus residuos se dejaron como cobertura para el siguiente ciclo. Para el segundo ciclo, el 16 de octubre, se transplantaron plántulas de chile habanero (*C. chinense*), sin antagonistas en todas las parcelas, a una distancia entre plantas de 40cm (intercalado con piña, sembrada una semana antes) y a una distancia entre plantas de 30cm. Se registró la incidencia de la marchitez del chile a los 30 días después del transplante y hasta el pri-

mer corte de frutos, así como el rendimiento del cultivo al final del ciclo.

Los datos de cada variable evaluada en los experimentos fueron sometidos a análisis de varianza y cuando éste indicó diferencias significativas estadísticas, se hizo la comparación de medias entre tratamientos con la prueba de Tukey ($\alpha=0,05$).

Resultados

Experimento en invernadero

Incidencia de *P. capsici* en *M. deeringiana* (primer ciclo). En el frijol terciopelo se observó la menor incidencia ($p\leq 0,05$) de marchitez del chile por *P. capsici* en los tratamientos AA (10%), AA-HM (35%) y AA-HA-HM (35%), respecto a los otros tratamientos (Figura 1).

Incidencia de *P. capsici* en chile (segundo ciclo). El tratamiento AA fue el único que no presentó incidencia de marchitez del chile ($p\leq 0,05$), el resto de los tratamientos mostraron una incidencia variable desde 30 hasta 60% (Figura 1).

Experimentos en campo

Experimento en Morelos. Las leguminosas germinadas en sustrato con antagonistas registraron mayor peso seco ($p\leq 0,05$) que el resto de los tratamientos (Tabla IV), observándose el mayor peso seco de las plantas de chile ($p\leq 0,05$) en el tratamiento donde se realizó rotación con jícama y se empleó el sustrato con antagonistas. A su vez, el menor peso seco de las plantas ($p\leq 0,05$) correspondió a los tra-

TABLA III
TRATAMIENTOS, SUSTRATOS DE GERMINACIÓN CON COMPLEJIDAD ASCENDENTE DE ANTAGONISTAS, EMPLEADOS EN LOS EXPERIMENTOS DE INVERNADERO

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 y 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) BA-AA-HA-HM (bacterias, actinomicetos y hongos atagonistas más hongos micoparasíticos)*	4	32

* Tratamientos empleados en campo

tamientos donde no se realizó rotación con leguminosas.

El empleo de leguminosas germinadas en sustratos con la complejidad de antagonistas, favoreció la disminución de la incidencia de *P. capsici* durante el segundo ciclo de

cultivo. La menor incidencia ($p\leq 0,05$) se observó en los tratamientos donde previamente se realizó rotación con cualquiera de las leguminosas, mientras que en los tratamientos sin antagonistas la incidencia de la marchitez del

chile fue mayor, al menos numéricamente, aunque no mostraron diferencias significativas estadísticas entre tratamientos (Tabla IV). El rendimiento del chile fue mayor estadísticamente ($p\leq 0,05$) en los tratamientos donde se realizó rotación de leguminosas previamente germinadas en el sustrato con 32 antagonistas (Tabla IV).

Experimento en Tabasco. En los tratamientos en que se realizó rotación con frijol terciopelo (*M. deeringiana*) la incidencia de la marchitez disminuyó ($p\leq 0,05$) en el cultivo de chile (*C. chinense*) (Tabla V). Con respecto al rendimiento,

no se observaron diferencias estadísticas ($p\leq 0,05$) entre los tratamientos donde se emplearon los antagonistas de los tratamientos sin ellos (Tabla V).

Discusión

En el invernadero (Figura 1), de manera general, se observó la disminución en la incidencia de marchitez en chile después de la rotación con frijol terciopelo (*M. deeringiana*). Los resultados muestran que los complejos de antagonistas que logran persistir en el sistema (establecerse y reducir la incidencia de *P. capsici*) no son necesariamente los que tienen mayor diversidad de aislamientos, sino aquellos complejos que logran establecerse en el suelo a través de sus propios mecanismos, como se observa en este trabajo

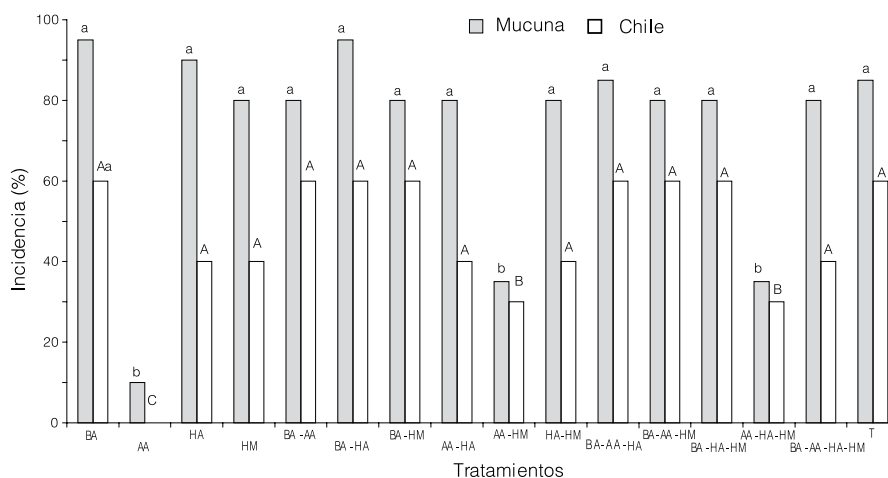


Figura 1. Incidencia de la marchitez durante el ciclo de rotación con frijol terciopelo (*Mucuna deeringiana*) y el ciclo del cultivo de chile en invernadero.

Mucuna. Incidencia de *P. capsici* en *Mucuna deeringiana*, la DMS=0,4005. Las diferencias estadísticas se indican con letras minúsculas.

Chile. Incidencia de *P. capsici* en chile, la DMS=0,376. Las diferencias estadísticas se indican con letras mayúsculas, las medias con diferente letra, entre los experimentos, son diferentes ($p\leq 0,05$). BA: bacterias antibióticas, AA: actinomicetos antibióticos, HA: hongos antibióticos, HM: hongos micoparasíticos.

con algunos tratamientos que incluyeron el grupo de actinomicetos aislados de suelos supresores a *Phytophthora* sp.

En Morelos se observó el efecto benéfico de la sola rotación con leguminosas. La introducción de antagonistas en los sustratos de germinación no parece ser convincente, debido a que los efectos benéficos de los antagonistas se aprecian solo de manera indirecta. Estos resultados difieren de los obtenidos en otro experimento realizado en campo (Bautista-Calles *et al.*, 2010) en donde no se realizó una rotación de cultivos previa al cultivo de chile, y donde el chile germinado en sustratos de germinación con cualquier complejidad (8, 16, 24 y 32) de antagonistas redujo la incidencia de la marchitez del chile comparados con el tratamiento sin antagonistas.

P. capsici, induce marchitez y muerte de plantas como manifestación extrema de su parasitismo, pero cuando enfrenta resistencias, como puede ser en este caso el antagonismo microbiano o la rotación de cultivos, resulta en una disminución de pudrición de raíces y finalmente permite la producción del hospedante. Sin embargo, es evidente que el comportamiento de los consorcios varía según el ambiente edáfico.

En Tabasco, la productividad del cultivo de chile se incrementó en el segundo ciclo posterior a la rotación con frijol terciopelo (*M. deeringiana*), independientemente de la presencia de los antagonistas. Se puede inferir que es posible una productividad sostenida con esta práctica y se confirman resultados de trabajos donde se ha comprobado la efectividad de ciertas rotaciones con leguminosas tropicales en la recuperación de la productividad de ciertos agroecosistemas, observándose también reducción en la incidencia y daños de patógenos de la raíz en dichos cultivos (Maciel y García, 1986; Granados *et al.*, 1990; Quiroga *et*

TABLE IV
INCIDENCIA DE *P. capsici*, RENDIMIENTO PESO SECO DE LA PLANTA DEL CHILE EN EL SEGUNDO CICLO DE CULTIVO EN MORELOS (2004)

Tratamiento	Incidencia (%)	Rendimiento (g)	Peso seco (g) [¶]
Frijol terciopelo con antagonistas/ chile	11,98 b	225,84 a	130,82 ab
Frijol terciopelo sin antagonistas/ chile	20,85 b	171,33 b	104,15 b
Jícama con antagonistas/ chile	18,76 b	242,03 a	148,13 a
Jícama sin antagonistas/ chile	25,54 b	176,14 b	119,94 ab
Chile con antagonistas/ chile	45,29 a	62,81 c	58,94 c
Chile sin antagonistas/ chile	45,41 a	62,76 c	58,67 c
DMS	15,528	40,612	36,076

[†] Medias con diferente letra en la misma columna, son diferentes ($p \leq 0,05$).

[¶] Promedio de tres cortes.

TABLE V
RENDIMIENTO E INCIDENCIA DE MARCHITEZ EN EL CULTIVO DE CHILE PARA EL SEGUNDO CICLO EN TABASCO (2005)

Tratamientos	Incidencia (%)	Rendimiento (g)*
Maíz con rotación y con antagonistas/ chile	33 b	5803 a
Maíz con rotación y sin antagonistas/ chile	15 c	6537 a
Maíz sin rotación y sin antagonistas/ chile	41 a	3318 b

* Promedio de cinco cortes.

al., 1992; García *et al.*, 1994; Hernández *et al.*, 2003; García de la Cruz *et al.*, 2005).

En Morelos y Tabasco, los tratamientos con rotación de leguminosas germinadas previamente en los sustratos con 32 antagonistas mostraron resultados contrastantes. Mientras que en Morelos se redujo la incidencia de marchitez del chile de manera indirecta, en Tabasco la presencia del consorcio de 32 antagonistas no favoreció la disminución de la incidencia de la enfermedad. Lo anterior se atribuye en parte a las condiciones ambientales diferentes entre ambos agroecosistemas, aunado a inconvenientes de manejo del cultivo en Tabasco, tales como el retraso (de 3 semanas) de la época de lluvia posterior al trasplante del chile, lo que obligó a realizar riegos y resultó en estrés por falta de agua y en un gran número de plántulas muertas.

El efecto por la introducción de los antagonistas en los sustratos de germinación de los cultivos se evidenció al frenar la destrucción de la raíz en las plantas, la reducción de la incidencia con algunos consorcios de antagonistas probados en el invernadero, o induciendo su-

presividad con el consorcio de mayor complejidad probado en al menos uno de los experimentos en campo, en Morelos. Ello permitió cambiar el comportamiento general del patosistema *P. capsici*-chile para el segundo ciclo, reduciendo la incidencia y daños por la enfermedad y permitiendo el establecimiento del cultivo y la producción del chile en los experimentos de campo.

Los resultados obtenidos indican que las estrategias empleadas, tales como la rotación de cultivos y la introducción de consorcios de antagonistas en los sustratos de germinación, son prometedoras por permitir disminuir la incidencia de *P. capsici* en el cultivo de chile.

Desde el punto de vista práctico y económico, es evidente la necesidad de evaluar el efecto de estos tratamientos durante varios ciclos del cultivo (por más de 2 años), para lograr el equilibrio de los consorcios de antagonistas y lograr así un control eficiente de la marchitez del chile. El estudio debe ser ampliado empleando cultivos en rotación más adecuados a cada zona donde se pretendan establecer los experimentos en campo, enfatizando los beneficios de los cultivos en rotación, que aún sin consorcios

de antagonistas, mostraron reducción en la incidencia de la marchitez del chile y ofrecen expectativas considerables para lograr inducir supresividad por el hecho de que la rotación en sí es un cambio profundo en la estructura del patosistema *P. capsici*-chile.

Conclusión

Bajo las condiciones en que se desarrollaron los experimentos, los consorcios de antagonistas introducidos en los sustratos de germinación de los cultivos en rotación disminuyeron la incidencia de la marchitez del chile en el segundo ciclo de cultivo.

En invernadero, el éxito de los complejos de antagonistas no fue determinado por su número o diversidad sino por las características propias del consorcio empleado.

En campo, la rotación con leguminosas por sí sola en el primer ciclo, disminuyó la incidencia de la marchitez del chile ($p \leq 0,05$) e incrementó el rendimiento ($p \leq 0,05$) del cultivo para el segundo ciclo.

En al menos uno de los experimentos de campo, en Morelos, se observó una disminución de la incidencia de la marchitez del chile cuando el cultivo previo fue una leguminosa germinada en el sustrato con antagonistas y ello se reflejó en un incremento ($p \leq 0,05$) en la producción del chile.

La estructura general del patosistema *P. capsici*-chile sufrió un cambio por la introducción al suelo de complejos de antagonistas asociado a la rizosfera a través de los cultivos en rotación, y aun cuando no se reguló el comportamiento del patógeno, sí se indujeron cambios en el comportamiento del patosistema que favoreció el establecimiento y producción del chile en el segundo ciclo.

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.
- Bautista-Calles J, García-Espinosa R, Zavaleta-Mejía E, Pérez-Moreno J, Montes-Belmont R, Ferrera-Cerrato R, Huerta-Lara M (2010) Disminución de la marchitez del chile (*Phytophthora capsici* Leo) con la aplicación de complejidad ascendente de antagonistas al sustrato de germinación del chile (*Capsicum annuum* L.). *Interciencia* 35: 613-618.
- Briggs J, Peat FD (1989) *Espejo y Reflejo, del Caos al Orden*. Gedisa. Barcelona, España. 222 pp.
- Chellemi DO (2002) Nonchemical management of soilborne pest in fresh market vegetable production systems. *Phytopathology* 92: 1367-1372.
- Cohen Y, Coffey MD (1986) *Systemic fungicides and the control of Oomycetes*. *Annu. Rev. Phytopathol.* 24: 311-338.
- 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.
- Erwin DC, Ribeiro OK (1996) *Phytophthora. Diseases Worldwide*. The American Phytopathological Society Press. St. Paul, MN, EEUU. 562 pp.
- García de la Cruz R, Palma-López DJ, García-Espinosa R, Rodríguez-Guzmán MP, González-Hernández H (2005) Effect of legumes rotation on pineapple root disease in Huimanguillo, Tabasco, México. *Acta Hort.* 666: 247-256.
- García ER (1998) Important biological components to be included in the search for alternatives to the use of methyl bromide in Mexico. En *Annu. Int. Res. Conf. on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions*. Orlando, FL, EEUU. pp. 7-1 y 7-2.
- García ER (2007) Control biológico y supresividad. En Ferrera CR, Alarcón A (Eds.) *Microbiología Agrícola para el Siglo XXI*. Trillas. México. pp. 328-341.
- García ER, Quiroga MR, Granados AN (1994) Agroecosistemas de productividad sostenida de maíz, en las regiones cálido húmedas de México. En Thurston HD, Smith M, Abawi G, Kearn S (Eds.) *Tapado: Los Sistemas de Siembra con Cobertura*. CATIE - CIIFAD. Itaca, NY, EEUU. pp. 65-79.
- Granados AN, García ER, Zavaleta ME, Ferrera CR, Castillo MA, Cid del Prado VI, Rodríguez GMP (1990) Pérdidas de grano por fitopatógenos del suelo en maíz monocultivado o rotado con leguminosas de cobertura en Tabasco, México. *Rev. Mex. Fitopatol.* 8: 135-144.
- Guigón C, González AP (2001) Estudio regional de las enfermedades del chile (*Capsicum annuum* L.) y su comportamiento temporal en el sur de Chihuahua, México. *Rev. Mex. Fitopatol.* 19: 49-56.
- Hernández MJ, García ER, Calvillo VJA (2003) Prácticas alternativas para bajar la incidencia de fitopatógenos e incrementar la fertilidad del suelo en el sistema de cultivo maíz jamaica en Tecomanapa Gro. *Guerrero Produce* 4: 4-6.
- Hornby D (1979) Take-all decline: a theorist's paradise. En Schippers B, Gams W (Eds.) *Soil-Borne Plant Pathogens*. Academic Press. Nueva York, NY, EEUU. pp. 133-156.
- Hwang BK, Sung NK (1989) Effect of Metalaxyl on capsidiol production in steam of pepper plants infected with *Phytophthora capsici*. *Plant Dis.* 73: 748-751.
- Klement Z, Rudolph K, Sands DC (1990) *Methods In Phyto bacteriology*. Akadémiai Kiadó - Nyomda Vállalat. Budapest, Hungary. pp. 99-100.
- Lynd JQ, Porcino AA (1987) Effects of soil fertility on growth, tuber yield, nodulation and nitrogen fixation of yam bean (*Pachyrhizus erosus* (L.) Urban) grown on a typic eutrustox. *J. Plant Nutr.* 10: 485-500.
- Maciel ID, García ER (1986) Efecto de la siembra previa de tres leguminosas tropicales sobre el cultivo del maíz y sus fitopatógenos del suelo. *Rev. Mex. Fitopatol.* 4: 98-108.
- Quimette DG, Coffey MD (1989) Comparative antifungal activity of four phosphonate compounds against isolates of nine *Phytophthora* species. *Phytopathology* 79: 761-767.
- Papavizas GC, Bowers JH (1981) Comparative fungitoxicity of captafol and metalaxyl to *Phytophthora capsici*. *Phytopathology* 71: 123-128.
- Quiroga MR, García ER, Zavaleta ME, Rodríguez GMP (1992) Impacto reducido del patosistema edáfico del maíz (*Zea mays* L.) en el sistema de rotación maíz-calabaza-frijol terciopelo (*Stizolobium deeringianum* Bort.) en Tabasco, México. *Rev. Mex. Fitopatol.* 10: 103-115.
- Schneider RW (1982) *Suppressive Soils and Plant Disease*. The American Phytopathological Society Press. St. Paul, MN, EEUU. 88 pp.
- Steiner GW, Watson RD (1965) Use of surfactants in the soil dilution and plate count method. *Phytopathology* 55: 728-730.