

Biocontrol de la marchitez del chile con tres especies de *Bacillus* y su efecto en el crecimiento y rendimiento

Biocontrol of pepper wilt with three *Bacillus* species and its effect on growth and yield

Hernández-Castillo FD¹, RH Lira-Saldivar², G Gallegos-Morales¹, M Hernández-Suárez¹, S Solis-Gaona²

Resumen. Uno de los problemas fitosanitarios más severos que enfrentan los productores de diversos tipos de chile en México y muchas partes del mundo es la marchitez de las plantas causada por diversos patógenos. Estos patógenos se combaten principalmente con agroquímicos sintéticos, provocando así un severo impacto ambiental, toxicidad a los humanos, generación de resistencia a fungicidas, y un incremento en los costos de producción. Debido a esto, surge la necesidad de encontrar opciones más amigables con los ecosistemas. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de biocontrol de tres cepas bacterianas rizosféricas del género *Bacillus* en la marchitez del chile. Estas cepas fueron inoculadas inicialmente a la raíz de plántulas de chile, y posteriormente al suelo de las macetas donde éstas se trasplantaron. Los resultados obtenidos revelaron que estas cepas inhibieron significativamente la actividad infectiva de los hongos fitopatógenos *Phytophthora capsici*, *Rhizoctonia solani* y *Fusarium oxysporum*, agentes causales de la marchitez de plantas de chile. Las cepas de *Bacillus* estimularon el crecimiento vegetativo, peso de raíz y frutos, y rendimiento total de plantas de chile; redujeron la incidencia y severidad de la enfermedad, y resultaron ser eficaces contra los fitopatógenos mencionados, en comparación con el fungicida sintético utilizado como testigo.

Palabras clave: Antagonismo; Bioplaguicidas; Rizobacterias; Control biológico; Promotores del crecimiento de plantas.

Abstract. One of the most severe phytosanitary problems that face chili pepper producers in Mexico, and in many other parts of the world, is the disease known as "secadera" or wilting, caused by diverse pathogens. These pathogens are mainly controlled with synthetic pesticides, thus causing a severe ecological impact, toxicity to humans, generation of plant resistance to fungicides, and increments of production costs. Because of this, it rises the need of finding more environmentally friendly options. We evaluated rhizospheric bacteria as a possible biological control of pepper wilt. We used three bacterial strains belonging to the *Bacillus* genera. These strains were initially inoculated to the root of pepper seedlings, and later to the substrate where the seedlings were transplanted to. Results showed that these strains significantly inhibited the infective action of *Phytophthora capsici*, *Rhizoctonia solani* and *Fusarium oxysporum*, fungi which cause pepper wilt. In addition, the *Bacillus* strains stimulated the vegetative growth; increased root and fruit weights and total yield; reduced the incidence and severity of the disease, and were more effective against the mentioned phytopathogens, in comparison to the synthetic fungicide used as a control.

Keywords: Antagonism; Biopesticides; Rhizobacteria; Biological control; Plant growth promoters.

¹ Departamento de Parasitología, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coah., México. C.P. 25315.

² Departamento de Agroplasticultura. Centro de Investigación en Química Aplicada, Saltillo, Coah., México. C.P. 25315.

Address Correspondence to: Dr. F. Daniel Hernández-Castillo, e-mail: fdanielhc@hotmail.com

Recibido / Received 19.II.2013. Aceptado / Accepted 12.VI.2013.

INTRODUCCIÓN

El síndrome patogénico de la enfermedad conocida como “marchitez del chile” (chile: *Capsicum annum* L.) provoca la muerte prematura de las plantas. Ésta es causada principalmente por una obstrucción de los haces vasculares, luego de ocurrir la infección por hongos fitopatógenos (ej., *Rhizoctonia solani*, *Phytophthora capsici* y *Fusarium oxysporum*) en las raíces o en la base del tallo, donde aparece una mancha marrón verdusca que posteriormente se ennegrece. El primer síntoma de esta enfermedad es un marchitamiento de las hojas sin cambios en su color, las cuales finalmente quedan colgadas de los pecíolos. Las raíces y tallos afectados muestran una pudrición suave, acuosa e inodora; los frutos anticipan su cambio a color rojo, los tallos continúan erguidos con las hojas colgantes y los frutos son secos y arrugados (González et al., 2002).

Esta enfermedad se encuentra presente en todo el mundo (Yu et al., 2010); en México se considera la más importante de este cultivo. Su presencia se ha reportado en todas las zonas productoras de chile, particularmente en los Estados de Aguascalientes, Guanajuato, San Luis Potosí, Zacatecas, Durango, Sinaloa, Sonora, Chihuahua, Querétaro, Hidalgo y Michoacán (García et al., 2000; Guigón y González 2001). En condiciones favorables, la enfermedad puede causar pérdidas económicas devastadoras, habiendo lugares con daños de hasta el 100%. En entidades como Aguascalientes y San Luis Potosí, la superficie total de siembra de chile se ha reducido en un 60% por causa de este problema (Morales et al., 2002; Rodríguez et al., 2004).

Se ha intentado controlar la enfermedad mediante diversas opciones que incluyen prácticas agronómicas, uso de variedades resistentes y agroquímicos sintéticos, principalmente fungicidas, los cuales resultan ser muy dañinos para la salud humana y los ecosistemas, sin que con esto se pueda eliminar el problema. En los últimos años, el control biológico mediante organismos antagonistas se advierte como una valiosa herramienta para la protección de este y otros cultivos hortícolas contra hongos fitopatógenos (Hernández-Suárez et al., 2011). Los objetivos de este trabajo fueron analizar el efecto de tres cepas bacterianas del género *Bacillus* (*B. amyloliquefaciens*, *B. licheniformis* y *B. subtilis*) como agentes de biocontrol contra la marchitez o secadera del cultivo de chile, y determinar su efecto en la promoción del crecimiento y rendimiento de chile jalapeño cv. Tampiqueño en condiciones de invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo del suelo y aislamiento de las bacterias. Se tomaron muestras de suelo de 500 g de la rizósfera de plantas de chile sanas de lotes comerciales en los estados de Nuevo León, Tamaulipas y San Luis Potosí, en el norte de México. Las muestras se trasladaron al laboratorio donde se mantuvieron en refri-

geración a 5 °C. Para el aislamiento de las bacterias esporuladas se tomaron 10 g de cada muestra de suelo previamente homogeneizada, los cuales se mezclaron en 90 mL de solución salina estéril al 0,85%, se realizaron diluciones seriadas hasta 10⁻⁴, y posteriormente se colocaron en baño maría a 70 °C durante 15 minutos (Kumar et al., 2011). De cada tubo de ensayo, se tomó 0,1 mL de la suspensión que luego fueron depositados en cajas de Petri con agar nutritivo suplementado con 1% de almidón. Dichas cajas se incubaron a 40 ± 2 °C durante 48 h, hasta que se diferenciaron las colonias bacterianas por su morfología y color, seleccionando solo las colonias de bacterias con forma bacilar y presencia de endospora.

Las colonias purificadas se transfirieron a tubos de ensayo con agar nutritivo y se conservaron en refrigeración a 5 °C. En base a resultados obtenidos anteriormente, se utilizaron las cepas identificadas como *B. amyloliquefaciens* (B1), *B. licheniformis* (B3) y *B. subtilis* (B13) en este trabajo. El inóculo se preparó en caldo nutritivo en agitación constante, utilizando una centrifuga a 150 rpm durante 48 h a 28 °C. Para el incremento de la población de cada una de las tres cepas de *Bacillus* se utilizaron frascos con agar nutritivo, inoculados con 1000 µL de la suspensión bacteriana correspondiente. Dichos frascos se colocaron en la incubadora a 28 °C por un período de siete días. Posteriormente, se procedió al conteo de esporas utilizando la cámara de Neubauer; de esta manera se obtuvo la concentración requerida de esporas para inocular las plantas de chile (10⁸/mL).

Aislamiento e identificación de los hongos fitopatógenos. Se lavaron raíces de plantas con síntomas de marchitez con agua corriente, las cuales se secaron a temperatura ambiente. Se cortaron porciones de tejido sano y enfermo, y se desinfectaron externamente con hipoclorito de sodio al 3%, lavándose tres veces consecutivas con agua destilada estéril para eliminar el exceso de cloro. Posteriormente, se colocaron en papel estraza estéril para secarse. Los trozos desinfectados se sembraron en medio V8 agar + 400 ppm penicilina + 200 ppm colimicin + 400 ppm nistatina + 20 ppm colesterol para el aislamiento de *P. capsici*, y en medio de cultivo PDA para aislar a *R. solani*, incubándose después a 30 y 22 °C, respectivamente. Los hongos se identificaron por sus características morfológicas y de color (Erwin y Ribeiro 1996). La cepa de *F. oxysporum* fue aislada de plantas de chile provenientes de una siembra comercial que presentaba síntomas claros de la enfermedad.

Determinación de antagonismo *in vitro*. Las pruebas de inhibición entre las cepas bacterianas y el hongo *P. capsici* se efectuaron con la finalidad de seleccionar los aislados bacterianos que manifestaron actividad inhibitoria contra los fitopatógenos. Este bioensayo consistió en colocar un explante del crecimiento activo del fitopatógeno al centro de una placa de PDA, y en cada punto cardinal una azada de cada

cepa bacteriana (evaluando de esta manera cuatro cepas por placa), incubándose a 22 °C por 48 h. Se seleccionaron las cepas que inhibieron el crecimiento del hongo. Se realizó una segunda prueba contra *P. capsici*, *R. solani* y *F. oxysporum* bajo el mismo procedimiento, pero sembrando la misma bacteria en los cuatro puntos de la placa. Se usaron una cepa comercial de *B. subtilis* como testigo, y placas individuales de cada fitopatógeno sin antagonista como testigo absoluto. Durante el tiempo en que el testigo absoluto llenó la placa de cultivo con su crecimiento micelial, se realizaron lecturas cada 24 h del crecimiento radial del micelio con la ayuda de un vernier. Para seleccionar las cepas más activas se efectuó un análisis de varianza, transformando los datos de porcentaje de inhibición con la fórmula de arcoseno $(X + 0,5)/100$; la comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey a $p < 0,05$.

Suelo utilizado para el trabajo experimental. Se utilizó suelo arcillo-limoso de un lote experimental en el que previamente se había sembrado chile y donde se apreciaron claramente los síntomas de marchitez de las plantas. Con muestras de suelo homogeneizado y tamizado, se hicieron diluciones seriadas desde 10^{-1} hasta 10^{-5} en tubos de ensayo con 9 mL de agua destilada. Luego, 0,01 mL de la última dilución se sembraron en medio de cultivo PDA. Posteriormente, se incubaron a 28 °C durante 72 h. Transcurrido este período, se cuantificaron e identificaron las poblaciones inicial y final de unidades formadoras de colonias (ufc) presentes en el suelo.

Trasplante, inoculación de plántulas y parámetros evaluados. La siembra de las semillas de chile jalapeño variedad Tampiqueño, se realizó en charolas de poliestireno de 200 cavidades previamente desinfectadas con hipoclorito de sodio al 3%. Como sustrato se utilizó peatmoss humedecido, y las charolas se colocaron en un macrotúnel con ventilación natural. Una vez que las plántulas alcanzaron una altura de 10 cm se trasplantaron a macetas de plástico de 10 L de capacidad, las cuales contenían suelo infestado por patógenos causantes de la marchitez del chile. Las macetas fueron colocadas en un invernadero con temperatura diurna máxima de 24 a 28 °C. El experimento se realizó utilizando un diseño estadístico completamente al azar con cinco tratamientos y diez repeticiones, en los que se incluyeron las tres cepas bacterianas del género *Bacillus* (B1, B3 y B13), un testigo químico (tiabendazol, aplicando 10 mL/L de agua), y el testigo absoluto sin fungicida. La aplicación de la suspensión de esporas de las cepas bacterianas se realizó de la siguiente manera: en el momento del trasplante las plántulas se sumergieron durante 15 minutos en la suspensión de esporas a la concentración de 10^8 /mL. Posteriormente, a los 20 y 40 días después del trasplante, se aplicó la misma suspensión de esporas a la base del tallo con un aspersor manual. Finalmente, se realizó un muestreo inicial en 10 plantas adultas de cada tratamiento para evaluar altura de planta, peso fresco de fruto por corte, longitud de

raíz, peso seco de raíz, e incidencia y severidad de la marchitez. La determinación de la severidad del daño por la enfermedad se realizó al final del cultivo, utilizando la escala reportada por Copes y Stevenson (2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura de plantas y peso de frutos. La altura de plantas tratadas con las cepas bacterianas fue estadísticamente superior ($p < 0,05$) a la de las expuestas al tratamiento químico (T) y al testigo absoluto (TA); los tres tratamientos que recibieron las cepas de *Bacillus* tuvieron un incremento promedio en la altura de 28% en comparación al T, y de 34,5% en relación con el TA. Un trabajo previo donde se analizó la efectividad biológica de 57 cepas del género *Bacillus* aisladas de la rizósfera de plantas de chile de siembras comerciales en el Noreste de México, mostró un claro efecto antagonico contra los hongos *P. capsici*, *F. oxysporum* y *R. solani* en plantas de *C. annum* cv. Mitla; las plantas inoculadas con cepas de *Bacillus* incrementaron notablemente la altura y peso seco en 191 y 60,2%, respectivamente (Guillén et al., 2005).

En cuanto al peso de los frutos de chile, el mejor tratamiento resultó ser la cepa B13 (Fig. 1B), ya que produjo 70 g de fruto por planta en comparación con las cepas B1 y B3, que reportaron solo 49 y 45 g respectivamente, con diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) respecto a los tratamientos TA y T. En cambio, los tratamientos TA y T lograron un peso de fruto de 11 y 18 g por planta, respectivamente. Esto significa que las plantas de chile tratadas con la cepa B13 tuvieron un incremento en el rendimiento de 536 y 473% en comparación con los tratamientos TA y T, respectivamente. Guillén et al. (2005) no hallaron diferencias estadísticas significativas entre los efectos de cuatro cepas de *Bacillus* spp. y una mezcla de las mismas. Sin embargo, la producción de chile y el peso de fruto fueron mayores con la presencia de dichas cepas que sin ellas bajo condiciones de campo. Estos efectos estimuladores del rendimiento por cepas de *B. subtilis* también fueron reportados por Islam et al. (2012), lo cual se atribuye al efecto inhibitor de esta bacteria en el crecimiento de los fitopatógenos.

Longitud y peso seco de raíz. Con la utilización de cepas de *Bacillus* se obtuvo una longitud promedio de raíz de 43,6 cm, obteniéndose el mayor valor con la cepa B13. Sin embargo, la diferencia entre las tres cepas no resultó ser estadísticamente significativa (Fig. 2A). En cambio, la diferencia (significativa a $p < 0,05$) entre la longitud radical de las plantas de chile tratadas con la cepa B13 fue de 61 y 111,6%, en relación con las raíces de las plantas tratadas con el fungicida tiabendazol (T) y las del testigo absoluto, respectivamente. Reed y Glick (2005) también consignaron mayor crecimiento de plantas de canola (*Brassica napus*) en presencia de bacterias del género *Pseudomonas*, las que además promovieron incrementos en las biomásas fresca y seca

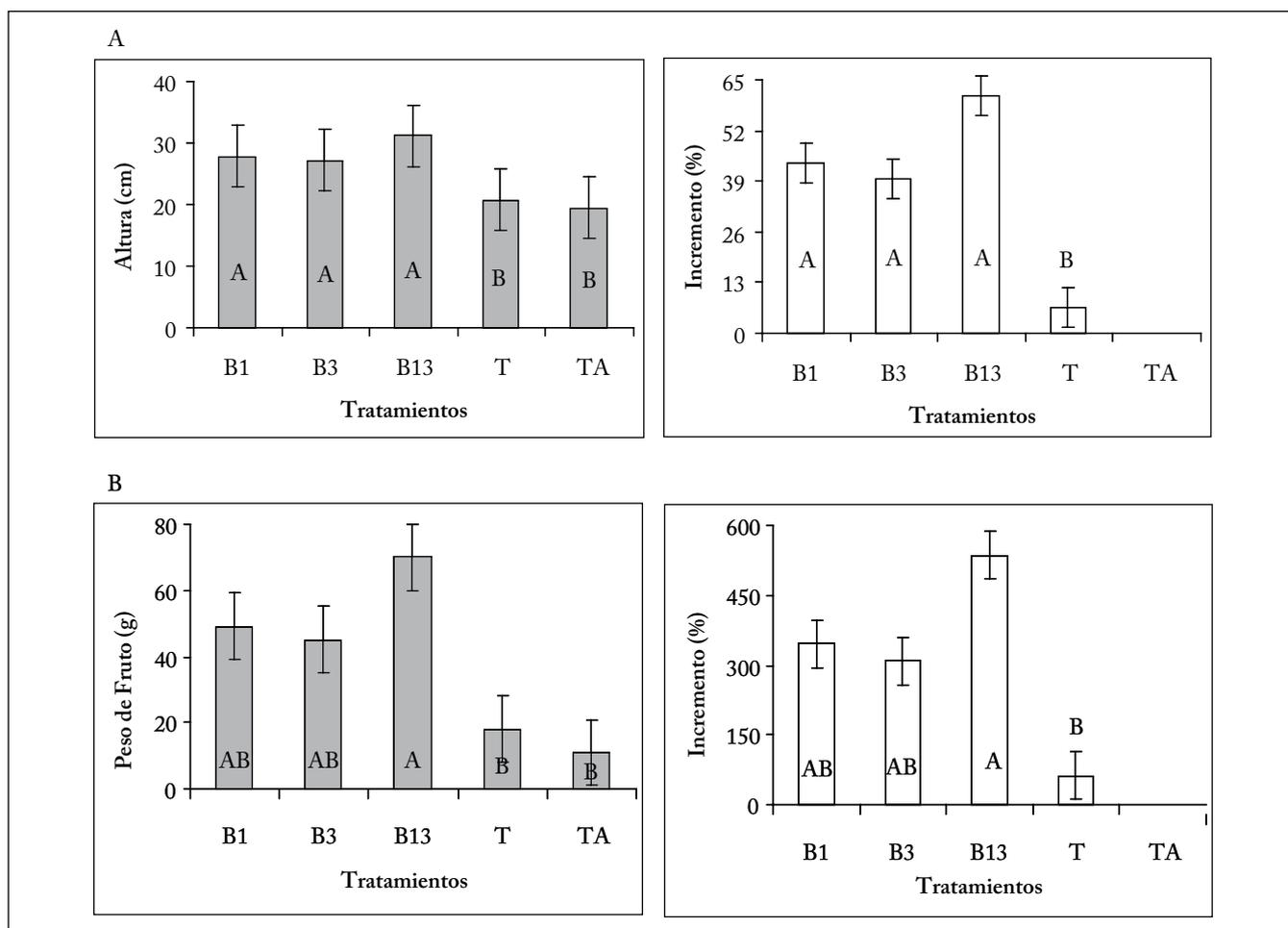


Fig. 1. Altura de plantas de chile (A), peso fresco de frutos (B), e incrementos en esas variables por efecto de tres cepas bacterianas (B1, B3, B13) del género *Bacillus*. Se incluyen un testigo químico (T = tiabendazol) y un testigo absoluto (TA). Letras diferentes dentro de las barras indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

Fig. 1. Pepper plant height (A), fruit fresh weight (B), and increments on these variables due to the effect of three bacterial strains (B1, B3, B13) of *Bacillus* genus. A chemical control (T = tiabendazol) and an absolute control (TA) are included. Different letters within bars indicate significant differences among treatments ($p < 0.05$).

de raíz y tallo. De acuerdo con diversos autores (Bashan y De-Bashan 2002a; Han et al., 2005), estos incrementos de biomasa aérea y subterránea en plantas tratadas con organismos antagonistas de fitopatógenos y promotoras del crecimiento de plantas, se atribuyen en parte a que tienen una gran habilidad para fijar nitrógeno, producir fitohormonas y solubilizar el fósforo del suelo. Esto resulta en notables incrementos en el crecimiento de raíces y follaje de las plantas tratadas.

La aplicación de las cepas nativas de *Bacillus* mostró una clara tendencia a producir mayor peso seco de raíz en comparación con los tratamientos T y TA (Fig. 2B). La cepa B13 una vez más resultó superior a las otras dos cepas, ya que produjo 2,9 g/planta en comparación con 2,3 y 1,65 g/planta obtenidos con las cepas B1 y B3, respectivamente. Por lo tanto, la cepa B13 fue estadísticamente superior ($p > 0,05$) a B3, aunque su efecto fue similar al de la cepa B1. El efecto promotor de producción

de materia seca de raíz fue notablemente superior por las cepas bacterianas en comparación con los resultados generados por los tratamientos T y TA. La cepa B13 logró un incremento de 707,3% relativo a TA, y de 490,3% en comparación a T. Nuestros resultados concuerdan con los reportados por Egamberdiyeva y Hölfich (2004). Estos autores señalaron que cepas bacterianas de los géneros *Bacillus* y *Pseudomonas* lograron estimular el crecimiento y producción de materia seca en el cultivo de algodón. Esto fue atribuido a la producción de auxinas por las bacterias, las que contribuyen a incrementar la absorción de nitrógeno, y tienen un efecto antagonista ante diversos fitopatógenos.

Incidencia y severidad de la enfermedad. La marchitez del chile mostró una incidencia del 60 y 40% en TA y T, respectivamente (Fig. 3A), mientras que las plantas inoculadas con las cepas B13 y B3 reportaron una incidencia (10%) sig-

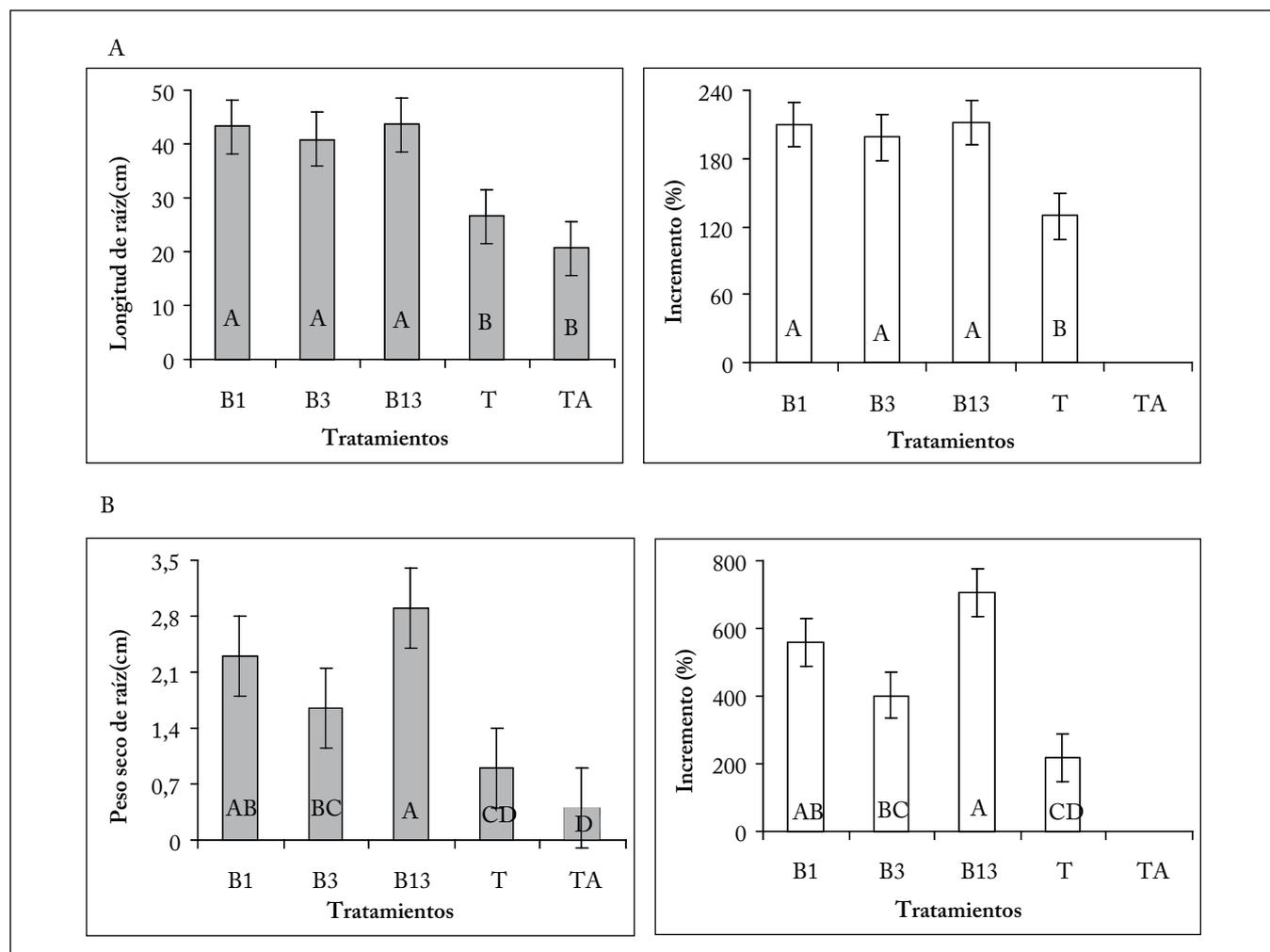


Fig. 2. Longitud de raíz (A), peso seco de raíz (B), e incrementos en esas variables por efecto de tres cepas bacterianas (B1, B3, B13) del género *Bacillus*. Se incluyen un testigo químico (T = tiabendazol) y un testigo absoluto (TA). Letras diferentes dentro de las barras indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

Fig. 2. Root length (A), root dry weight (B), and increments on these variables due to the effect of three bacterial strains (B1, B3, B13) of *Bacillus* genus. A chemical control (T = tiabendazol) and an absolute control (TA) are included. Different letters within bars indicate significant differences among treatments ($p < 0.05$).

nificativamente menor ($p < 0,05$). Las plantas tratadas con la cepa B1 no resultaron afectadas por la enfermedad (0% de incidencia). La marchitez mostró una reducción ($p < 0,05$) de la severidad en aquellos tratamientos donde se aplicaron las tres cepas bacterianas (Fig. 3B). La severidad del daño fue mayor en el TA, seguido por el tratamiento químico, diferencias que resultaron ser estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

En relación con la población inicial de hongos fitopatógenos (ufc/g de suelo), *F. oxysporum* fue el hongo presente en mayor proporción (260 ufc), seguido por *R. solani* y *P. capsici*, con 100 y 55 ufc, respectivamente (Fig. 4). Sin embargo, los tratamientos con las cepas bacterianas redujeron casi por completo la población de hongos en el suelo; resultados similares se obtuvieron con el fungicida tiabendazol (T), el

cual también redujo las ufc, pero en menor proporción que las cepas bacterianas B1, B3 y B13. Lo anterior se podría deber a que las bacterias antagonicas son capaces de ejercer varios mecanismos de biocontrol contra los hongos fitopatógenos: antibiosis, sideróforos, competencia por nutrientes y producción de enzimas hidrolíticas. Esto induce una resistencia sistémica en las plantas (Bashan y De-Bashan, 2002b). De manera análoga, Ulacio et al. (2003) evaluaron materia orgánica y microorganismos antagonistas como estrategias de manejo contra la pudrición blanca en el cultivo de ajo. Estos autores informaron que el hongo *Sclerotium cepivorum* se redujo notablemente, y hubo una menor incidencia de la enfermedad en los tratamientos donde se combinaron el hongo *Trichoderma harzianum*, la bacteria *B. firmus* y vermicomposta.

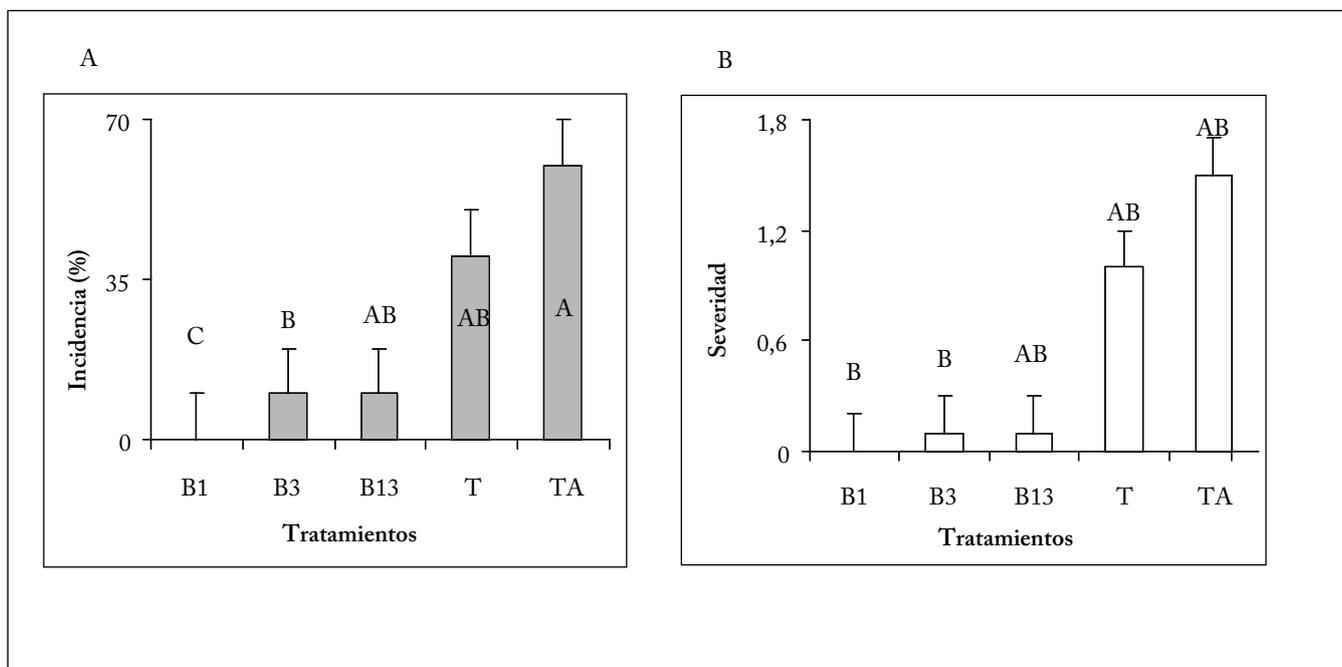


Fig. 3. Incidencia (A) y severidad (B) del daño en plantas causado por hongos fitopatógenos y reducción en esas variables en comparación al testigo absoluto (TA) debido al efecto de tres cepas bacterianas (B1, B3, B13) del género *Bacillus* y un tratamiento químico (T = tiabendazol).

Fig. 3. Incidence (A) and severity (B) of plant damage caused by phytopathogenic fungi, and reduction of these variables in comparison to an absolute control (TA) due to the effect of three bacterial strains (B1, B3, B13) of the *Bacillus* genus and a chemical control (T = tiabendazol).

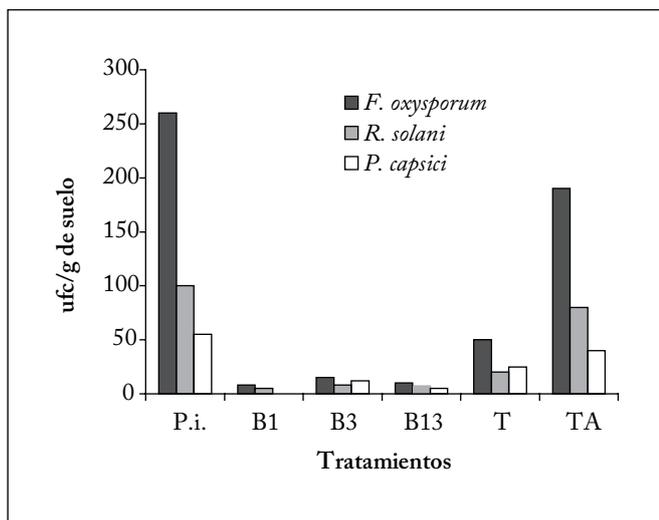


Fig. 4. Poblaciones inicial (P.i.) y final de unidades formadoras de colonias de hongos fitopatógenos encontradas en el suelo, después de aplicar tres tratamientos de cepas bacterianas (B1, B3 y B13) del género *Bacillus*, un testigo químico (T = tiabendazol) y un testigo absoluto (TA).

Fig. 4. Initial and final populations of colony forming units of soil phytopathogenic fungi after applying three treatments of bacterial strains (B1, B3 and B13) of the *Bacillus* genus, a chemical control (T = tiabendazol) and an absolute control (TA).

CONCLUSIONES

Las cepas bacterianas del género *Bacillus* utilizadas en esta investigación mostraron su efectividad como agentes de bio-control contra el complejo de microorganismos fitopatógenos causantes del síndrome de la marchitez del chile. Además, dichas bacterias incrementaron significativamente el crecimiento y rendimiento de chile jalapeño en comparación con el control. Esto sugiere la utilización de este método biológico para (1) el manejo sustentable de la marchitez o secadera del chile, y (2) reducir el empleo de fungicidas sintéticos. Eventualmente, los fitopatógenos desarrollan resistencia a estos fungicidas, los cuales son nocivos para la salud de humanos y los agroecosistemas.

REFERENCIAS

- Bashan, Y. y L.E. De-Bashan (2002a). Reduction of bacterial speck (*Pseudomonas syringae* pv. *tomato*) of tomato by combined treatments of plant growth-promoting bacterium, *Azospirillum brasilense*, streptomycin sulfate, and chemo-thermal seed treatment. *European Journal of Plant Pathology* 108: 821-829.
- Bashan, Y. y L.E. De-Bashan (2002b). Protection of tomato seedlings against infection by *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* by using the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*. *Applied and Environmental Microbiology* 68: 2635-2643.

- Copes, W.E. y K.L. Stevenson (2008). A pictorial disease severity key and the relationship between severity and incidence for black root rot of pansy caused by *Thielaviopsis basicola*. *Plant Disease* 82: 1394-1399.
- Egamberdiyeva, D. y G. Höflich (2004). Effect of plant growth-promoting bacteria on growth and nutrient uptake of cotton and pea in a semi-arid region of Uzbekistan. *Journal of Arid Environments* 56: 293-301.
- Erwin, D.C. y O.K. Ribeiro (1996). *Phytophthora* Diseases Worldwide. St. Paul, MN, US, American Phytopathological Society. 562 p.
- García, R.S., C. Juárez, J.A. Carrillo, R. Allende, I. Márquez y M.D. Muyl (2000). Marchites bacteriana en chile bell causada por *Erwinia carotovora* subsp. *Carotovora*. *Revista Mexicana de Fitopatología* 18: 120-124.
- González, M.M., I. Torres y H. Guzmán (2002). Patógenos involucrados con la marchitez del chile. International Pepper Conference. Tampico, Tamps., México (16). http://www.world-pepper.org/ipc2002/proceedings/pest_management.
- Guigón, C. y P.A. González (2001). Estudio regional de las enfermedades de chile (*Capsicum annuum* L.) y su comportamiento temporal en el sur de Chihuahua. *Revista Mexicana de Fitopatología* 19: 49-56.
- Guillén, C.R., F.D. Hernández, G. Gallegos, H.R. Rodríguez y C.E. Padrón (2005). Biocontrol de pudrición de raíz de chile por *Bacillus* spp., y su efecto en el rendimiento del cultivo en Dolores Hidalgo, Guanajuato. World Pepper Convention (Zacatecas, México). Proceedings. pp. 3-6.
- Han, J., L. Sun, X. Dong, Z. Cai, X. Sun, H. Yang, Y. Wang y W. Song (2005). Characterization of a novel plant growth-promoting bacteria strain *Delfia tsurubatusensis* HR4 both as a diazotroph and a potential biocontrol agent against various plant pathogens. *Systematic and Applied Microbiology* 28: 66-76.
- Hao, Z., P. Christie, L. Qin, C. Wang y X. Li (2005). Control of *Fusarium* wilt of cucumber seedlings with an arbuscular mycorrhizal fungus. *Journal of Plant Nutrition* 28: 1961-1974.
- Hernández-Suárez M., F.D. Hernández-Castillo, G. Gallegos-Morales, R.H. Lira-Saldivar, R. Rodríguez-Herrera y C.N. Aguilar. (2011). Biocontrol of soil fungi in tomato with microencapsulates containing *Bacillus subtilis*. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences* 6: 189-195.
- Islam, R., Y.T. Jeong, Y.S. Lee y C.H. Song (2012). Isolation and identification of antifungal compounds from *Bacillus subtilis* c9 inhibiting the growth of plant pathogenic fungi. *Mycobiology* 40: 59-66.
- Kumar, P., R. Thenmozhi, P.D. Anupama, A. Nagasathya, N. Thajuddin y A. Paneerselvam (2011). Selection of potential antagonistic *Bacillus* and *Trichoderma* isolates from tomato rhizospheric soil against *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici*. *Research Journal of Biological Sciences* 6: 523-531.
- Morales, G., E. Redondo y J. Covarrubias (2002). Detección y localización de *Phytophthora capsici* en semilla de chile. *Revista Mexicana de Fitopatología* 20: 94-97.
- Reed, L.E. y B.R. Glick (2005). Growth of canola (*Brassica napus*) in the presence of plant growth promoting bacteria and either copper or polycyclic aromatic hydrocarbons. *Canadian Journal of Microbiology* 51: 1061-10169.
- Rodríguez, V.M., J.J. Luna, P. Valle, M. Tiscareño y J.A. Ruiz (2004). Caracterización patogénica y sexual de *Phytophthora capsici* y análisis de su distribución espacial en el Centro-Norte de México mediante un sistema de información geográfica. *Revista Mexicana de Fitopatología* 22: 72-81.
- Ulacio, D., E. Zavaleta, R. García, F. Delgadillo, A. Pedroza y A. Martínez (2003). Materia orgánica y microorganismos antagonistas como estrategias de manejo de *Sclerotium cepivorum* Berk y su impacto en el progreso de la pudrición blanca en ajo (*Allium sativum* L.). *Revista Mexicana de Fitopatología* 21: 346-354.
- Yu, X., C. Ai, L. Xin y G. Zhou (2010). The siderophore-producing bacterium, *Bacillus subtilis* CAS15, has a biocontrol effect on *Fusarium* wilt and promotes the growth of pepper. *European Journal of Soil Biology* 47: 138-145.