

## Efecto de labranza, humedad y fertilización en el rendimiento de frijol y la patogenicidad de *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid\*

### Effects of tillage, moisture and fertilization on the yield of the common bean and the pathogenicity of *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid

Krystal Lira-Méndez<sup>1</sup>, Jaime Roel Salinas-García<sup>2</sup>, Arturo Díaz-Franco<sup>2</sup> y Netzahualcóyotl Mayek-Pérez<sup>1§</sup>

<sup>1</sup>Centro de Biotecnología Genómica, Instituto Politécnico Nacional. Blvd. del Maestro s/n esq. Elías Piña, Col. Narciso Mendoza, CP 88710, Reynosa, México. Tel. 01 899 9243627. (klira@ipn.mx). <sup>2</sup>Campo Experimental Río Bravo-INIFAP, A. P. 172, Río Bravo, México. Tel. 01 899 9341046. (salinas.jaime@inifap.gob.mx), (arturodiaz04@yahoo.com.mx). <sup>§</sup>Autor para correspondencia: nmayek@ipn.mx.

#### Resumen

El hongo *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. causa la ‘pudrición carbonosa’ en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) y otros cultivos y afecta el crecimiento y el rendimiento de grano. En este trabajo se determinó el efecto de cuatro niveles de labranza (barbecho, destronque-bordeo, subsuelo-bordeo, cero), dos de humedad (temporal, riego) y dos de fertilización (química, 40-20-00 NPK; biológica con la micorriza *Glomus intraradices*) en el rendimiento de grano de la variedad Negro INIFAP en 2006 y 2007 en Río Bravo, México y en la patogenicidad de *M. phaseolina*. Los experimentos se establecieron en arreglo de tratamientos en parcelas subdivididas con tres repeticiones. Un aislamiento de *M. phaseolina* se obtuvo de plantas colectadas en cada unidad experimental y su patogenicidad se midió en semillas de cinco variedades de frijol (Azufrado Tapatío, Bayo Madero, Flor de Mayo Bajío, Negro Altiplano y Negro INIFAP). El riego y *G. intraradices* incrementaron el rendimiento de grano 144% y 12% respecto al temporal y la fertilización química, respectivamente. Los aislamientos de *M. phaseolina* de parcelas con riego, fertilización química, subsuelo-bordeo y barbecho fueron más agresivos en frijol. La aplicación de micorrizas y la labranza de conservación promueven la sostenibilidad del suelo y también podrían constituirse en medidas de manejo integrado de *M. phaseolina* en frijol.

#### Abstract

The fungus *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid causes the ‘charcoal rot’ disease in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and other crops and reduces plant growth and grain yield. In this work we determined the effects of four tillage levels (moldboard plow, shred-bedding, subsoil-bedding, no or zero tillage); two levels of soil moisture (rainfed, irrigated) and two of fertilization (chemical, using the formula 40-20-00 NPK; biological, using the mycorrhiza *Glomus intraradices*) in grain yield of the variety Negro INIFAP during 2006 and 2007 in Río Bravo, Mexico as well as the pathogenicity of *M. phaseolina*. Experiments were established in a subdivided plot treatment arrangement with three replications. One isolate of *M. phaseolina* was obtained from plants collected in each experimental unit and the pathogenicity was determined in seeds of five common bean cultivars (Azufrado Tapatío, Bayo Madero, Flor de Mayo Bajío, Negro Altiplano, and Negro INIFAP). Irrigation and *G. intraradices* increased grain yield by 144% and 12%, in comparison to with rainfed conditions and chemical fertilization, respectively. The *M. phaseolina* isolates from irrigated, chemically fertilized and with subsoil-bedding or moldboard plow tillage were more aggressive in bean seeds. The application of mycorrhiza and conservative

\* Recibido: junio de 2011  
Aceptado: febrero de 2012

**Palabras clave:** *Phaseolus vulgaris* L., manejo de cultivo, pudrición carbonosa, sistemas de labranza.

El hongo *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. es el agente causal de la pudrición carbonosa y es un patógeno con un rango amplio de hospedantes que ataca en regiones con climas variados, desde áridos hasta tropicales, en todo el mundo. En condiciones de sequía y altas temperaturas el ataque del hongo es favorecido y, generalmente, ocasiona la muerte de plántulas o bien, reduce el vigor de las plantas adultas y el rendimiento de semilla. Los síntomas típicos causados por *M. phaseolina* incluyen lesiones oscuras e irregulares en los cotiledones, marchitez, clorosis o muerte de plantas adultas. Las infecciones tardías causan la aparición de áreas grises en los tallos donde se producen los microesclerocios y picnidios (Abawi y Pastor-Corrales, 1990).

Debido a un amplio rango de hospedantes y habilidad para sobrevivir en residuos de cultivos, es difícil reducir la incidencia y daños de la pudrición carbonosa. Una alternativa para el manejo del hongo es la rotación de cultivos, en virtud de que altera la especialización patogénica de *M. phaseolina* (Almeida *et al.*, 2008). Otra alternativa es interferir la supervivencia al alterar su ambiente o bien, favorecer el antagonismo con hongos mico-parásitos, como la labranza de conservación que incluye la labranza cero y la labranza reducida (Salinas-García *et al.*, 2005).

La labranza cero en maíz disminuyó los daños por pudrición carbonosa pero con pérdidas en el rendimiento de grano en comparación con la labranza convencional (Díaz-Franco *et al.*, 2008), mientras que en soya redujo los daños por pudrición carbonosa y la producción de biomasa (Almeida *et al.*, 2003); además de reducir los microesclerocios por gramo de suelo en comparación con la labranza convencional (Almeida *et al.*, 2001). Mientras que el riego no evita la colonización de *M. phaseolina* (Nischwitz *et al.*, 2004), el déficit hídrico favorece la agresividad del hongo (Cervantes-García *et al.*, 2003). La utilización de fertilizantes químicos tiene consecuencias directas en la contaminación del ambiente. La biofertilización basada en el uso de micorrizas arbusculares (MA) puede complementarla o sustituirla (Salinas-García *et al.*, 2005). Salinas-García *et al.* (2005) reportaron que no hubo diferencias en los niveles de materia orgánica y de N, P y K en el suelo entre la fertilización química (40N-20P-00K) y la biológica con MA.

tillage promote soil sustainability and they could be used as integrated management measures of *M. phaseolina* in common beans.

**Key words:** *Phaseolus vulgaris* L., crop management, charcoal rot, tillage systems.

The fungus *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. is the cause of charcoal rot, and a pathogen with a wide range of hosts that attacks in areas with various types of climates, from dry to tropical, worldwide. In dry and high-temperature conditions, the attack of the fungus is favored, and generally causes the death of plantlets or reduces the vigor of adult plants and the seed yield. Typical symptoms caused by *M. phaseolina* include dark and irregular lesions in the cotyledons, wilting, chlorosis or the death of adult plants. Late infections cause the appearance of gray areas in the stems, where microesclerotia and pycnidia are produced (Abawi and Pastor-Corrales, 1990).

Due to a wide range of hosts and the ability to survive among plant waste, it is hard to reduce the incidence and damage caused by charcoal rot. An alternative for the management of fungi is crop rotation, since it alters the pathogenic specialization of *M. phaseolina* (Almeida *et al.*, 2008). Another alternative is to interfere in its survival by altering its environment or to favor antagonism with microparasitic fungi, such as conservation tillage that includes zero tillage and reduced tillage (Salinas-García *et al.*, 2005).

Zero tillage in maize reduced damages by charcoal rot, although with reduced grain yield in comparison to conventional tillage (Díaz-Franco *et al.*, 2008), whereas in soybean, it reduced the damages caused by charcoal rot and the production of biomass (Almeida *et al.*, 2003); it also reduces the microsclerotia per gram of soil in comparison to traditional tilling (Almeida *et al.*, 2001). While irrigation does not avoid the colonization of *M. phaseolina* (Nischwitz *et al.*, 2004), the water deficit favors the aggressiveness of the fungus (Cervantes-García *et al.*, 2003). The use of chemical fertilizers has direct consequences on the environmental pollution. Biofertilization based on the use of arbuscular mycorrhizae (MA) can complement or substitute it (Salinas-García *et al.*, 2005). Salinas-García *et al.* (2005) reported that there were no differences in the levels of organic matter and of N, P and K in the soil between chemical (40N-20P-00K) and biological fertilization with MA.

El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de cuatro niveles de labranza, dos de humedad y dos de fertilización en el rendimiento del frijol cultivado en 2006 y 2007 en Río Bravo, México y en la patogenicidad de *M. phaseolina*.

Cuatro tratamientos de labranza [tradicional (barbecho), subsuelo-bordeo, destronque-bordeo y cero (testigo)]; dos condiciones de humedad (temporal y riego) y dos tratamientos de fertilización (química, 40-20-00 NKP: y biológica, inoculación con la micorriza arbuscular *Glomus intraradices*) se aleatorizaron en un arreglo de tratamientos en parcelas divididas en un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones en 2006 en el Campo Experimental Río Bravo del INIFAP ubicado en Río Bravo, México (25° 57' latitud norte, 98° 01' longitud oeste, 34 msnm). Las parcelas grandes fueron los sistemas de labranza; las parcelas medianas las condiciones de humedad y las parcelas chicas los niveles de fertilización. El experimento se desarrolló durante 2006 y 2007 con la variedad de frijol Negro INIFAP de acuerdo como lo describieron Salinas-García *et al.* (2005).

El porcentaje de plantas marchitas por *M. phaseolina* se midió durante floración y a madurez fisiológica. A la cosecha, se estimó el rendimiento de grano expresado en kg ha<sup>-1</sup>. Muestras de raíces y tallos se colectaron en cada una de las 96 unidades experimentales (UE) durante la madurez fisiológica del frijol en cada año de prueba. El aislamiento y obtención de cepas de *M. phaseolina* se llevó a cabo como indicaron Cervantes-García *et al.* (2003). La patogenicidad de las 96 cepas se midió en cinco variedades de frijol (Azufrado Tapatío, Bayo Madero, Flor de Mayo Bajío, Negro Altiplano, Negro INIFAP). Los tratamientos (aislamiento x variedad de frijol) se aleatorizaron en un diseño experimental completamente al azar con dos repeticiones. La UE consistió de 20 semillas sembradas en una caja Petri colonizada con un aislamiento de *M. phaseolina*. Las pruebas de patogenicidad *in vitro* y la escala de medición de daños fueron descritas por Cervantes-García *et al.* (2003). Los datos de campo se sometieron al análisis de varianza (ANVA) individual. En los casos que el ANVA detectó diferencias estadísticas entre tratamientos ( $p=0.05$ ), las medias se compararon con el valor de Tukey (DMSH,  $p=0.05$ ). La media y la desviación estándar de los datos de patogenicidad se calcularon para cada cepa y así evaluar las diferencias entre tratamientos. El análisis de datos se realizó con el programa de cómputo GraphPad Prism versión 4.02 (GraphPad Software Inc., 2005. San Diego, EUA).

The aim of this work was to determine the effect of four tillage levels, two moisture levels and two fertilization levels on the yield of beans planted in 2006 and 2007 in Río Bravo, Mexico and on the pathogenicity of *M. phaseolina*.

Four tillage treatments [traditional (moldboard plow), shred-bedding, subsoil-bedding, no tillage or zero (control)]; two moisture conditions (rainfed and irrigation) and two fertilization treatments (chemical, 40-20-00 NKP: and biological, inoculation with the arbuscular mycorrhizae *Glomus intraradices*) were randomized in a treatment arrangement in fields divided in an experimental design of complete random blocks with three repetitions in INIFAP's Río Bravo Experimental Station, located in Río Bravo, Mexico (25° 57' latitude north, 98° 01' longitude west, 34 masl). The big fields were the tillage systems; medium fields were the moisture conditions and small fields were fertilization levels. The experiment was carried out in 2006 and 2007 with the variety of bean Negro INIFAP, according to descriptions by Salinas-García *et al.* (2005).

The percentage of flowers wilted due to *M. phaseolina* was measured during its flowering phase and upon physiological maturity. When harvesting, the grain yield, expressed in kg ha<sup>-1</sup> was estimated. Samples were taken of roots and stems in each of the 96 experimental units (UE) during physiological maturity of the bean plant in each year of the test. Isolation and the taking of strains of *M. phaseolina* was carried out as indicated by Cervantes-García *et al.* (2003). The pathogenicity of all 96 strains was measured in five bean varieties (Azufrado Tapatío, Bayo Madero, Flor de Mayo Bajío, Negro Altiplano, Negro INIFAP). The treatments (isolation x bean variety) were randomized in a completely random experimental design with two repetitions. The UE was composed of 20 seeds planted in a Petri dish, colonized by an isolation of *M. phaseolina*. The *in vitro* pathogenicity tests and the damage measurement scale were described by Cervantes-García *et al.* (2003). The field data underwent the individual variance analysis (ANVA). In the cases in which the ANVA found statistical differences between treatments ( $p=0.05$ ), averages were compared to the Tukey value (DMSH,  $p=0.05$ ). The average and the standard deviation of the pathogenicity data were calculated for each strain, so as to evaluate the differences between treatments. The data analysis was carried out with the GraphPad Prism computer program, version 4.02 (GraphPad Software Inc., 2005. San Diego, USA).

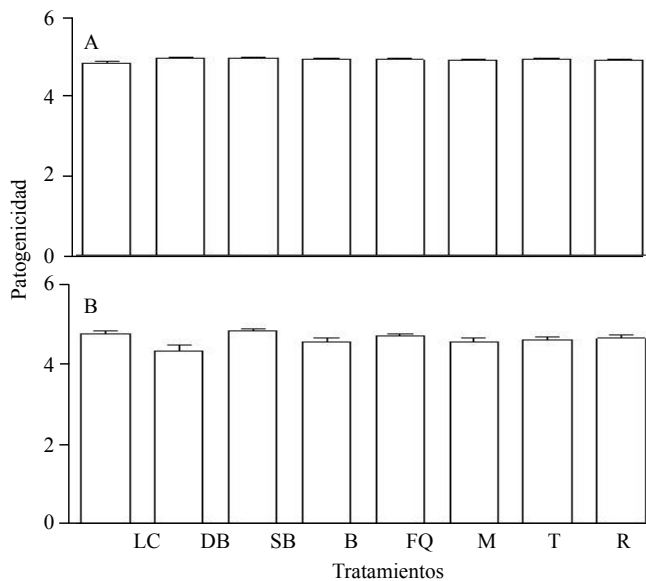
El ANVA detectó diferencias significativas ( $p= 0.05$ ) entre niveles de humedad y de fertilización en rendimiento de grano. La diferencia de rendimiento entre riego y temporal fue de 347 kg ha<sup>-1</sup>, en los dos años; mientras que el promedio de rendimiento en los dos años con inoculación micorrizica y fertilización inorgánica fue de 644 kg ha<sup>-1</sup> y 662 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. En 2007 el porcentaje de plantas marchitas aumentó 8% entre niveles de labranza respecto al testigo (Cuadro 1). En general, la patogenicidad de los aislamientos de *M. phaseolina* se redujo 10% de 2006 a 2007 (Figura 1). El análisis de la patogenicidad de las 96 cepas de *M. phaseolina* en frijol indicó efectos significativos entre niveles de labranza en 2006 y 2007 y entre niveles de fertilización sólo en 2007. En 2006, la menor patogenicidad se observó en aislamientos de *M. phaseolina* provenientes de parcelas con labranza cero (Figura 1A), mientras que en 2007 los aislamientos menos agresivos se obtuvieron de parcelas con destronque-bordeo y barbecho. En 2007, los aislamientos obtenidos de los tratamientos con fertilización química fueron más agresivos en semilla de frijol en comparación con los fertilizados con micorrizas (Figura 1B). En 2006, los aislamientos de suelos con labranza cero mostraron menor agresividad particularmente en las variedades Azufrado Tapatío y Bayo Madero (Figura 2A), mientras que en 2007 los aislamientos de los tratamientos con destronque-bordeo y barbecho redujeron los daños en Bayo Madero, Negro Altiplano y Negro INIFAP (Figura 2B). Aunque no hubo diferencia significativa en la patogenicidad de *M. phaseolina* obtenido de suelos con o sin riego o entre niveles de fertilización, los mayores daños por el hongo se observaron en las variedades Negro Altiplano y Negro INIFAP en condiciones de riego o de fertilización química.

The ANVA found significant differences ( $p= 0.05$ ) between moisture and fertility levels in grain yield. The difference in yield between irrigation and rainfed was of 347 kg ha<sup>-1</sup>, in both years, whereas the average yield in both years with mycorrhizal inoculation and inorganic fertilization was 644 kg ha<sup>-1</sup> and 662 kg ha<sup>-1</sup>, respectively. In 2007, the percentage of wilted plants increased 8% between levels of tillage with respect to the control (Table 1). In general, the pathogenicity of the *M. phaseolina* isolates fell 10% from 2006 to 2007 (Figure 1). The pathogenicity analysis for the 96 strains of *M. phaseolina* in bean plants showed significant effects between tillage levels in 2006 and 2007, and between fertilization levels in 2007 alone. In 2006, the lowest pathogenicity was observed in *M. phaseolina* isolates, found in fields with zero tillage (Figure 1A), whereas in 2007, the least aggressive isolates were taken from fields with shred-bedding and moldboard plow. In 2007, the isolates obtained from the treatments with chemical fertilization were more aggressive on bean seeds than those fertilized with the mycorrhizae (Figure 1B). In 2006, the isolates taken from soils with tillage displayed less aggressiveness, particularly in varieties Azufrado Tapatío and Bayo Madero (Figure 2A), while in 2007, the isolates of the treatments with shred-bedding and moldboard plow reduced damages on Bayo Madero, Negro Altiplano and Negro INIFAP (Figure 2B). Although there was no significant difference in the pathogenicity of *M. phaseolina* taken from soils with irrigation or without it, or between fertilization levels, the greatest damage caused by the fungus was observed in varieties Negro Altiplano and Negro INIFAP under irrigation or chemical fertilization.

**Cuadro 1. Comparación de promedios del rendimiento de grano y de la infección por *M. phaseolina* en los factores principales evaluados en Río Bravo durante 2006 y 2007.**

**Table 1. Comparison of averages in the grain yield and infection by *M. phaseolina* in the main factors evaluated in Río Bravo in 2006 and 2007.**

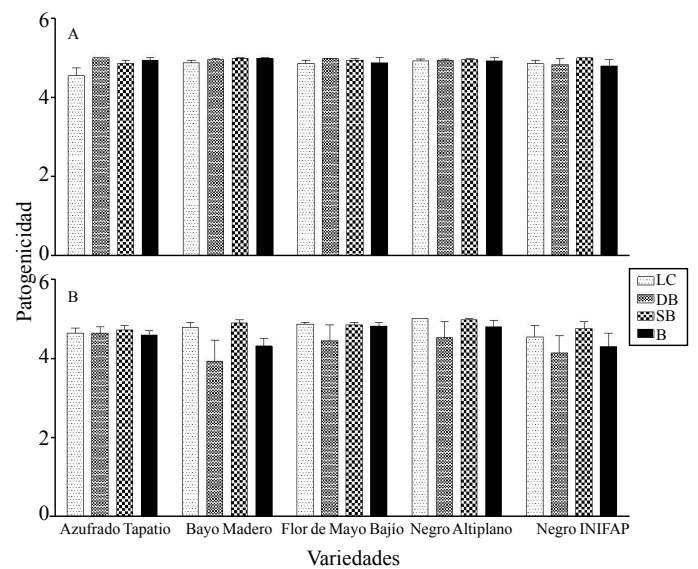
	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )		Infección por <i>M. phaseolina</i> (%)			
	2006	2007	Floración		Final	
	2006	2007	2006	2007	2006	2007
Niveles de labranza						
Barbecho	609	757	0	0.14	0.45	9.29 <sup>a</sup>
Destronque bordeo	630	682	0	0.21	0.46	9.46 <sup>a</sup>
Subsuelo bordeo	622	690	1	0	2.59	9.42 <sup>a</sup>
Labranza cero	589	686	0.4	0.42	1.34	8.63 <sup>B</sup>
	ns	ns	ns	ns	ns	***
						DMS= 0.34
Niveles de humedad						
Temporal	496	468	0	0.33	1	9.1
Riego (a los 40 d)	719	940	0	0.12	1.14	9.28
	***	***	ns	ns	ns	ns
Niveles de fertilización						
<i>Glomus intraradices</i>	638	651	0	0.25	0.86	9.2
40-20-00	567	757	0.5	0.51	1.29	9.1
	**	**	ns	ns	ns	ns
CV (%)	14	17	31	43	48	37



**Figura 1. Efecto de labranza, humedad y fertilización en la patogenicidad de *M. phaseolina* en semillas de frijol *in vitro*. Aislamientos de 2006 (A) y 2007 (B). LC= labranza cero; DB= destronque-bordeo; SB= subsuelo-bordeo; B= barbecho; FQ= fertilización química; M= micorrizas; T= temporal; y R= riego. Las barras verticales indican  $\pm$  error estándar.**

**Figure 1. Effect of tillage, moisture and fertilization in the pathogenicity of *M. phaseolina* on *in vitro* bean seeds. Isolates from 2006 (A) and 2007 (B). LC= zero tillage; DB= shred-bedding; SB= subsoil-bedding; B= moldboard-plow; FQ= chemical fertilization; M= mycorrhizal; T= rainfed; and R= irrigation. Vertical bars indicate  $\pm$  standard error.**

El frijol sujeto a la labranza que incluye el destronque-bordeo y el barbecho mostró daños menores por *M. phaseolina* en comparación con labranza cero o subsuelo-bordeo. Almeida *et al.* (2003) demostraron que la labranza cero disminuye el estrés por sequía así como los daños por pudrición carbonosa en comparación con labranza convencional. Además, la incidencia de *M. phaseolina* se asocia positivamente con el déficit hídrico y las altas temperaturas. Este efecto benéfico también fue reportado por Claflin y Giorda (2002) quienes indicaron que la incidencia de la producción carbonosa en sorgo se redujo 11% con labranza cero en comparación con labranza mínima y convencional, con incidencias de 23 y 39%, respectivamente. La labranza cero permite también la acumulación de los residuos de la cosecha que por una parte contribuyen a la sostenibilidad del suelo (Roldán *et al.*, 2006) pero que podrían ser al menos reservorios de los propágulos vegetativos y reproductivos de hongos causantes de pudriciones de raíz (Bueno *et al.*, 2007).



**Figura 2. Efecto del nivel de labranza en la patogenicidad de *M. phaseolina* en frijol *in vitro* durante 2006 (A) y 2007 (B). LC= labranza cero; DB= destronque-bordeo; SB= subsuelo-bordeo; y B= barbecho. Las barras verticales indican  $\pm$  error estándar.**

**Figure 2. Effect of tillage level on pathogenicity of *M. phaseolina* on *in vitro* beans during 2006 (A) and 2007 (B). LC= zero tillage; DB= shred-bedding; SB= subsoil-bedding; and B= moldboard-plow. Vertical bars indicate  $\pm$  standard error.**

Beans that underwent tillage that included shred-bedding and moldboard-plow displayed minor damage by *M. phaseolina* in comparison with zero tillage or subsoil-bedding. Almeida *et al.* (2003) proved that zero tillage reduces drought stress, as well as damages by charcoal rot in comparison to conventional tillage. Likewise, the incidence of *M. phaseolina* has a positive relation to water deficit and high temperatures. This beneficial effect was also reported by Claflin and Giorda (2002), who indicated that the incidence of carbonaceous production in sorghum fell 11% with zero tillage, in comparison to minimal or conventional tillage, with incidences of 23 and 39%, respectively. Zero tillage also helps accumulate the waste from the harvest, that help contribute to the sustainability of the soil (Roldán *et al.*, 2006), but could at least be reservoirs of the vegetative and reproductive propagules from fungi that cause rotting of the roots (Bueno *et al.*, 2007).

The results of this work ratify that the minimal tillage or zero tillage systems or cero can reduce the incidence and damages caused by *M. phaseolina* and favor the

Los resultados de este trabajo ratifican que los sistemas de labranza mínima o cero pueden disminuir la incidencia y daños por *M. phaseolina* y favorecer las condiciones físico-químicas del suelo en las condiciones agro-climáticas de cultivo del norte de Tamaulipas. Los aislamientos obtenidos de frijol cultivado en riego fueron más agresivos que los de parcelas de temporal. El crecimiento y patogenicidad del hongo es influenciado significativamente por la disponibilidad de agua en el suelo (Cervantes-García *et al.*, 2003). La exposición del hongo a la sequía afecta la densidad de microsclerocios y la infección (Kending *et al.*, 2000), aunque también la humedad alta o las condiciones de riego incrementan la agresividad (Mayek-Pérez *et al.*, 2004).

Los aislamientos de *M. phaseolina* provenientes de parcelas con fertilización química fueron más agresivos en frijol que de parcelas biofertilizadas con micorriza. Los hongos micorrízicos, además de su papel importante en la nutrición de las plantas, participan en el control biológico de fitopatógenos de raíz (Rivera-Becerril *et al.*, 2002) como se observó en este trabajo. Los aislamientos de *M. phaseolina* provenientes de plantas de frijol cultivadas en condiciones de riego, fertilización química, subsuelo-bordeo y labranza cero fueron las más agresivas en frijol debido a que posiblemente un hospedante libre de estrés induce al incremento de la agresividad del hongo (Mayek-Pérez *et al.*, 2004).

Los hongos micorrízicos y la labranza de conservación promueven la sostenibilidad del suelo (Salinas-García *et al.*, 2005) y, además, podrían constituirse como medidas de manejo integrado de *M. phaseolina* en frijol que en conjunto con la rotación de cultivos (Almeida *et al.*, 2008) y el germoplasma y así reduzcan paulatinamente las densidades de propágulos y la incidencia y daños causados por pudrición carbonosa en los cultivos del norte de Tamaulipas. Los resultados permiten concluir que la aplicación de riego y la fertilización biológica con *G. intraradices* incrementaron el rendimiento de grano del frijol común en comparación con el cultivo desarrollado en condiciones de temporal y/o fertilización química, respectivamente. Los aislamientos de *M. phaseolina* obtenidos de frijol cultivado en riego, fertilización química y subsuelo-bordeo o barbecho fueron más agresivos en frijol *in vitro*. La aplicación de micorriza y la labranza de conservación promueven la sostenibilidad del suelo y constituyen una medida de manejo integrado de *M. phaseolina* en frijol en el norte de Tamaulipas, México.

physical and chemical conditions in the agricultural and weather conditions of the crop in northern Tamaulipas. The isolates taken from beans planted under irrigation were more aggressive than those taken from rainfed fields. The growth and pathogenicity of the fungus is influenced significantly by the availability of water in the soil (Cervantes-García *et al.*, 2003). The exposure of the fungus to drought affects the density of microsclerotia and the infection (Kending *et al.*, 2000), although the high moisture levels or irrigation conditions increase aggressiveness (Mayek-Pérez *et al.*, 2004).

The *M. phaseolina* isolates taken from fields with chemical fertilization were more aggressive in beans than those taken from fields biofertilized with mycorrhizae. Mycorrhizal fungi not only play an important part in plant nutrition, but also take part in the biological control of phytopathogens in the roots (Rivera-Becerril *et al.*, 2002), as this work shows. The *M. phaseolina* isolates taken from irrigated bean plants, with chemical fertilization, subsoil-bedding, and zero tillage, were the most aggressive on beans, since a stress-free host possibly leads to an increase in the aggressiveness of the fungus (Mayek-Pérez *et al.*, 2004).

Mycorrhizal fungi and conservation tillage promote soil sustainability (Salinas-García *et al.*, 2005) and could also be constituted as integrated measures for the management of *M. phaseolina* in beans, which, along with crop rotation (Almeida *et al.*, 2008) and germplasm could gradually reduce the density of propagules and the incidence and damage caused by charcoal rot in plantations in northern Tamaulipas. The results lead to conclude that irrigation and biological fertilization with *G. intraradices* increased the yield in bean seeds in comparison to rainfed crops with chemical fertilization, respectively. The *M. phaseolina* isolates taken from bean planted under irrigation, chemical fertilization and subsoil-bedding or moldboard-plow were more aggressive on *in vitro* beans. Applying mycorrhizae and conservation tillage promote soil sustainability and are an integrated measure for the management of *M. phaseolina* in bean plants in northern Tamaulipas, Mexico.

*End of the English version*



## Agradecimiento

Este trabajo fue financiado por el Instituto Politécnico Nacional (IPN), Fundación Produce Tamaulipas, INIFAP y FOMIX-Gobierno del estado de Tamaulipas. Netzahualcóyotl Mayek-Pérez, Arturo Díaz-Franco y Jaime Salinas-García son becarios del Sistema Nacional de Investigadores; Netzahualcóyotl Mayek-Pérez, es del sistema de beca COFAA y EDI del IPN.

## Literatura citada

- Abawi, G. S. and Pastor-Corrales, M. A. 1990. Root rots of beans in Latin America and Africa: diagnosis, research methodologies, and management strategies. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. 114 p.
- Almeida, A. M. R.; Ferreira, S. O.; Bouças, F. J. R.; Almeida, G. C. and Torres, E. 2001. Survival of pathogens on soybean debris under no-tillage and conventional tillage systems. *Pesq. Agrop. Bras.* 36:1231-1238.
- Almeida, A. M. R.; Amorim, L.; Bergamin F., A.; Torres, E.; Farias, J. R. B.; Benato, L. C.; Pinto, M. C. and Valentim, N. 2003. Progress of soybean charcoal rot under tillage and no-tillage systems in Brazil. *Fitopatol. Bras.* 28:131-135.
- Almeida, A. M. R.; Sosa-Gomez, D. R.; Binneck, E.; Marin, S. R. R.; Zucchi, M. I.; Abdelnoor, R. V. and Souto, E. R. 2008. Effect of crop rotation on specialization and genetic diversity of *Macrophomina phaseolina*. *Trop. Plant Pathol.* 33:257-264.
- Bueno, C. J.; de Queiroz, A. M. M. and de Souza, N. I. 2007. Production and evaluation of survival of resistance structures of soilborne phytopathogenic fungi. *Summa Phytopathol.* 33:47-55.
- Cervantes-García, D.; Padilla-Ramírez, J. S.; Simpson, J. and Mayek-Pérez, N. 2003. Osmotic potential effects on *in vitro* growth, morphology and pathogenicity of *Macrophomina phaseolina*. *J. Phytopathol.* 75:53-57.
- Clafin, L. E. and Giorda, L. M. 2002. Stalk rots of sorghum. *In: sorghum and millets diseases*. Leslie, J. F. (ed.). Iowa State Press. Ames, USA. 185-190 pp.
- Díaz-Franco, A.; Salinas-García, J. R.; Garza-Cano, I. y Mayek-Pérez, N. 2008. Impacto de labranza e inoculación micorrízica arbuscular sobre la pudrición carbonosa y rendimiento de maíz en condiciones semiáridas. *Rev. Fitotec. Mex.* 31:257-263.
- Kending, S. R.; Rupe, J. C. and Scott, H. D. 2002. Effect of irrigation and soil water stress on densities of *Macrophomina phaseolina* in soil and roots of two soybean cultivars. *Plant Dis.* 84:895-900.
- Mayek-Pérez, N.; López-Salinas, E.; Cumpián-Gutiérrez, J. y Acosta-Gallegos, J. A. 2004. Reacción de germoplasma de frijol común a *Macrophomina phaseolina* en condiciones de riego-secano en Veracruz, México. *Agron. Mesoamer.* 15:45-52.
- Nischwitz, C.; Olsen, M. and Rasmussen, S. 2004. Effect of irrigation type on inoculum density of *Macrophomina phaseolina* in melón fields in Arizona. *J. Phytopathol.* 152:133-137.
- Rivera-Becerril, F.; Mier, T.; Camacho, A. D. y Valdés, M. 2002. Manejo de la mosquita blanca en invernadero con *Verticillium lecani* en plantas de frijol micorrizadas con *Glomus intraradices*. *Terra Latinoamer.* 20:147-152.
- Roldán, A.; Salinas-García, J. R.; Alguacil, M. M. and Caravaca, F. 2006. Soil sustainability indicators following conservation tillage practices under subtropical maize and bean crops. *Soil Till. Res.* 93:273-282.
- Salinas-García, J. R.; Díaz-Franco, A.; Garza-Cano, E. y Garza-Cano, I. 2005. Efectos de labranza y biofertilización en propiedades del suelo que afectan a la sostenibilidad de la producción del frijol. *Ciencia Tecnol. Aliment.* 5:30-34.

