



COLEGIO DE POSTGRUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO
POSTGRADO DE FITOSANIDAD
FITOPATOLOGÍA

**TOLERANCIA DE VARIEDADES DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) AL
ATAQUE DE *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli* EN LA VEGA DE METZTITLÁN,
HIDALGO, MÉXICO**

LAURA GALVÁN NOLASCO

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE**

MAESTRA EN CIENCIAS

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO
2007**

La presente tesis titulada: **Tolerancia de variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) al ataque de *Fusarium solani* f.sp. *phaseoli* en la Vega de Metztitlán, Hidalgo, México.**, realizada por la alumna: **Laura Galván Nolasco**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de :

MAESTRA EN CIENCIAS
FITOSANIDAD
FITOPATOLOGÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:

Dr. REMIGIO A. GUZMÁN PLAZOLA

ASESORA:

DRA. ANA MARÍA HERNÁNDEZ ANGUIANO

ASESOR:

DR. ARMANDO EQUIHUA MARTÍNEZ

Expreso mi agradecimiento a:

Los millones de mexicanos y mexicanas que pagan impuestos, quienes, a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y el Colegio de Postgraduados, han financiado parte de mi formación;

Al Colegio de Postgraduados por darme la oportunidad de realizar mis estudios de Maestría.

A las personas integrantes de mi Consejo Particular por el esfuerzo, la dedicación, el tiempo y el apoyo que me han brindado, pero sobre todo por la infinita paciencia para conmigo y mis problemas.

Al Dr. Remigio A. Guzmán Plazola. Por la formación y orientación académica, por todo el apoyo brindado para la realización de la tesis, por darme una vez más su confianza.

A la Dra. Ana María Hernández Anguiano. Por darme la oportunidad de cumplir satisfactoriamente mis estudios de maestría y por su apoyo en la revisión de la tesis.

Al Dr. Armando Equihua Martínez. Por su ayuda y disposición para la revisión de la tesis.

A todos y cada uno de mis profesores del IFIT, compañeros y amigos quienes de alguna manera me han acompañado hasta hoy, aun en la distancia.

Dedico esta tesis a:

A mi madre Matilde Nolasco, por ser esa mujer fuerte ante las adversidades que la vida nos ha puesto.

A mi padre Pablo Galván Torres, por su gran cariño, apoyo y comprensión ante mis problemas.

Sobre todo a ti. Valeria por llegar a mi vida y enseñar a compartir mi tiempo, espacio y dedicación. Espero que en el futuro te sientas orgullosa de tu madre.

A mi compañero Fernando en este proyecto de vida que iniciamos juntos durante esta importante etapa de mi vida, gracias por ayudarme en la difícil tarea de ser madre.

CONTENIDO

	Página
LISTA DE CUADROS.....	ii
LISTA DE FIGURAS.....	iii
RESUMEN.....	Vii
ABSTRACT.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Frijol, su cultivo e importancia.....	4
2.2. Situación nacional.....	5
2.3. Problemas relevantes al cultivo del frijol.....	7
2.4. Pudrición de la raíz por <i>Rhizoctonia solani</i>	9
2.5. Pudrición de la raíz por <i>Fusarium solani</i> f. sp. <i>phaseoli</i>	11
2.5.1. Estrategias de control de <i>Fusarium solani</i> f. sp. <i>phaseoli</i>	14
2.6. Simbiosis <i>Rizobium</i> –leguminosas.....	15
2.7. Proceso de nodulación.....	16
2.8. Resistencia vegetal.....	17
2.8.1. Resistencia vertical.....	19
2.8.2. Resistencia horizontal.....	19
2.8.3. Importancia de la resistencia horizontal.....	21
2.8.4. Resistencia en frijol.....	22
2.9. Aspectos epidemiológicos de la resistencia.....	24
2.9.1. Medición de la enfermedad.....	24
III. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	26
IV. OBJETIVOS.....	28
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
5.1. Zona de estudio.....	29
5.2. Tratamientos.....	29
5.3 Manejo de las variedades.....	30
5.4. Evaluaciones.....	30
5.5 Análisis de datos.....	33
VI. RESULTADOS.....	35
6.1 Experimento en Jilotla.....	35

6.2 Experimento en Tochtintla.....	47
VII. DISCUSIÓN.....	62
VIII. CONCLUSIONES.....	65
IX. LITERATURA CITADA.....	66

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Severidad del daño por <i>Fusarium solani</i> en la raíz principal, intensidad de la nodulación y nivel de crecimiento de raíces laterales en variedades de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) comerciales e introducidas.....	38
Cuadro 2. Rendimiento de grano, y número de vainas en variedades de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) comerciales e introducidas.....	43
Cuadro 3. Correlaciones lineales que resultaron significativas en los experimentos de evaluación de la resistencia de variedades de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) a <i>Fusarium solani</i> en la Vega de Metztlán, Hidalgo, México.....	46
Cuadro 4. Severidad del daño por <i>Fusarium solani</i> en la raíz principal, intensidad de la nodulación y nivel de crecimiento de raíces laterales en variedades de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) comerciales e introducidas*, cultivadas en la Vega de Metztlán, Hidalgo, México, localidad de Tochintla.....	51

LISTA DE FIGURAS

		Página
Figura 1.	Semivariograma omnidireccional generado a partir de los datos de número de lesiones por tallo de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) (evaluados por el método de Furuya <i>et. al.</i> , 1999) en suelos de 75 sitios de muestreo en la Vega de Metztitlán, Hidalgo, México.....	31
Figura 2.	Severidad de la pudrición por <i>F. solani</i> f. sp. <i>phaseoli</i> en la raíz principal de variedades de frijol comerciales y mejoradas por resistencia horizontal, cultivadas en Jilotla, Opio. de Metztitlán, Hgo. Fj = For de junio, Fm = Flor de mayo, H = Hogar, Hi = Higuera, I = Ixcaquixtla, M = Marsella, N = Neia, O = Ojo de Cabra, P = Padres del Séptimo Ciclo de selección, T = Tepeji y X = Xochitlán.....	39
Figura 3.	Severidad de la pudrición blandas en la raíz laterales de variedades de frijol comerciales y mejoradas por resistencia horizontal, cultivadas en Jilotla, Mpio. de Metztitlán, Hgo. Fj = Flor de junio, Fm = Flor de mayo, H = Hogar, Hi = Higuera, I = Ixcaquixtla, M = Marsella, N = Neia, O = Ojo de Cabra, P = Padres del Séptimo Ciclo de selección, T = Tepeji y X = Xochitlán.....	40
Figura 4.	Nodulación por <i>Rhizobium leguminosarum</i> bv. <i>phaseoli</i> en variedades de frijol comerciales y mejoradas por resistencia horizontal, cultivadas en la localidad de Jilotla, Mpio. de Metztitlán, Hgo. Fj = Flor de junio, Fm = Flor de mayo, H = Hogar, Hi = Higuera, I = Ixcaquixtla, M = Marsella, N = Neia, O = Ojo de Cabra, P = Padres del Séptimo Ciclo de selección, T = Tepeji y X = Xochitlán.....	41
Figura 5.	Crecimiento lateral de raíces en variedades de frijol comerciales y mejoradas por resistencia horizontal, cultivadas en la localidad de Jilotla, Mpio. de Metztitlán, Hgo. Fj = Flor de junio, Fm = Flor de mayo, H = Hogar, Hi = Higuera, I = Ixcaquixtla, M = Marsella, N = Neia, O = Ojo de Cabra, P = Padres del Séptimo Ciclo de selección, T = Tepeji y X = Xochitlán.....	42
Figura 6.	Número de vainas de las variedades de frijol comerciales y mejoradas por resistencia horizontal, cultivadas en la localidad de Jilotla, Mpio. de Metztitlán, Hgo. Fj = Flor de junio, Fm = Flor de mayo, H = Hogar, Hi = Higuera, I = Ixcaquixtla, M = Marsella, N = Neia, O = Ojo de Cabra, P = Padres del Séptimo Ciclo de selección, T = Tepeji y X = Xochitlán.	44
Figura 7.	Rendimiento de grano de variedades de frijol comerciales y mejoradas por resistencia horizontal, cultivadas en la localidad de Jilotla, Mpio. de Metztitlán, Hgo. Fj = Flor de	

	junio, Fm = Flor de mayo, H = Hogar, Hi = Higuera, I = Ixcaquixtla, M = Marsella, N = Neia, O = Ojo de Cabra, P = Padres del séptimo ciclo de selección, T = Tepeji y X = Xochitlán.....	45
Figura 8.	Síntomas del daño a la raíz por <i>F. solani</i> f. sp. <i>phaseoli</i> en plantas jóvenes (de 7 días de edad) de la variedad Flor de Junio.....	53
Figura 9.	Severidad de la pudrición por <i>F. solani</i> f. sp. <i>phaseoli</i> en la raíz principal de variedades de frijol comerciales y mejoradas por resistencia horizontal, cultivadas en Tochintla, Mpio. de Metztlán, Hgo. Fj = Flor de junio, Fm = Flor de mayo, H = Hogar, Hi = Higuera, I = Ixcaquixtla, N = Neia, O = Ojo de Cabra, P = Padres del Séptimo Ciclo de selección, T = Tepeji y X = Xochitlán.....	54
Figura 10.	Síntomas del daño a la raíz por <i>F. solani</i> f. sp. <i>phaseoli</i> en plantas adultas de la variedad Flor de Junio.....	55
Figura 11.	Severidad de pudriciones blandas en raíces laterales de variedades de frijol comerciales y mejoradas por resistencia horizontal, cultivadas en Tochintla, Mpio. de Metztlán, Hgo. Fj = Flor de junio, Fm = Flor de mayo, H = Hogar, Hi = Higuera, I = Ixcaquixtla, N = Neia, O = Ojo de Cabra, P = Padres del Séptimo Ciclo de selección, T = Tepeji y X = Xochitlán.....	56
Figura 12.	Nodulación por <i>Rhizobium</i> en plantas de la variedad Hoga. Notese ausencia de síntomas visibles de pudrición seca por <i>F. solani</i> f. sp. <i>phaseoli</i>	57
Figura 13.	Nodulación por <i>Rhizobium leguminosarum</i> bv. <i>phaseoli</i> en variedades de frijol comerciales y mejoradas por resistencia horizontal, cultivadas en la localidad de Tochintla, Mpio. de Metztlán, Hgo. Fj = Flor de junio, Fm = Flor de mayo, H = Hogar, Hi = Higuera, I = Ixcaquixtla, N = Neia, O = Ojo de Cabra, P = Padres del Séptimo Ciclo de selección, T = Tepeji y X = Xochitlán.....	58
Figura 14.	Crecimiento lateral de raíces en variedades de frijol comerciales y mejoradas por resistencia horizontal, cultivadas en la localidad de Tochintla, Mpio. de Metztlán, Hgo. Fj = For de junio, Fm = Flor de mayo, H = Hogar, Hi = Higuera, I = Ixcaquixtla, N = Neia, O = Ojo de Cabra, P = Padres del Séptimo Ciclo de selección, T = Tepeji y X = Xochitlán.....	59
Figura 15.	Daño en la raíz pivotante y respuesta de crecimiento lateral en la variedad Flor de Junio.....	60

Figura 16. Número de vainas por planta en variedades de frijol comerciales y mejoradas por resistencia horizontal, cultivadas en la localidad de Tochintla, Mpio. de Metztlán, Hgo. Fj = Flor de junio, Fm = Flor de mayo, H = Hogar, Hi = Higuera, I = Ixcaquixtla, N = Neia, O = Ojo de Cabra, P = Padres del Séptimo Ciclo de selección, T = Tepeji y X = Xochitlán.....

61

**TOLERANCIA DE VARIEDADES DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) AL
ATAQUE DE *Fusarium solani* EN LA VEGA DE METZTITLÁN, HIDALGO,
MÉXICO**

Laura Galván Nolasco, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2007

Se evaluó el comportamiento de once variedades de frijol en dos localidades de la Vega de Metztlán, Hidalgo, México, con suelo naturalmente infestado por *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli*. Se realizaron dos experimentos donde se compararon seis variedades mejoradas por resistencia horizontal (MRH) con antecedentes de tolerancia a patógenos radicales, generadas por el Colegio de Postgraduados (Hogar, Ixcaquixtla, Neia, Padres del Séptimo Ciclo de selección (P7C), Tepexi, y Xochitlán) y cinco variedades comerciales (Flor de Junio, Flor de Mayo, Higuera, Marsella y Ojo de Cabra). En ambos experimentos las variedades MRH tuvieron en general menor severidad de pudrición por *F. solani* en las raíces principales, menor pudrición blanda de raíces y mayor nodulación de *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli* que el conjunto de variedades comerciales. Las variedades MRH Hogar, Neia e Ixcaquixtla tuvieron el mayor rendimiento de grano (2.5, 2.1 y 2.0 ton/ha, respectivamente) y superaron a las variedades comerciales evaluadas (0.9 a 1.7 ton/ha).

Palabras clave adicionales: *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli*, resistencia horizontal.

**TOLERANCE OF VARIETIES OF BEAN (*Phaseolus vulgaris* L.) TO THE
ATTACK OF *Fusarium solani* IN THE VEGAOF MEXTITLÁN, HIDALGO,
MÉXICO**

Eleven bean varieties were evaluated in two localities at the Vega de Metztlán, Hidalgo, Mexico, having soil naturally infested with *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli*. Two experiments were carried out. Six genotypes bred for horizontal resistance (BRH) in the Colegio de Postgraduados (Hogar, Ixcaquixtla, Neia, Parents of the Seventh Breeding cycle (P7C), Tepexi, y Xochitlán) and five commercial varieties (Flor de Junio, Flor de Mayo, Higuera, Marsella y Ojo de Cabra) were tested. In both experiments, BRH genotypes had less dry root rot by *F. solani*, less soft root rot and higher nodulation by *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli* than commercial varieties. BRH genotypes Hogar, Neia and Ixcaquixtla had the highest grain yield (2.5, 2.1, and 2.0 ton/ha, respectively) which was significantly higher than most of commercial varieties (0.9 to 1.7 ton/ha) .

Additional keywords: *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli*, horizontal resistance.

I. INTRODUCCIÓN

Existe una diferencia significativa entre la producción nacional y el potencial productivo del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) que se atribuye principalmente al ataque severo de enfermedades, a los daños causados por insectos y a limitaciones en la disponibilidad de agua y nutrientes del suelo. En particular, las enfermedades son uno de los factores de mayor importancia económica que afectan al frijol común a nivel nacional, las cuales son causadas principalmente por hongos, virus y bacterias, que pueden impactar negativamente el rendimiento, calidad de la vaina y semilla. Varias estrategias pueden ser usadas para manejar las enfermedades del frijol. La selección de una estrategia depende de una serie de factores biológicos, climáticos, edáficos, económicos y sociales. Es importante considerar al frijol como un cultivo de riesgo en nuestro país el cual es producido principalmente por pequeños agricultores de escasos recursos. Por esto la estrategia más práctica y barata de manejo de enfermedades podría ser el uso de variedades resistentes.

La pudrición radical del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) causada por *Fusarium solani* (Mart.) Sacc. f. sp. *phaseoli* (Burk.) Snyder y Hans. es una enfermedad de control difícil. Una vez que el hongo se ha establecido en el terreno, puede sobrevivir indefinidamente como saprófito facultativo y su erradicación resulta prácticamente imposible (Schwartz y Gálvez, 1980). El control químico de la enfermedad ha sido objeto de varias investigaciones (Hoch y Hagedorn, 1974; Papavizas y Lewis, 1975; Bezdicsek *et al.*, 1981; Mac Fadden y Hall, 1987; Pedroza-Sandoval, 1997; Cardoso *et al.*, 1997).

La efectividad de los tratamientos químicos ha resultado variable y en general con un control insuficiente de la enfermedad. En casos donde se ha logrado un control efectivo el costo del tratamiento no compensa los beneficios obtenidos (Sherf y MacNab, 1986). Esta situación parece ser similar en otros cultivos cuando son afectados por *Fusarium solani*, como es el caso de lupino (*Lupinus* sp.) (Gowely *et al.*, 1996).

La baja efectividad en el uso de fungicidas, la contaminación ambiental que éste representa, o lo incosteable de su uso para los agricultores, eleva el valor de otros métodos de control de la enfermedad, como es el caso del control genético. Aún mejoras menores en la resistencia del hospedante a enfermedades hacen más fáciles, baratos, seguros y efectivos todos los aspectos del manejo del patógeno. Con mejoras sustanciales en la resistencia del hospedante el manejo de éste puede resultar incluso innecesario (Robinson, 1987).

La mayoría de los trabajos de mejoramiento genético en frijol que se han realizado se basan en la utilización de genes individuales contra una enfermedad (Kelly y Vallejo, 2004), lo que tiene el inconveniente del incremento de la severidad por otras enfermedades contra las que no se realiza mejoramiento. La resistencia horizontal, basada en la acción de múltiples genes, representa una alternativa promisorio para el control de enfermedades del frijol (García *et al.*, 2003). En un estudio de la distribución espacial regional de la pudrición radical por *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli* en la Vega de Metztlán, Hidalgo, México, se encontró que la enfermedad tiene alta prevalencia en la zona, ya que fue detectada en todos los campos de frijol muestreados; en la mayoría de ellos con

alta severidad (Guzmán-Plazola *et al.*, 2004). En trabajos de investigación realizados en el Colegio de Postgraduados, se ha detectado que el patógeno afecta significativamente el rendimiento de las variedades de uso común en esta región (Guzmán Plazola, comunicación personal)

El Programa de Resistencia Horizontal del Colegio de Postgraduados cuenta con genotipos de frijol que han mostrado tolerancia de origen poligénico a enfermedades radicales en otras regiones (García *et al.*, 2003), sobre esta base se realizó el presente trabajo de investigación con el objetivo de evaluar seis de esas variedades y comparar su resistencia al patógeno con la de cinco variedades comerciales de uso común en la Vega de Metztlán, Hidalgo, México.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Frijol, su cultivo e importancia

México es uno de los centros de origen de las plantas cultivadas. En el caso del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) aún existen poblaciones silvestres desde el sur del estado de Chihuahua hasta el sur de Chiapas. A finales del siglo XIX los científicos reconocieron como centro de origen del frijol común al nuevo mundo. Lo anterior se basa en observaciones de restos arqueológicos del Perú y del sudoeste de Estados Unidos. Contrario a lo sugerido por otros científicos como Linneo quien afirmaba que *P. vulgaris* era originario de la India. En la actualidad se sabe que en América el frijol fue domesticado en varios sitios de su área de distribución, la cual comprende desde México hasta el norte de Argentina. Se ha documentado la existencia de una gran diversidad en México y Perú. (Pérez *et al.*, 1994).

El frijol es una planta anual, herbácea, intensamente cultivada desde el trópico hasta las zonas templadas, aunque es una especie que no soporta heladas. En general las leguminosas de grano son una fuente importante y económica de proteína en la dieta de muchos pueblos y se usa como complemento de alimentos ricos en carbohidratos como el arroz, maíz y otros cereales. El grano de frijol tiene un alto contenido de proteínas (aproximadamente 22%), las semillas pueden ser consumidas tanto inmaduras como secas; también puede consumirse la vaina inmadura. En general el frijol es parte importante de la dieta alimenticia en México, Centro y Sur América (Azpíroz *et al.*, 2003).

El frijol es un cultivo típico entre los pequeños productores de Mesoamérica y América del Sur, es la principal (y en muchos casos la única) fuente de proteína para una parte significativa de la población, en zonas en las que la agricultura de subsistencia es la principal actividad productiva. La superficie dedicada al cultivo de frijol en el mundo abarca unos 27.5 millones de hectáreas, con una producción de 19 millones de toneladas y un rendimiento medio de 690 kilogramos por hectárea (Veríssimo, 1999).

Los seis principales países productores de frijol en el mundo son: Brasil, India, China, Myanmar, México y Estados Unidos de América, en ese orden (Serrano-Covarrubias, 2004)

2.2. Situación nacional

En México, el frijol como cultivo básico ocupa el segundo lugar en importancia después del maíz. El cultivo representa toda una tradición productiva de consumo, y cumple diversas funciones de carácter alimentario y socioeconómico que le han permitido trascender hasta la actualidad (FIRA, 2001).

Su presencia a lo largo de la historia de México, lo ha convertido no sólo en un alimento tradicional, sino también en un elemento de identificación cultural, comparable con otros productos como el maíz y el chile, que son básicos para explicar la dieta alimentaria de ayer, hoy y muy probablemente del futuro (Acosta y Pérez, 2003)

Se considera que en total existen alrededor de 150 especies de esta leguminosa, aunque en México estas ascienden a 50, destacando las cuatro especies que el hombre ha domesticado, como son el *Phaseolus vulgaris* L. (frijol común), *Phaseolus coccineus* L. (frijol ayocote), *Phaseolus lunatus* L. (frijol comba) y *Phaseolus acutifolius* Gray (frijol tepari). En nuestro país las especies más importantes en cuanto a superficie sembrada y producción son las dos primeras (CEA, 2005).

El frijol es uno de los cultivos de mayor importancia en el país, ya que representa para la economía de los productores una fuente importante de ocupación e ingreso, a la vez que es una garantía de seguridad alimentaria. A nivel nacional existen alrededor de 500 mil agricultores dedicados a la producción. Como generador de empleo, es una importante fuente dentro de la economía del sector rural, pues se ha estimado (mediante un modelo de costo de producción promedio) que demanda 35 jornales por hectárea, generando, sólo en la etapa de producción agrícola, un total de 78,316,105 jornales (FIRA, 2001).

En nuestro país, la superficie destinada a este cultivo ha llegado a superar los 2.4 millones de hectáreas, pero cabe señalar que dicha cifra ha variado a través de los años; para el ciclo de 2003 se reporta una producción de 1,415,000 toneladas. Esta leguminosa se cultiva en todo el país, sin embargo, existen regiones que destacan debido a la superficie destinada para su producción y por la cantidad de grano que aportan al consumo nacional, como los Estados de Zacatecas, Durango, Chihuahua, Sinaloa, Nayarit y Jalisco, quienes aportan más de 60% del

total nacional. El consumo anual per cápita es de aproximadamente 18 kg (CEA, 2005).

El 87 por ciento de la superficie sembrada es de temporal; por ello, el frijol es un cultivo altamente dependiente de las condiciones climáticas. Aunado a lo anterior, los productores muestran poco interés para integrarse en organizaciones productivas (Serrano-Covarrubias, 2004).

La tendencia actual es que se mantenga una caída en el consumo per-cápita nacional de frijol, por lo que es necesario emprender acciones para contrarrestar ese efecto. En México existen las condiciones para incrementar la producción y productividad mediante un programa que ordene la oferta de acuerdo a la demanda en cada región y con el grupo de variedades adecuadas al consumo, buscar generar volúmenes exportables e incrementar el consumo nacional de frijol, aprovechando las propiedades de este alimento en la prevención de cáncer y diabetes (CEA, 2005).

2.3. Problemas relevantes al cultivo del frijol

El frijol se cultiva desde los 50 hasta los 2600 m.s.n.m y desde los 16° a los 30° de latitud norte, en distintos nichos ecológicos, por lo que la producción tiene limitantes de carácter variado (Pérez *et al.*, 1994). La mayor limitante es la escasa disponibilidad de agua, sobre todo por las características de producción del país. En la región semiárida del altiplano es donde se cultiva el 65% de la superficie

sembrada a nivel nacional, así mismo se incrementa en los suelos pobres en materia orgánica y nutrientes (Acosta, 2003).

En otras regiones como Veracruz y Chiapas los problemas que limitan el rendimiento del frijol son las enfermedades, plagas y malezas, y de acuerdo a la severidad con que se presenten, los rendimientos se verán disminuidos en diferentes grados. Algunas de las enfermedades que atacan al cultivo del frijol son las siguientes: Antracnosis (*Colletotrichum lindemuthhanum*), Roya (*Uromyces phaseoli*), Mancha angular (*Isariopsis griseola*), Moho blanco (*Sclerotinia sclerotiorum*), Mildiu (*Phytophthora phaseoli*), Cenicilla (*Erysiphe polygoni*), Pudrición carbonosa (*Macrophomina phaseoli*), Pudrición radical (*Sclerotium rolfsi*), Pudrición seca de la raíz (*Fusarium solani f. sp. phaseoli*), Marchitez por Pythium (*Pythium aphanidermatum*), y Marchitez por Rhizoctonia (*Rhizoctonia solani*), entre otros, además de las enfermedades causadas por bacterias, virus y nematodos (Cepeda, 1984).

Los fitopatógenos del suelo son uno de los principales factores limitantes de la producción en México. Estos patógenos se encuentran entre los más difíciles de controlar y el método de control más ampliamente utilizado ha sido el químico. Sin embargo, el uso de plaguicidas cada vez es más restringido debido a problemas de contaminación ambiental; por lo cual es importante dirigir nuestros esfuerzos hacia la búsqueda de alternativas biológicas y/o ecológicas para manejar estos patógenos en los agroecosistemas.

2.4. Pudrición de la raíz (*Rhizoctonia solani* Kuhn)

La enfermedad ocurre en la mayor parte de México, aunque es más frecuente en algunas regiones del país. *Rhizoctonia solani* es un habitante del suelo, con capacidad patogénica tan extraordinaria que se encuentra en plantas de todo tipo: malezas, ornamentos, árboles forestales y casi en cualquier cultivo con síntomas de ahogamiento, canchros y pudrición de la corona. Los síntomas típicos de esta enfermedad son la presencia, a lo largo de la raíz de chancros café-rojizo de varios tamaños. La infección puede continuar dentro de la médula de las plantas dándole una coloración rojo ladrillo. (Romero, 1994). El hongo *Rhizoctonia solani* afecta mucho más a plántulas jóvenes que a los tejidos de las plantas adultas (Kasuya *et al.*, 2006).

El hongo es capaz de penetrar la cutícula y epidermis intactas por medio de unas clavijas o puntas de infección producidas a partir de almohadillas o cojinetes de infección, o mediante hifas individuales, así como también a través de aberturas naturales y heridas. Se cree que la penetración ocurre mediante presión mecánica y degradación enzimática de las células del hospedante (Schwartz y Galvéz, 1980).

Rhizoctonia solani causa damping off en pre y post emergencia, pudrición de la raíz y lesiones en el hipocotilo. Este patógeno ataca un gran número de plantas, entre los que se encuentran cultivos agrícolas de importancia económica, como el frijol, algodón, papa, soya, berenjena, rábano, chile, tomate, espinaca, repollo, coliflor, pepino, brócoli y otros. El hongo presenta gran variación en su

patogenicidad ya que algunos aislamientos son muy específicos al atacar un solo hospedante y otros presentan una amplia acción patogénica y atacan muchas especies de plantas (Lépiz, 1984).

El hongo puede estar presente tanto internamente como externamente en la semilla. Temperaturas del suelo entre 23 y 26° C y una alta humedad del mismo, son condiciones favorables para el desarrollo del patógeno. La pudrición está relacionada con los excesos de humedad y los encharcamientos en terrenos mal drenados y desnivelados. Sin embargo, numerosos reportes indican que no existe una relación significativa entre la temperatura ambiental y la incidencia de la enfermedad, pero si se reportan niveles altamente significativos de la enfermedad con humedad del suelo alta. Las siembras profundas incrementan la susceptibilidad de la plántula a la infección por el hongo. Los residuos de cosecha constituyen una fuente de inóculo de la enfermedad (Dorrance *et al.*, 2003).

El manejo de la pudrición de la raíz causada por *Rhizoctonia solani* generalmente se hace con tratamientos químicos, sin embargo al mantener altos niveles de materia orgánica en la superficie del suelo, el manejo de residuos de cosecha y la incorporación de enmiendas orgánicas pueden disminuir la incidencia y severidad de la enfermedad (Kasuya *et al.*, 2006).

2.5. Pudrición de la raíz por *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli*

La pudrición seca del fríjol es causada principalmente por *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli* en un complejo con *Rhizoctonia solani* y *Fusarium oxysporum* en asociación con *Pythium* sp. (Estevez de Jensen *et al.*, 1999).

Este patógeno causa una de las enfermedades con origen en el suelo mas importantes. Está presente en muchas áreas productoras del país, se le reportó como un problema de producción en los Estados de Sinaloa, Tamaulipas, Durango, Jalisco, Veracruz, Guanajuato y Chiapas (Azpiroz *et al.*, 2003).

La enfermedad produce daños en el sistema radical de la planta de fríjol y consecuentemente en sus rendimientos. Las plantas dañadas por este patógeno, generalmente no mueren, pero son tan afectadas en su vigor y desarrollo. La reducción en rendimiento puede llegar hasta el 86% (Azpiroz *et al.*, 2003).

Fusarium solani forma clamidosporas, macronidios y microconidios. El micelio casi siempre es de color blanco pero también puede ser de color púrpura. Las clamidosporas son globosas y se encuentran solas o en pares, en forma terminal o intercalar y en promedio llegan a medir 10 micras de longitud por 9 micras de diámetro. Los macroconidios son abundantes, hialinos, con tres septos; en promedio miden 40 micras de longitud por 5.5 micras de ancho; los microconidios son también hialinos y muestran de una a dos células, con longitud de 10 por 3.7 micras de ancho, estos se presentan en gran abundancia, los esporodoquios son de color crema, amarillentos, verdes o azules (Barnett y Hunter, 1981).

El hongo tiene poca movilidad y se encuentra en suelo infestado de manera natural en forma de clamidosporas, ya sea asociado con fragmentos de tejido o partículas de humus o dentro de ellos. Los macroconidios se pueden formar en las lesiones de la planta que se extienden por encima de la superficie del cuello, pero una vez que se han diseminado por el suelo se convierten y sobreviven como clamidosporas (Nash *et al.*, 1961). Los exudados producidos por las raíces estimulan la germinación de las clamidosporas en un 60%. Las clamidosporas constituyen la fuente primaria del inóculo en campo. El hongo no crece saprofiticamente en el suelo excepto en materia orgánica (Nash *et al.*, 1961).

El patógeno es diseminado principalmente como clamidosporas o conidios. El movimiento capilar del agua a través del suelo no es un medio importante de diseminación del hongo, pero este puede ser transportado en el agua de riego, en partículas de suelo adheridas a los implementos agrícolas, en residuos de frijol, estiércol y posiblemente en las esporas acarreadas por las lluvias o las inundaciones. Una vez que el hongo se ha introducido en un área nueva, puede sobrevivir indefinidamente, como un saprófito del suelo en la materia orgánica o como un componente micorrízico de cultivos no susceptibles (Nash *et al.*, 1961).

El patógeno puede penetrar directamente los tejidos de la planta sana del frijol o a través de las heridas que estén presentes. Los daños causados por la enfermedad se incrementan en terrenos compactados, por ser uno de los factores que más reduce el desarrollo radical en muchas especies de plantas (Tu y Tan, 1990).

La enfermedad se favorece con una elevada humedad del suelo, una temperatura de 22 a 32°C, y durante la ocurrencia de sequía también es frecuente que la infección se agrave al existir *Pythium* y el hongo en cuestión, por que ambos tienen un efecto de sinergismo (Estevez de Jensen *et al.*, 1999).

Los síntomas iniciales de esta enfermedad aparecen en el hipocótilo en la raíz primaria de las plantas o la primera o segunda semana después de la emergencia (etapa fenológica de V1 y V3). Estas lesiones aparecen como puntos o franjas alargadas de color rojizo. Cuando la infección progresa, las lesiones se unen tomando una coloración café. Las raíces primarias y laterales generalmente mueren, lo cual ocasiona un retraso marcado en el crecimiento de la planta y caída de hojas (Estevez de Jensen, 2002).

Frecuentemente sucede que arriba del sitio donde tuvo lugar la infección en la raíz primaria, se desarrollan nuevas raíces laterales lo cual permite que la planta siga creciendo aun con las deficiencias antes señaladas (Estevez de Jensen, 2002).

Nash *et al.* (1961), mencionan que la producción seca aparece inicialmente como lesiones o vetas rojizas en el hipocótilo y en la raíz primaria. Las lesiones no tienen un margen muy definido y pueden presentar agrietamientos longitudinales.

Las raíces primarias y laterales muertas por el ataque del hongo permanecen adheridas como residuos secos. Cuando la raíz primaria muere, la parte inferior del tallo se ahueca. No se observa un marchitamiento muy pronunciado del

hospedante, aunque el crecimiento de la planta se retarda, se presenta un amarillamiento y caída de hojas. Las plantas que han sufrido un daño muy severo y posteriormente están expuestas a deficiencia de humedad se tornan raquílicas o mueren. Según la variedad sembrada, las pérdidas en el rendimiento en condiciones severas de infección pueden variar desde 6 hasta 63% (Kennedy y Smith, 1995).

2.5.1. Estrategias de control de *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli*

El principal manejo que se ha implementado para este patógeno esta basado en tratamientos químicos. Protectantes a la semilla y aplicación de fungicidas al suelo, han sido recomendados para el control de la pudrición de la raíz, usando productos cada vez más específicos para un solo patógeno lo que ocasiona que no se afecten a otros organismos. Esto es importante si tomamos en cuenta que la pudrición de la raíz esta formada por un complejo de patógenos siendo el principal es *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli* (Estevez de Jensen, 2002).

Algunas prácticas culturales muestran resultados favorables en la disminución de los daños a la raíz ocasionados por los patógenos antes mencionados, como pueden ser el disminuir la compactación del suelo con un sistema de labranza profundo, ya que se reducen los daños a la raíz y las pérdidas en producción, debido a los cambios ocasionados en el intercambio gaseoso, al aumentar la biomasa radical y con ello la producción (Tu y Tan, 1990).

Al disminuir la densidad de siembra se reduce el daño por *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli* y la posibilidad de infección por otros patógenos, sin embargo, esta practica se ve afectada por bajas temperaturas del suelo (Burke, 1965).

En general las enfermedades de la raíz ocasionan una reducción en rendimiento de frijol, el cual puede llegar hasta el 86%. El principal manejo utilizado esta basado en tratamientos con fungicidas. Por lo que se plantea la utilización de organismos *antagonistas* con el fin de disminuir la capacidad del agente patógeno (*F. solani* f. sp. *phaseoli*) para causar una enfermedad (Estevez de Jensen *et al.*, 2002).

2.6. Simbiosis *Rizobium* leguminosas

El nitrógeno es muy abundante en la atmósfera, sin embargo, las plantas no pueden utilizarlo en su forma elemental y tienen que obtenerlo del suelo principalmente en forma de nitratos. La fijación biológica de nitrógeno es un proceso clave en la biosfera, por el cual microorganismos portadores de la enzima nitrogenasa convierten el nitrógeno gaseoso en nitrógeno combinado. Las bacterias del género *Rhizobium* inducen en las raíces de las leguminosas la formación de estructuras especializadas, los nódulos, dentro de los cuales el nitrógeno gaseoso es reducido a amonio (Ayala, 1984).

La fijación de nitrógeno en la simbiosis *Rhizobium*-leguminosa es importante en la agricultura, porque causa un aumento del nitrógeno combinado en el suelo. Dado que la carencia de nitrógeno suele darse en suelos desnudos y sin abonar, las leguminosas noduladas ofrecen una ventaja selectiva en tales condiciones y

pueden crecer bien en zonas donde no lo harían otras plantas (Gutiérrez *et al.*, 2001).

El proceso de simbiosis entre bacterias de los géneros *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* y *Azorhizobium* y las plantas con la que se asocian específicamente está controlado genéticamente. La capacidad de establecer simbiosis fijadoras de nitrógeno se limita principalmente a las leguminosas (familia *Leguminisae*) La simbiosis entre *Rizobium* y las leguminosas no es debida a una especialización de un nicho ecológico particular puesto que la distribución de las leguminosas es muy amplia, sino que se trata de una relación debida a características genéticas particulares de las leguminosas que no se presentan en otros grupos de plantas (Schroth y Hancock, 1982; Tejera *et al.*, 2004).

2.7. Proceso de nodulación

Las leguminosas secretan compuestos específicos que atraen a *Rizobium spp.* Entre estos compuestos se encuentran flavonoides y en respuesta a ellos las bacterias activan una serie de genes implicados en la nodulación. El primer paso en la formación de los nódulos es la adherencia de la bacteria a la planta. En la superficie del rizobio se localiza una proteína específica de la adherencia, la ricasadina. Es una proteína que se une al calcio y puede actuar captando complejos de calcio en la superficie de los pelos radicales. Otras sustancias, como las lectinas, que son proteínas que contienen carbohidratos, también cumplen una función en la adherencia planta-bacteria. Después de la unión, los pelos radicales se enroscan debido a la acción de sustancias específicas

secretadas por la bacteria, que se conocen como factores Nod. La bacteria penetra entonces en el pelo radical e induce la formación, por parte de la planta, de un tubo de composición similar a la pared celular, conocido como canal de infección, que avanza por el pelo radical. A continuación, la infección alcanza a las células de la raíz adyacentes a los pelos radicales, y los factores Nod estimulan la división de las células vegetales, produciendo finalmente el nódulo (Bernal *et al.*, 2004)

2.8. Resistencia vegetal

El desarrollo del combate químico de las enfermedades se ha basado casi exclusivamente en el uso de pesticidas y los más elaborados métodos de aplicación, la cual no solo a aportado grandes problemas de resistencia y contaminación; sino que también ha propiciado un atraso relativo en el desarrollo de otras tácticas de control de enfermedades como el biológico, el físico, mecánico, cultural y el genético (Michereff y Barros, 2001).

Se ha buscado resistencia a problemas sanitario incluso no parasitarios, como la fitotoxicidad por elementos o compuestos, las heladas o la sequía. En algunos casos se han logrado avances que permiten desarrollar variedades resistentes, al menos en algún grado, contra virus, viroides, micoplasmas, hongos, bacterias, nematodos, insectos y ácaros. Todo esto gracias a la viabilidad genética, a la capacidad técnica para manipular los genes e incorporar resistencia en los cultivos, incluso sin acudir a material silvestre (Romero y Villanueva, 2000).

La resistencia vegetal es el resultado del trabajo de los agricultores tradicionalistas de todo el mundo, quienes mejoran sus variedades locales, las que, a su vez, son el producto de la herencia de muchas generaciones de agricultura (Bettioli, 1996).

La definición de resistencia vegetal difiere en cuanto a los términos aplicables al tipo de resistencia de que se trate. La resistencia vegetal puede ser poligénica (controlada por muchos genes), oligogénica (controlada por pocos genes mayores) o monogénica (controlada por un solo gen mayor). Desde el punto de vista fitopatológico, se ha tratado de separar a los principales tipos de resistencia genética a enfermedades en dos tipos principales, es decir, resistencia horizontal y vertical. Sin embargo, la resistencia vertical y horizontal así como la agresividad o virulencia son únicamente términos descriptivos o de definición para cubrir todas las posibilidades que se pueden presentar en el sistema de dos variables hospedante-patógeno. Esta separación de términos está hecha sólo con fines descriptivos. Se sabe que la resistencia vertical y horizontal pueden coexistir (García, 2003).

La resistencia vertical es universal en cuanto a que se observa en cualquier población atacada por sus enemigos naturales, es relativa por implicar comparaciones entre hospedantes, es específica pues siempre se refiere a una especie parásita y su especie hospedante. Las variedades resistentes modernas tienen, con mayor frecuencia, resistencia vertical: La meta permanente debe ser la selección de resistencia horizontal (poligénica), sin dejar de utilizar los genes verticales que se identifiquen (Romero y Villanueva, 2000).

2.8.1. Resistencia vertical

Vanderplank (1984) define a la resistencia vertical como aquella que permanece efectiva contra algunas razas de patógenos pero no contra otras, es decir, es raza específica.

Según Robinson (1996) la resistencia vertical proviene de la escuela mendeliana y es normalmente cualitativa en el sentido de que solo puede estar presente o ausente, sin intermedios. En este tipo de resistencia actúan pares de genes, uno en el hospedante y otro en el parásito, es decir, por cada gen de resistencia en el hospedante, existe un gen acoplante en el patógeno. El cual es conocido como la relación gen a gen y es el carácter definitivo de la resistencia vertical.

2.8.2. Resistencia horizontal

La resistencia horizontal es un término colectivo para muchos mecanismos de resistencia diferentes. La mayoría de estos mecanismos corresponden a variables continuas y su herencia es usualmente controlada por poligenes (Robinson, 1987).

Según Vanderplank (1984), la resistencia horizontal es aquella que permanece en contra de todas las razas y formas del agente inductor de enfermedades. Actúa por la reducción del número de lesiones formadas, la velocidad de desarrollo de las lesiones y la cantidad de esporas (por ejemplo) producidas por lesión. En la resistencia horizontal no se involucra la relación gen a gen, sin embargo, esto

significa que es una resistencia normalmente cuantitativa tanto en su herencia como en sus efectos y muestra todos los grados de diferencia entre un máximo y un mínimo. Los biometristas trabajan con características controladas por muchos genes que varían continuamente; han desarrollado métodos de fitomejoramiento mejor conocidos como mejoramiento de poblaciones (selección masal), en el que se involucran cambios en las frecuencias genéticas (Vanderplank, 1984).

La selección masal es un método de selección recurrente, que permite concentrar genes favorables para un carácter deseable. Consiste fundamentalmente en sembrar una población de plantas, elegir los fenotipos deseables, cosechar la semilla, mezclar el polen de las plantas seleccionadas, la semilla procedente de esta mezcla o masa sirve como base para la siguiente siembra, con la finalidad de que se recombinen o concentren los genes favorables para el carácter bajo selección (Castañeda, 1985).

Las variedades con resistencia horizontal son más estables en diferentes condiciones ambientales, por lo que es más difícil que un patógeno abata por completo la resistencia del hospedante (Delgadillo, 1990).

Para poder hacer selección por resistencia horizontal, es necesario asegurarse de que las resistencias verticales hayan sido rotas, puesto que no se puede seleccionar por resistencia horizontal en ausencia de parasitismo. Por lo anterior un programa de resistencia horizontal no empieza por seleccionar la llamada “buena fuente de resistencia”, la cual es una planta de los ancestros silvestres del cultivo en particular, que sea notablemente inmune al patógeno en cuestión. Por

el contrario se inicia buscando progenitores susceptibles al o los patógenos contra los que se vaya a hacer mejoramiento. Todas las selecciones posteriores son por resistencia (García, 2001).

El mejoramiento por resistencia cuantitativa es un proceso continuo, progresivo y acumulativo. Cada ciclo de mejoramiento provee cultivares nuevos y mejores; este tipo de mejoramiento en manos de los propios agricultores podría producir líneas de alto rendimiento, calidad y resistencia, capaces de contender con todos los parásitos localmente importantes (García, 2001).

Existen otros tipos de resistencia como la resistencia no específica de genes mayores, la cual, esta conferida por genes mayores que se segregan en alguna modalidad de herencia Mendeliana o puede ser debida también a factores citoplasmáticos que confieren resistencia (que pueden o no conferir inmunidad) a todas las formas conocidas de patógenos. Un ejemplo de esto se puede observar en el patosistema papa-virus. (Simmonds, 1983).

2.8.3. Importancia de la resistencia horizontal

El valor agrícola de la resistencia horizontal es particularmente importante en los cultivos de escaso valor comercial, tales como cultivos de subsistencia y forrajes, debido a que las ganancias obtenidas de estos cultivos no permiten gastos fuertes para el manejo de parásitos.

Desde el punto de vista técnico, todos sabemos que la resistencia debiera ser nuestra primera opción, cuando buscamos estrategias de manejo. Sin embargo, es también conocido que la búsqueda de resistencia, suele ser un proceso de larga duración, por lo que ante los apremiantes problemas parasitológicos, la única alternativa ha sido el uso de plaguicidas, bajo el razonamiento de que en tanto se encuentra la verdadera solución, que es la resistencia, la aplicación de agroquímicos es una buena alternativa. Como la búsqueda de resistencia es de larga duración, raramente se inicia el proceso, debido a que se busca tener éxito en el corto plazo (Cruz *et al.*, 2002).

2.8.4. Resistencia en frijol

Existen varios reportes sobre resistencia del frijol a la pudrición de las raíces por *Fusarium solani*. Tu y Park (1993) reportaron que el cultivar Harowood tuvo una severidad significativamente menor que la línea A-300. En un estudio realizado por Beebe *et al.* (1981) con 47 líneas de frijol se encontraron diferentes niveles de resistencia a *Fusarium*. Algunas de las líneas evaluadas tuvieron una resistencia similar a la línea resistente Cornell 2114-12 y algunas otras presentaron una resistencia intermedia; sin embargo, la mayoría de las líneas reportadas como posibles fuentes de resistencia carecen de valor para su uso en Latinoamérica, ya que son susceptibles a otros patógenos o poseen características agronómicas indeseables. Otsyula *et al.* (1998) reportaron resultados de ensayos de campo en terrenos infestados con *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli*, *Rhizoctonia solani* Kühn y *Pythium* spp. donde probaron 374 genotipos de frijol procedentes de Kenia y 26 de Rwanda. Solamente en los genotipos de Rwanda se detectó resistencia a la

podrición de raíces por estos patógenos. Otros materiales que se han reportado como resistentes a la podrición por *Fusarium solani* son: 1) la variedad Hyden (PI578271) (Burke *et al.*, 1995); 2) la variedad Othello (Burke *et al.*, 1995b); 3) Black bean UI 911, (Myers *et al.*, 1997); 4) y Rosa Pink (Miller y Burke, 1986).

El mejoramiento de variedades de frijol por resistencia horizontal que se evaluaron en el presente trabajo, se realizó en la región de la Mixteca poblana desde 1988. Este programa consistió en el empleo de selección masal recurrente y segregación transgresiva para acumular poligenes de resistencia a varios patógenos. Se ejerció presión de selección por esos patógenos sobre poblaciones de frijol genéticamente variables. La variabilidad genética fue lograda mediante polinización manual. Para obtener altos niveles de resistencia cuantitativa contra BCMV (Virus del mosaico común del frijol) y contra el tizón bacteriano, no se buscó una “buena fuente de resistencia” como usualmente se hace en los programas tradicionales de mejoramiento genético, en lugar de eso, se empleó una amplia base genética de padres susceptibles elegidos entre razas locales de alto rendimiento y alta calidad. Durante el proceso de selección se generó colateralmente resistencia a patógenos del suelo debido a que las selecciones fueron realizadas en presencia natural de estos organismos y no se realizó ninguna práctica de control (García *et al.*, 2003)

2.9. Aspectos epidemiológicos de la resistencia

2.9.1. Medición de la enfermedad

La cuantificación de la enfermedad es una de las tareas más importantes y difíciles de la epidemiología de enfermedades de las plantas. La cuantificación de una enfermedad presente en un momento dado es una de las bases para poder obtener un modelo y, así lograr la interpretación de un patosistema. Estas mediciones pueden ser cuantitativas, cualitativas o una combinación de estos dos tipos. La cantidad de enfermedad presente se puede expresar como intensidad de la enfermedad. Dentro de esta intensidad se pueden distinguir medidas de incidencia y severidad de la enfermedad.

La incidencia de la enfermedad se refiere al número de plantas como unidades que están visiblemente enfermas, mientras que la severidad es el área o volumen del tejido de la planta que está enferma, con referencia al área o volumen total (Campbell y Madden, 1990).

En la medición de la enfermedad no hay sustituto a la experiencia en el conocimiento de los síntomas característicos para una enfermedad dada. Las escalas de rangos de la enfermedad y los diagramas estandarizados pueden, sin embargo, proveer de eficiencia, reproductibilidad y precisión de la medición así como servir de punto de referencia para efectos de comparación. Estas escalas proveen también de consistencia en la medición a través del tiempo y de diferentes evaluadores (Campbell y Madden, 1990).

La primera escala publicada para medir la intensidad de la enfermedad fue propuesta por Nathan Augustus Cobb, hecha para medir la intensidad de la roya de la hoja de los cereales en Australia. Este investigador realizó algunos dibujos de hojas mostrando diagramáticamente cinco grados de roya con 1, 5,10,25 o 50% del total de la hoja cubierta. Pudo comparar los dibujos con hojas reales y así dar un estimador de la severidad de la roya. El concepto de escala de Cobb se ha extendido para representar otras enfermedades de plantas (Campbell y Madden, 1990).

III. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Existen varios hongos patógenos del frijol en el suelo que causan la pudrición de la raíz. Estos patógenos se encuentran en la mayoría de las regiones donde se cultiva frijol. Por el hecho de tratarse de la raíz, no se pueden evaluar con precisión los daños, ya que causan mala germinación, pero también puede ser causada por semillas de mala calidad y condiciones físicas desfavorables del suelo, entre otras. Los primeros síntomas se presentan a nivel de la rizósfera, por lo que es difícil identificarlos (Michereff y Barros, 2001).

Las plagas, los patógenos y la nutrición vegetal son los factores limitantes preponderantes de la producción del frijol; particularmente cuando se trata de la interacción entre estos y otros factores como los relacionados al manejo del cultivo. Prácticas agrícolas como los sistemas de siembra, rotación de cultivos, incorporación de materia orgánica al suelo, contenido de humedad edáfica entre otras, han mostrado importantes interacciones con la técnica de fertilización y la disponibilidad de nutrientes. Por ejemplo *Fusarium* y *Rhizoctonia* son más prevalentes en suelos deficientes de zinc (Hoitink y Boehm, 1999).

Algunas prácticas culturales causan resultados favorables en la disminución de los daños a la raíz ocasionados por los patógenos antes mencionados, por ejemplo, al disminuir la compactación del suelo con un sistema de labranza profundo se reducen los daños a la raíz y las pérdidas en producción, debido a los cambios ocasionados en intercambio gaseoso al aumentar biomasa y con ello la producción (Tu y Tan, 1990). Al disminuir la densidad de siembra se reduce el

daño por *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli* y la posibilidad de infección por otros patógenos, sin embargo, esta práctica se ve afectada por las bajas temperaturas del suelo. Se ha observado que el manejo de las enfermedades en plantas es más satisfactorio cuando se implementa una combinación de prácticas agrícolas con el uso de variedades resistentes (Burke, 1965).

Actualmente, la nueva filosofía agrícola apunta hacia una agricultura orgánica, donde el uso de los plaguicidas se reduzca a lo mínimo posible. A través del tiempo, los Investigadores han demostrado que las plantas exudan una gran variedad de sustancias a través de la superficie de las raíces y de sus demás órganos aéreos; algunos de los compuestos que liberan ciertos tipos de plantas, al parecer tienen función inhibitoria ante el ataque de ciertos patógenos (Vázquez y Castellanos, 1997)

Debido a los problemas antes expuestos y a que hasta la fecha se carece de productos químicos que puedan controlar satisfactoriamente la pudrición de frijol por *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli* es necesario investigar otras alternativas diferentes del control químico para reducir la contaminación ambiental.

Por tal motivo, en el presente trabajo se explora la viabilidad de diferentes genotipos de frijol procedentes del Programa de Mejoramiento por Resistencia Horizontal del Colegio de Postgraduados para controlar esta enfermedad y mejorar el rendimiento de grano en la Vega de Metztlán, Hidalgo.

IV. OBJETIVOS

General

Evaluar el comportamiento de once variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en dos localidades de la Vega de Metztitlán, Hidalgo, México, en suelo naturalmente infestado por *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli*.

Específico

Evaluar el comportamiento de seis variedades mejoradas por resistencia horizontal con antecedentes de tolerancia a patógenos radicales y comparar su resistencia a *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli* con la de cinco variedades comerciales.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Zona de estudio

Se establecieron experimentos en dos localidades del valle de Metztitlán: Jilotla y Tochintla. El sitio experimental de Jilotla está ubicado en las coordenadas: 526490, 2272671 y el de Tochintla en 517842, 2283473, ambas en el sistema de referencia Universal Transverso de Mercator, Zona 14, Datum WGS84.

En la localidad de Jilotla el suelo es de textura arenosa, mientras que en Tochintla el suelo es del tipo migajón arcilloso. En ambos casos, la densidad del patógeno se evaluó mediante la cuantificación de unidades de infección en secciones de 10 cm de tallo ahiladas (Furuya *et al.*, 1999; Guzmán-Plazola *et al.*, 2004).

5.2. Tratamientos

Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con cuatro repeticiones; como tratamientos se evaluaron las diferentes variedades. En la localidad de Jilotla, cada parcela experimental consistió de tres surcos de 5 m de longitud, separados a 1.2 m entre sí; cada uno con dos hileras de siembra y un distanciamiento entre matas de 10 cm.

En la localidad de Tochintla, la distancia entre surcos fue de 80 cm y las plantas se sembraron en una sola línea a 10 cm entre sí. En la localidad de Jilotla se evaluaron cinco variedades comerciales: Flor de Junio, Flor de Mayo, Higuera,

Marsella y Ojo de Cabra. Las variedades seleccionadas dentro del Programa de Resistencia Horizontal del Colegio de Postgraduados que se compararon fueron: Hogar, Ixcaquixtla, Neia, Padres del séptimo ciclo de selección (P7C), Tepexi, y Xochitlán. Las variedades evaluadas en la localidad de Tochintla fueron las mismas que en Jilotla, pero en esta última se agregó el cultivar comercial Marsella.

5.3. Manejo de las variedades

En ambos experimentos la primera fertilización se realizó con superfosfato triple de calcio (18-46-00). En la segunda labor se aplicó sulfato de amonio, hasta completar una dosis por hectárea de 60-60-00. El riego y el control de plagas se realizó de acuerdo a las prácticas estándar de la región.

5.4. Evaluaciones

Se evaluó la autocorrelación espacial y se generó un semivariograma omnidireccional a partir de los datos de número de lesiones por tallo de frijol (Fig.1). Se estimó que la densidad natural de inóculo en ambos sitios experimentales fue razonablemente uniforme dentro de cada área experimental con áreas no mayores de 30 m por lado, ya que la autocorrelación espacial varió de 1 a 0.22 en un rango de distancia de 0 a 352 m.

La aseveración de uniformidad razonable es también sustentable con base al semivariograma reportado en la Figura 1 donde las distancias entre puntos de

muestreo menores a 352 m el sill es alcanzado con una semivarianza considerablemente mayor, en alrededor de los 2500 m (Isaaks y Srivastava, 1989).

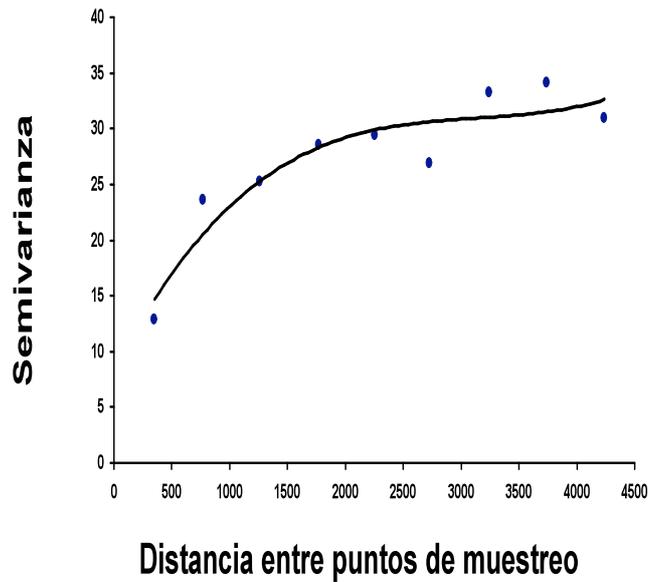


Figura. 1. Semivariograma omnidireccional generado a partir de los datos de número de lesiones por tallo de frijol (*Phaseolus vulgaris*) (evaluados por el método de Furuya *et. al.*, 1999) en suelos de 75 sitios de muestreo en la vega de Metztlán, Hidalgo, México.

En la etapa de floración e inicios de formación de vainas se colectaron dos plantas por tratamiento, en las que se evaluó la severidad del daño (SD) por *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli* en las raíces principales, severidad de pudriciones blandas en la raíces laterales, la nodulación por *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli*, el crecimiento lateral de raíces y el número de vainas. Al final del ciclo se evaluó el rendimiento de grano ajustado al 14% de humedad.

Tanto la nodulación como el crecimiento lateral de raíces fueron evaluados como un indicador complementario del estado de salud general del sistema radical y su habilidad para compensar el daño por *Fusarium*.

La SD se evaluó con base en una escala de 1 a 5 donde: 1 = ausencia de enfermedad, 2 = severidad baja, 3 = severidad media, 4 = severidad media-alta y 5 = severidad alta. La nodulación fue evaluada con base en una escala de 0 a 3, donde: 0 = ausencia de nódulos, 1 = baja nodulación, 2 = nodulación media y 3 = alta nodulación. El crecimiento de raíces laterales se evaluó con una escala similar a la nodulación. Para la implementación de cada una de estas evaluaciones se utilizaron claves pictóricas con fotografías a color, las cuales fueron reportadas por Guzmán-Plazola *et al.* (2004).

5.5. Análisis de datos

Donde fue aplicable se realizó un análisis de varianza y contrastes ortogonales mediante los procedimientos ANOVA y GLM del software SAS (Statistical Analysis System, versión 9.0, Cary North Carolina).

Los valores resultantes de la evaluación con escalas recibieron una transformación arcoseno antes de ser sometidos a comparaciones de medias. De acuerdo con la normalidad de los datos, se realizó un análisis de correlación mediante coeficientes de Pearson o Spearman, según el caso (Steel y Torrie, 1980).

VI. RESULTADOS

6.1. Experimento en Jilotla

Severidad de la pudrición radical por *Fusarium*. Las raíces principales del grupo de variedades mejoradas por resistencia horizontal (MRH) tuvo en promedio menor severidad de pudrición que las del conjunto de variedades comerciales (Cuadro 1). Dentro de este grupo, la variedad Hogar tuvo el menor valor promedio en esta variable debido a que la mayoría de las plantas no mostraron síntomas de la enfermedad. Los cultivares Xochitlán e Ixcaquixtla tuvieron una severidad estadísticamente igual a la variedad Hogar como al cultivar Neia, ya que sus promedios de severidad variaron entre 1.5 y 1.7, lo cual es indicativo de niveles de enfermedad que variaron entre nulos y bajos (Figura 2).

Los genotipos Padres del Séptimo Ciclo de selección (P7C) y Tepexi le siguieron en orden creciente de severidad y mostraron niveles de enfermedad predominantemente bajos, al igual que los genotipos Flor de Mayo y Flor de Junio, del grupo de variedades comerciales.

En las variedades comerciales, Higuera y Marsella tuvieron la mayor severidad, pero ésta resultó predominantemente media y estadísticamente mayor que la registrada en las variedades restantes.. La variedad Ojo de Cabra tuvo un valor medio de severidad de 2.6; indicativo de la ocurrencia de niveles de enfermedad de medios a bajos.

Severidad de pudriciones blandas en raíces laterales. El conjunto de variedades mejoradas por resistencia horizontal tuvo en promedio la menor severidad de pudriciones blandas en raíces laterales que las variedades comerciales (severidad 1.8 y 2.2, respectivamente, con ES = 0.1). El cultivar Hogar mostró también el menor valor con severidad de nula a baja(1.4), y fue seguido de las variedades Tepexi, Ixcaquixtla y Xochitlán, Flor de Junio y Neia (Figura 3), todas del grupo MRH, con excepción de la penúltima, las cuales mostraron bajo nivel de daños. El valor más alto en esta variable fue alcanzado por las variedades Marsella y Ojo de Cabra (2.4), con severidad baja a media, mientras que el resto de variedades tuvo niveles intermedios entre estos dos grupos. En diagnósticos realizados mediante medios de cultivos semiselectivos se observaron incidencias de *Pythium* spp. cercanas a 100% en segmentos de raíces de los diferentes cultivares.

Nodulación por *Rhizobium*. El grupo de variedades MRH tuvo niveles de nodulación significativamente más altos que los niveles en variedades comerciales locales (Cuadro 1). Dentro de este grupo, las variedades Hogar, P7C e Ixcaquixtla presentaron nodulación media, pero la alcanzada por el resto de variedades MRH, con excepción del cultivar Tepexi, el cual resultó numéricamente menor, fue estadísticamente igual a las anteriores y se ubicó en un nivel predominantemente medio.

La variedad Tepexi mostró nodulación de media a baja (1.6), estadísticamente igual tanto a Neia y Xochitlán como a la mayoría de las variedades comerciales,

quienes a su vez mostraron valores entre 1 y 1.4, indicativo de nodulación predominantemente baja (Figura 3).

Crecimiento de raíces laterales. El crecimiento de raíces laterales fue en promedio igual en ambos grupos de variedades (Cuadro 1). Al analizar el comportamiento individual se observaron diferencias significativas entre variedades, pero en general prevalecieron los valores medios, con excepción de los de las variedades Ojo de Cabra (comercial) y Xochitlán (MRH) que mostraron promedios de 1.6 y 1.7, respectivamente, lo que es indicativo de la ocurrencia de crecimiento predominantemente medio en algunas plantas con crecimiento escaso de raíces laterales (Figura 4).

Numero de vainas por planta. La producción de vainas fue en promedio significativamente más alta en el grupo de variedades MRH que la de los cultivares comerciales evaluados (Cuadro 2). Se observaron fuertes contrastes al interior de cada grupo de cultivares. El mayor número de vainas al momento de la evaluación se observó en el cultivar MRH Xochitlán, pero la variedad comercial Ojo de Cabra tuvo un promedio estadísticamente igual. Las variedades MRH P7C, Ixcaquixtla y Hogar y el genotipo comercial Flor de junio tuvieron valores intermedios que variaron de 11.3 a 15.3 vainas por planta, mientras que los cultivares MRH Neia, Tepexi y el genotipo comercial Higuera tuvieron menos de cinco vainas por planta (Figura 6).

Rendimiento de grano. En el caso de la producción de grano no se detectaron diferencias estadísticas entre los grupos de genotipos locales e introducidos (Cuadro 2), pero sí se registraron diferencias significativas a nivel individual. La variedad más rendidora fue el cultivar MRH Hogar, pero su rendimiento fue estadísticamente igual al de las variedades Neia e Ixcaquixtla. Las variedades comerciales Marsella, Flor de Junio, Flor de Mayo e Higuera tuvieron valores intermedios, en el rango de 1.4 a 1.7 ton/ha de grano, mientras que las variedades Tepexi y Ojo de Cabra tuvieron el menor rendimiento (Figura 7).

El número de vainas por planta y el rendimiento de grano mostraron tener correlación lineal inversa y estadísticamente significativa con la severidad de la pudrición en la raíz principal por *Fusarium solani* ($r = -0.3$ y $r = -0.5$, respectivamente). A su vez, el rendimiento de grano tuvo correlación positiva de 0.3 con el número de vainas y con el nivel de nodulación (Cuadro 3).

Cuadro 1. Severidad del daño por *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli* en la raíz principal, intensidad de nodulación y nivel de crecimiento de raíces laterales en variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris*) comerciales e introducidas*, cultivadas en la Vega de Metztlán, Hidalgo, México, localidad de Jilotla.**

Variedad	Severidad del daño		Nodulación por <i>Rhizobium leguminosarum</i> ^b		Crecimiento de raíces laterales ^c	
Variedades comerciales						
Marsella	3.3	a	1.3	cd	1.9	bcd
Higuera	3.3	a	1.3	cd	2.0	abc
Ojo de Cabra	2.6	b	1.4	bcd	1.6	e
Flor de mayo	2.1	c	1.3	cd	1.9	bcd
Flor de junio	1.9	cd	1.0	d	2.0	abc
Variedades introducidas						
Tepexi	2.2	c	1.6	abc	2.1	ab
P7C	1.9	cd	2.0	a	1.8	cde
Neia	1.7	de	1.8	ab	2.0	abc
Ixcaquixtla	1.6	def	2.0	a	1.8	cde
Xochitlán	1.5	ef	1.8	ab	1.7	de
Hogar	1.3	f	2.0	a	2.2	a
Contraste Ortogonal						
Comerciales	2.6	AS	1.2		1.9	
Introducidas	1.7		1.9	S	1.9	NS

*Procedentes del programa de Resistencia Horizontal del Colegio de Postgraduados.

**En cada columna, las medias que tienen la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, P=0.05). Cálculos estadísticos realizados con medias sujetas a transformación arcoseno. Se reportan promedios originales.

^{a, b, c} Evaluadas con base en las escalas pictóricas de Guzmán Plazola *et. al.* (2004).

^a 1 = ausencia de enfermedad, 2 = severidad baja, 3 = severidad media, 4 = severidad media-alta y 5 = severidad alta.

^b: 0 = ausencia de nódulos, 1 = baja nodulación, 2 = nodulación media y 3 = alta nodulación.

^c 0 = sin raíces laterales, 1 = escasas raíces laterales, 2 = crecimiento medio de raíces laterales y 3 = abundantes raíces laterales.

AS=Altamente significativo, S = Significativo y NS = No significativo.

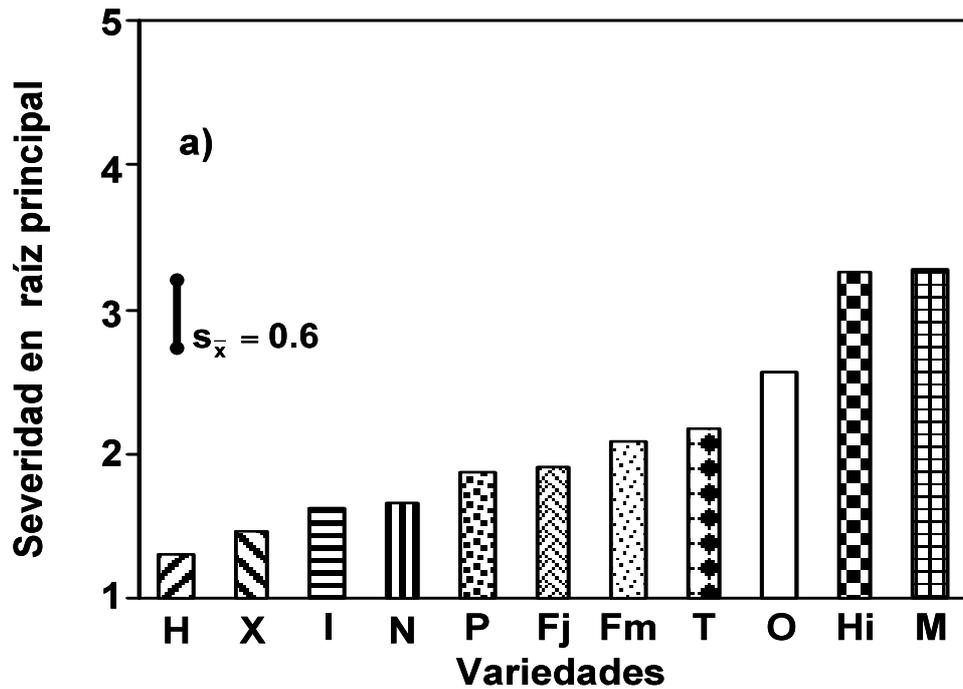


Figura 2. Severidad de la pudrición por *F. solani* f. sp. *phaseoli* en la raíz principal de variedades de frijol comerciales y mejoradas por resistencia horizontal, cultivadas en Jilotla, Mpio. de Metztlán, Hgo. Fj = Flor de junio, Fm = Flor de mayo, H = Hogar, Hi = Higuera, I = Ixcaquixtla, M = Marsella, N = Neia, O = Ojo de Cabra, P = Padres del Séptimo Ciclo de selección, T = Tepeji y X = Xochitlán.

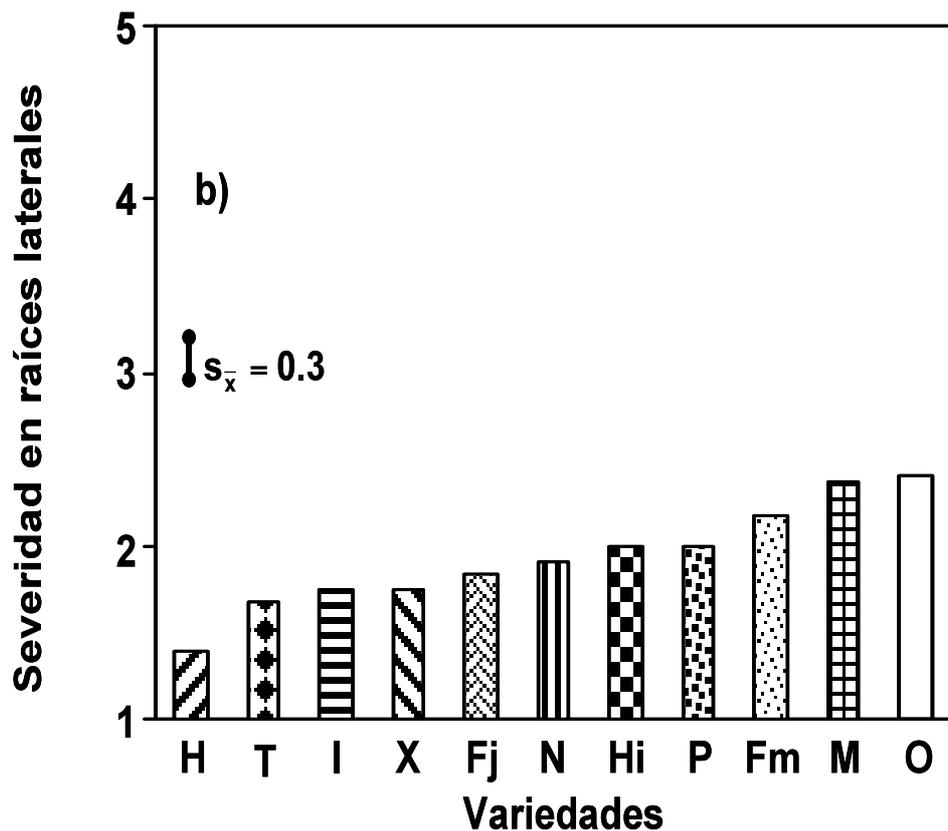


Figura 3. Severidad de las pudriciones blandas en las raíces laterales de variedades de frijol comerciales y mejoradas por resistencia horizontal, cultivadas en Jilotla, Opio. de Metztlán, Hgo. Fj = Flor de junio, Fm = Flor de mayo, H = Hogar, Hi = Higuera, I = Ixcaquixtla, M = Marsella, N = Neia, O = Ojo de Cabra, P = Padres del Séptimo Ciclo de selección, T = Tepeji y X = Xochitlán.

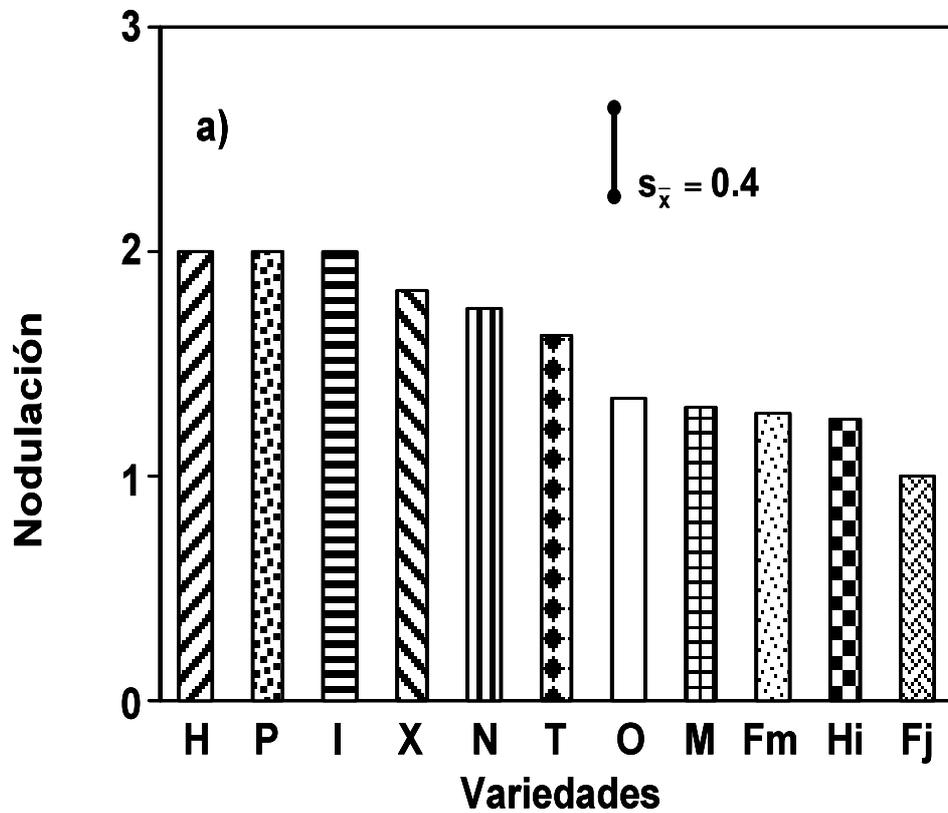


Figura 4. Nodulación por *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli* en variedades de frijol comerciales y mejoradas por resistencia horizontal, cultivadas en la localidad de Jilotla, Mpio. de Metztlán, Hgo. Fj = flor de junio, Fm = Flor de mayo, H = Hogar, Hi = Higuera, I = Ixcaquixtla, M = Marsella, N = Neia, O = Ojo de Cabra, P = Padres del Séptimo Ciclo de selección, T = Tepeji y X = Xochitlán.

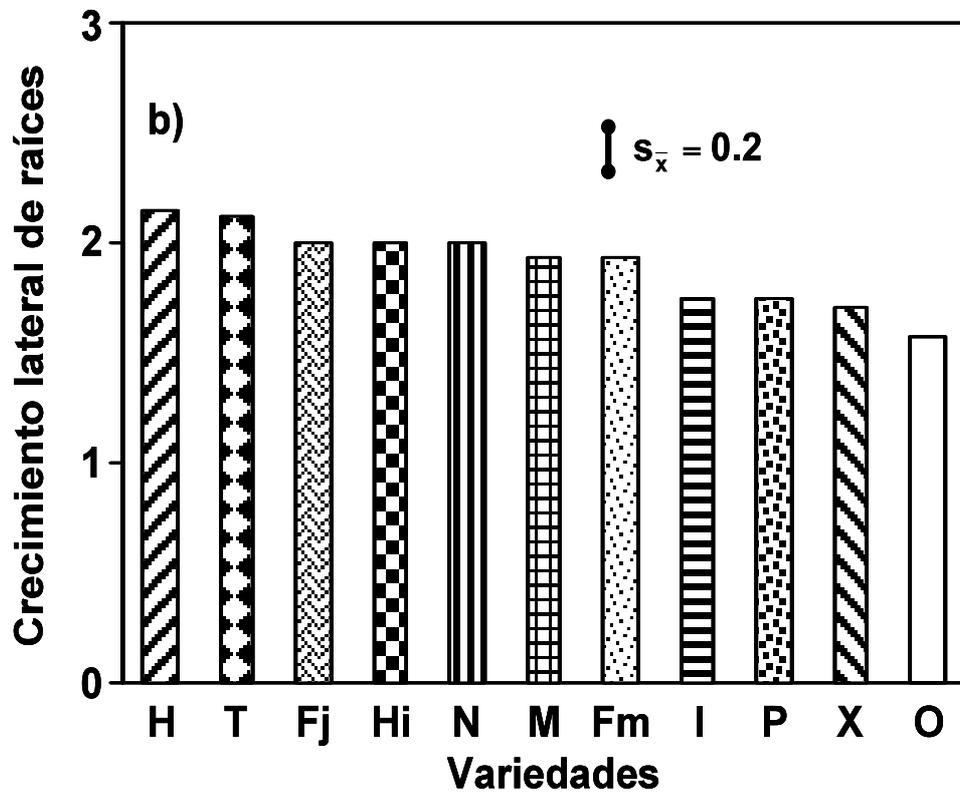


Figura 5. Crecimiento lateral de raíces en variedades de frijol comerciales y mejoradas por resistencia horizontal, cultivadas en la localidad de Jilotla, Mpio. de Metztlán, Hgo. Fj = Flor de junio, Fm = Flor de mayo, H = Hogar, Hi = Higuera, I = Ixcaquixtla, M = Marsella, N = Neia, O = Ojo de Cabra, P = Padres del séptimo ciclo de selección, T = Tepeji y X = Xochitlán.

Cuadro 2. Rendimiento de grano, y número de vainas* en variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris*) comerciales e introducidas**, cultivadas en la Vega de Metztlán, Hidalgo, México.***

Variedad	Rendimiento en Jilotla ton/ha		Número de vainas en Jilotla		Número de vainas en Tochintla	
Variedades comerciales						
Marsella	1.7	bc	8.5	cde	-	
Flor de junio	1.6	bc	11.3	bcd	3.8	c
Flor de mayo	1.6	bcd	6.8	de	0.8	d
Higuera	1.4	cde	2.8	e	3.5	c
Ojo de Cabra	0.9	e	17.5	ab	0.8	d
Variedades introducidas						
Hogar	2.5	a	11.8	bcd	5.7	b
Neia	2.1	ab	4.3	e	2.0	d
Ixcaquixtla	2.0	ab	14.5	bc	2.0	d
P 7C	1.9	b	15.3	b	1.0	d
Xochitlán	1.1	de	22.3	a	7.3	a
Tepexi	1.0	e	3.5	e	4.0	c
Contraste Ortogonal						
Comerciales	1.4		9.4		2.2	
Introducidas	1.6	NS	12.0	S	3.3	S

* Evaluado en plena floración e inicio de llenado de vainas. En Tochintla la evaluación se realizó una semana antes que en Jilotla.

**Procedentes del Programa de Resistencia Horizontal del Colegio de Postgraduados

***En cada columna, las medias que tienen la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey P=0.05).

S = Significativo y NS = No significativo.

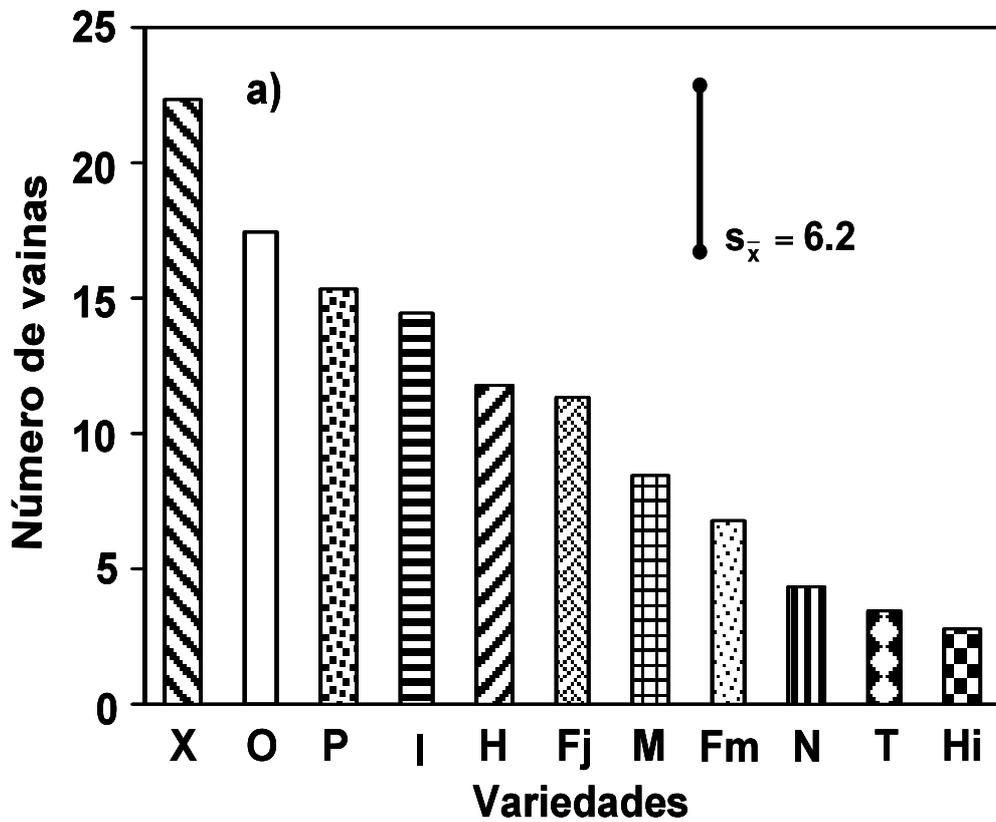


Figura 6. Número de vainas de las variedades de frijol comerciales y mejoradas por resistencia horizontal, cultivadas en la localidad de Jilotla, Mpio. de Metztitlán, Hgo. Fj = Flor de junio, Fm = Flor de mayo, H = Hogar, Hi = Higuera, I = Ixcaquixtla, M = Marsella, N = Neia, O = Ojo de Cabra, P = Padres del séptimo ciclo de selección, T = Tepeji y X = Xochitlán.

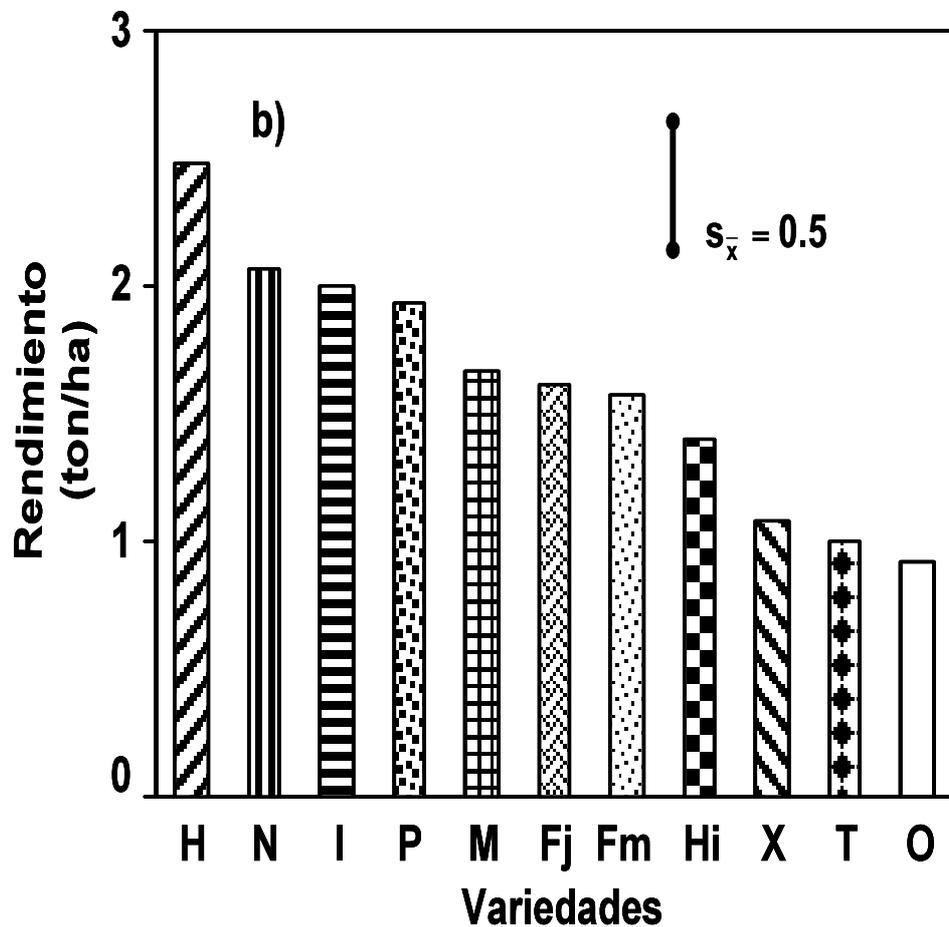


Figura 7. Rendimiento de grano de variedades de frijol comerciales y mejoradas por resistencia horizontal, cultivadas en la localidad de Jilotla, Mpio. de Metztlán, Hgo. Fj = Flor de junio, Fm = Flor de mayo, H = Hogar, Hi = Higuera, I = Ixcaquixtla, M = Marsella, N = Neia, O = Ojo de Cabra, P = Padres del séptimo ciclo de selección, T = Tepeji y X = Xochitlán.

Cuadro 3. Correlaciones lineales que resultaron significativas* en los experimentos de evaluación de la resistencia de variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris*) a *Fusarium solani* f.sp. *phaseoli* en la Vega de Metztitlán, Hidalgo, México.

Variable 1	Variable 2	Correlación lineal (Spearman)
Jilottla		
Número de vainas por planta	Severidad de la pudrición por <i>F. solani</i> en raíz principal	-0.3
Rendimiento de grano	Severidad de la pudrición por <i>F. solani</i> en raíz principal	-0.5
Rendimiento de grano	Número de vainas por planta	0.3
Rendimiento de grano	Nivel de nodulación	0.3
Tochintla		
Número de vainas por planta	Severidad de la pudrición por <i>F. solani</i> en raíz principal	-0.3

* Según la prueba de t ($P \leq 0.5$).

6.2 Experimento en Tochtintla

Severidad de la pudrición radical por *Fusarium*. En esta localidad el conjunto de variedades MRH tuvo en promedio menor severidad de pudrición que la registrada por el grupo de variedades comerciales en estudio (Cuadro 4).

A nivel individual, el cultivar MRH P7C no mostró síntomas de pudrición por *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli* (severidad 1.0). A diferencia del nivel de severidad en plantas jóvenes de la variedad Flor de Junio (severidad 3.8), la cual es la mas utilizada en la región. (Figura 8). Le siguieron en orden creciente los genotipos MRH Xochitlán y Tepexi y la variedad comercial Flor de Mayo, que tuvieron valores entre 2.4 y 2.7, estadísticamente iguales entre sí, e indicativos de un nivel de severidad de bajo a medio (Figura 9).

El resto de genotipos en ambos grupos tuvo valores de 2.9 a 3.8, sin diferencias estadísticamente significativas entre sí; lo que indica que la severidad varió de media a predominantemente media-alta. Por ejemplo, la severidad del daño a la raíz por *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli* en plantas adultas de la variedad Flor de Junio (Figura 10).

Severidad de pudriciones blandas en raíces laterales. La pudrición blanda en las variedades mejoradas por resistencia horizontal fue en promedio similar a la observada en el grupo de variedades comerciales (severidad 2.2 y 2.1, respectivamente, con ES = 0.1). El genotipo P7C tuvo la menor severidad y mostró bajo nivel de enfermedad o ausencia de síntomas (Figura 11). Los

cultivares Ixcaquixtla, Flor de Junio, Xochitlán y Flor de Mayo le siguieron en orden creciente pero su severidad se ubicó dentro del rango de variación observado en la variedad P7C. Similarmente los cultivares Tepexi, Higuera, Ojo de Cabra y Neia aunque tuvieron niveles de daño bajos a medios, su rango de variación se traslapó con el grupo anterior. El valor más alto en esta variable fue observado en el cultivar Hogar, quien mostró severidad predominantemente media (3.3).

En las evaluaciones de severidad del daño de la enfermedad realizadas a las raíces de frijol en ambos experimentos, los géneros de hongos más frecuentemente detectados fueron *Fusarium* y *Pythium*, en casos excepcionales *Rhizoctonia* fueron sin embargo, no se realizaron evaluaciones específicas para determinar con certidumbre el papel de los dos últimos microorganismos en la ocurrencia de los síntomas. La identificación de *Fusarium solani* fue confirmada, además de los síntomas, con base a claves taxonómicas específicas (Nelson *et al.*, 1983).

Nodulación por *Rhizobium*. Aunque el conjunto de variedades MRH tuvo un nivel de nodulación numéricamente más alto que el de las variedades comerciales, la comparación de medias no reveló diferencias significativas entre grupos (Cuadro 4). Los cultivares MRH Hogar, Xochitlán, Ixcaquixtla y la variedad comercial Flor de Junio mostraron los niveles más altos, con nodulación predominantemente media. La variedad Hogar presentó el nivel de nodulación más alto y ausencia de síntomas visibles de la pudrición (Figura 12), mientras que en el resto de las variedades registraron niveles de nodulación entre 1.2 y 1.5, indicativo de

asociación simbiótica limitada entre *Rhizobium* y las plantas de esos cultivares (Figura 13).

Crecimiento de raíces laterales. No se detectaron diferencias significativas entre grupos de variedades en el crecimiento de raíces laterales pero sí las hubo a nivel individual (Cuadro 4).

En general los valores más altos correspondieron a la variedades MRH donde los cultivares Hogar, Tepexi, Ixcaquixtla y Neia y al cultivar comercial Flor de Mayo, quienes fueron estadísticamente iguales entre sí, con un rango de variación de 2 a 2.4, indicativo de un crecimiento predominantemente medio de raíces laterales (Figura 14, 15).

El resto de genotipos, con excepción de la variedad comercial Ojo de Cabra, que tuvo un promedio de 1.5, mostró valores de 1.8 a 1.9 y fueron estadísticamente iguales entre sí.

Numero de vainas por planta. El grupo MRH produjo en promedio más vainas por planta que las variedades comerciales (Cuadro 2 y Figura 16). A Nivel individual, la mayor producción de vainas por planta ocurrió en los cultivares MRH Xochitlán y Hogar. Le siguieron en orden decreciente la variedad MRH Tepexi y las variedades comerciales Flor de Junio e Higuera, quienes tuvieron valores de alrededor de cuatro vainas por planta.

Los cultivares MRH Neia e Ixcaquixtla tuvieron dos vainas, mientras que las variedades comerciales restantes tuvieron promedios cercanos a una vaina por planta. La producción de vainas por planta tuvo una correlación lineal de -0.3 con la severidad de la pudrición en la raíz principal por *F. solani* f. sp. *phaseoli*.

Rendimiento de grano En esta localidad se dificultó evaluar el rendimiento debido a que el lote experimental resultó perturbado por un proceso de arrastre y deposición de sedimentos procedentes de las laderas circundantes; fenómeno típico en la región durante la temporada de lluvias, debido a las altas pendientes de las serranías que circundan la Vega.

Cuadro 4. Severidad del daño causado por *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli* en la raíz principal, intensidad de la nodulación y nivel de crecimiento de raíces laterales en variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris*) comerciales e introducidas*, cultivadas en la Vega de Metztlán, Hidalgo, México, localidad de Tochtintla.**

Variedad	Severidad del daño		Nodulación por <i>Rhizobium leguminosarum</i> ^b		Crecimiento lateral de raíces ^c	
Variedades comerciales						
Flor de junio	3.8	a	1.7	abc	1.9	bcd
Ojo de Cabra	3.6	ab	1.2	cd	1.5	d
Higuera	2.9	abc	1.3	bcd	1.9	bcd
Flor de mayo	2.7	bc	1.0	d	2.0	abc
Variedades introducidas						
Neia	3.8	a	1.2	cd	2.1	abc
Hogar	3.4	ab	2.0	a	2.4	a
Ixcaquixtla	2.9	abc	1.8	ab	2.2	abc
Tepexi	2.7	bc	1.2	cd	2.3	ab
Xochitlán	2.4	c	1.9	a	1.8	cd
P7C	1.0	c	1.5	abcd	1.8	cd
Contraste Ortogonal						
Locales	3.3	S	1.3		1.8	
Introducidas	2.5		1.7	NS	2.1	NS

*Procedentes del programa de Resistencia Horizontal del Colegio de Postgraduados.

**En cada columna, las medias que tienen la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, P=0.05). Cálculos estadísticos realizados con medias sujetas a transformación arcoseno. Se reportan promedios originales.

^{a, b, c} Evaluadas con base en las escalas pictóricas de Guzmán Plazola *et. al.* (2004).

^a 1 = ausencia de enfermedad, 2 = severidad baja, 3 = severidad media, 4 = severidad media-alta y 5 = severidad alta.

^b: 0 = ausencia de nódulos, 1 = baja nodulación, 2 = nodulación media y 3 = alta nodulación.

^c 0 = sin raíces laterales, 1 = escasas raíces laterales, 2 = crecimiento medio de raíces laterales y 3 = abundantes raíces laterales.

S = Significativo y NS = No significativo.



Figura 8. Síntomas del daño a la raíz por *F. solani* f. sp. *phaseoli* en plantas jóvenes (de 7 días de edad) de la variedad Flor de Junio.

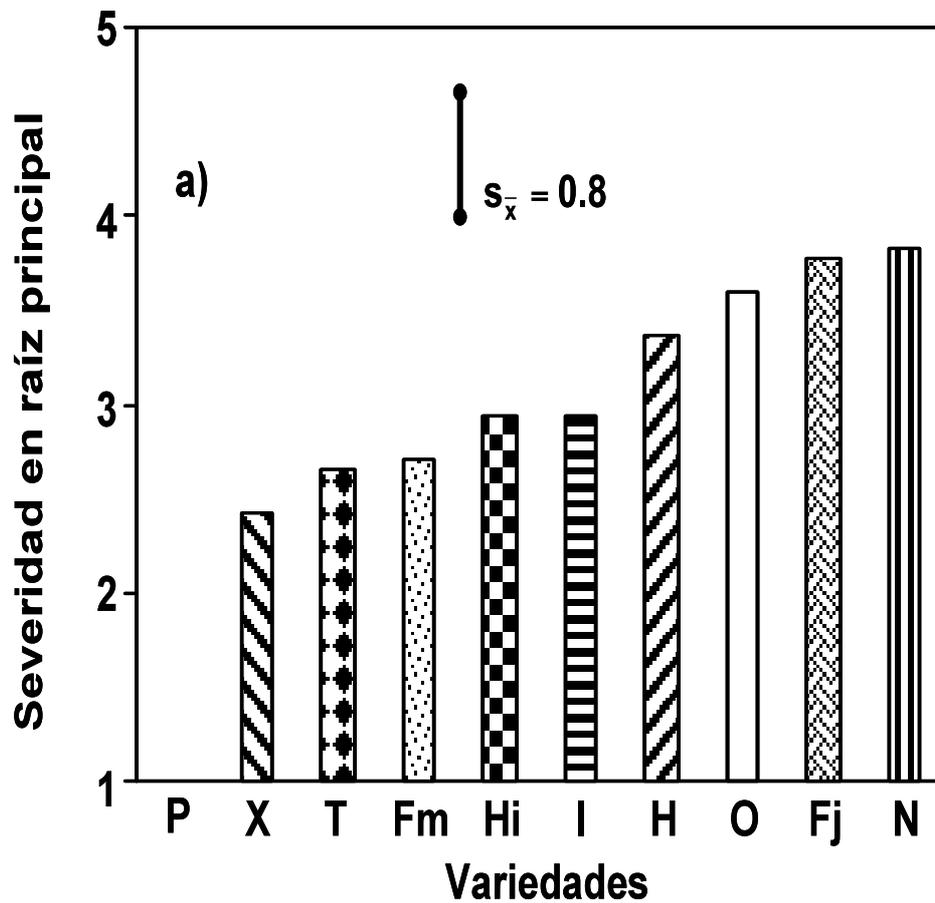


Figura 9. Severidad de la pudrición por *F. solani* f. sp. *phaseoli* en la raíz principal de variedades de frijol comerciales y mejoradas por resistencia horizontal, cultivadas en Tochintla, Opio. de Metztlán, Hgo. Fj = Flor de junio, Fm = Flor de mayo, H = Hogar, Hi = Higuera, I = Ixcaquixtla, N = Neia, O = Ojo de Cabra, P = Padres del Séptimo Ciclo de selección, T = Tepeji y X = Xochitlán.

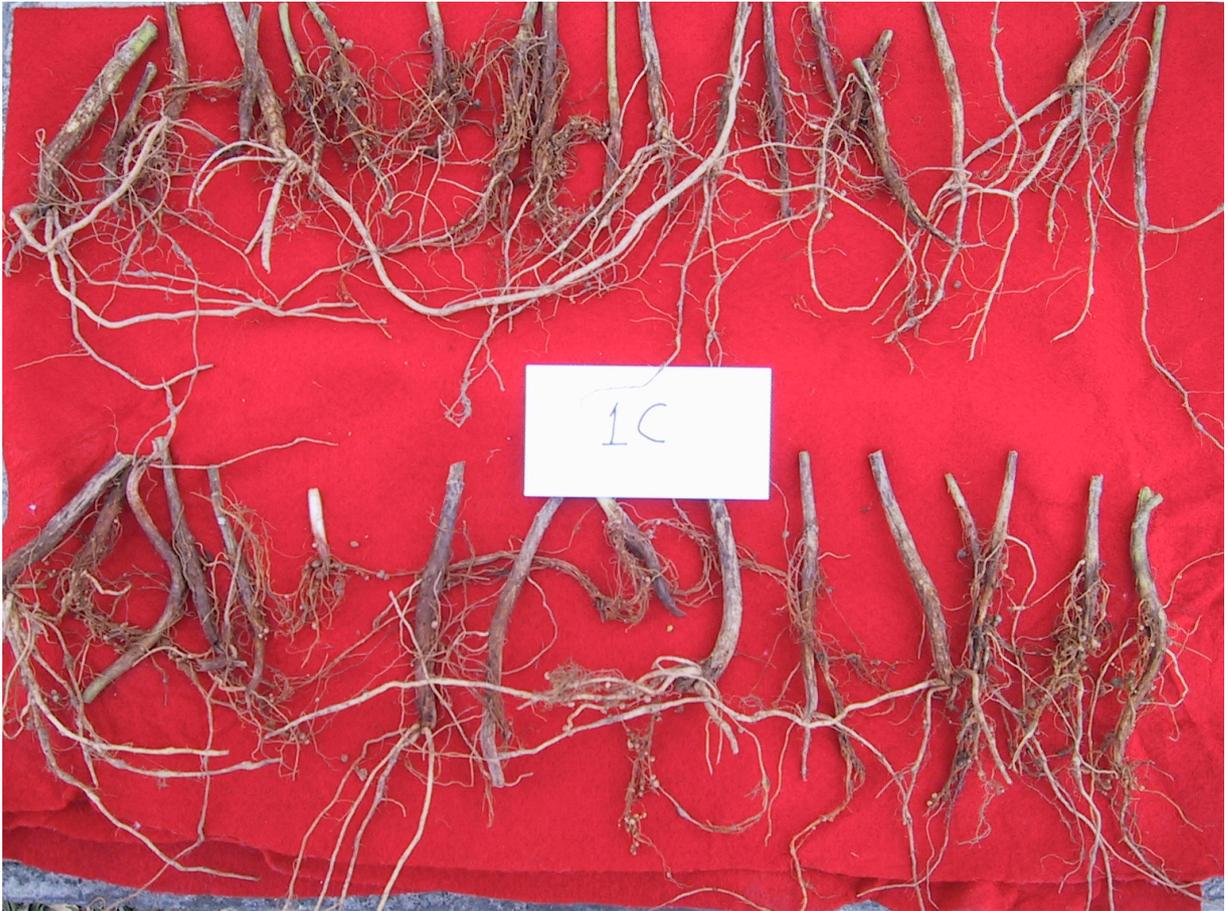


Figura 10. Síntomas del daño a la raíz por *F. solani* f. sp. *phaseoli* en plantas adultas de la variedad Flor de Junio

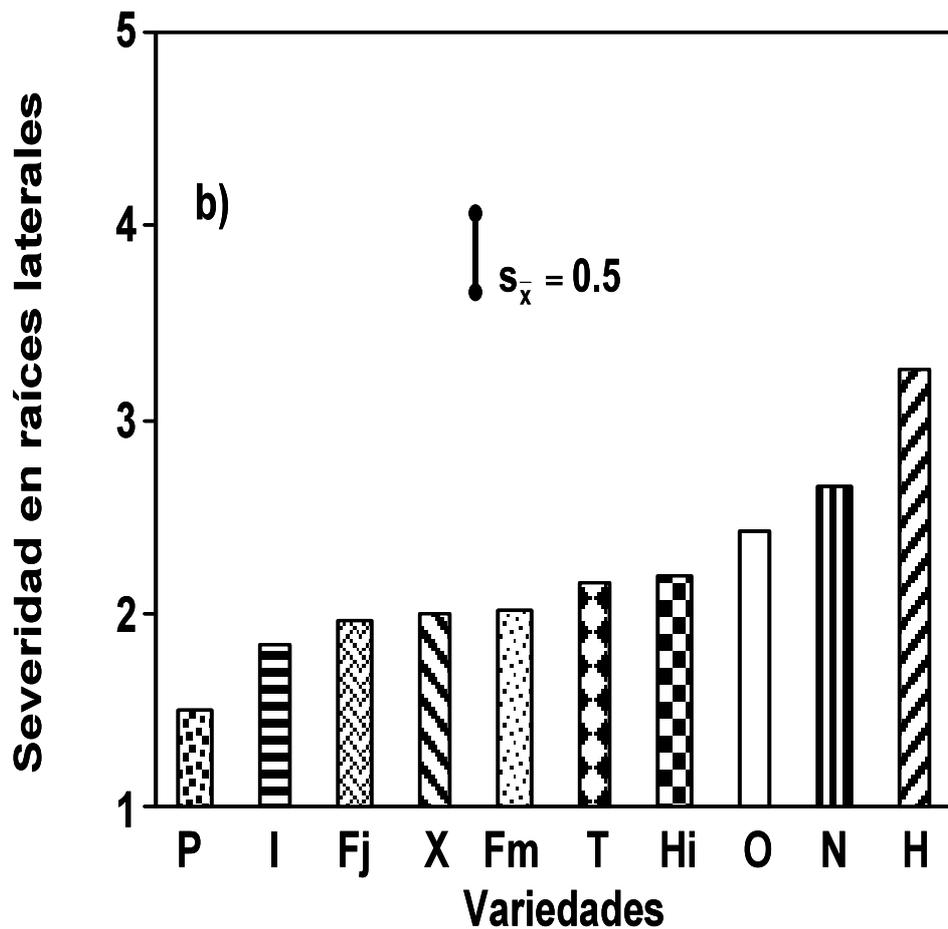


Figura 11. Severidad de pudriciones blandas en raíces laterales de variedades de frijol comerciales y mejoradas por resistencia horizontal, cultivadas en Tochintla, Mpio. de Metztlán, Hgo. Fj = Flor de junio, Fm = Flor de mayo, H = Hogar, Hi = Higuera, I = Ixcaquixtla, N = Neia, O = Ojo de Cabra, P = Padres del Séptimo Ciclo de selección, T = Tepeji y X = Xochitlán.



Figura 12. Nodulación por *Rhizobium* en plantas de la variedad Hogar. Nótese ausencia de síntomas visibles de pudrición seca por *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli*.

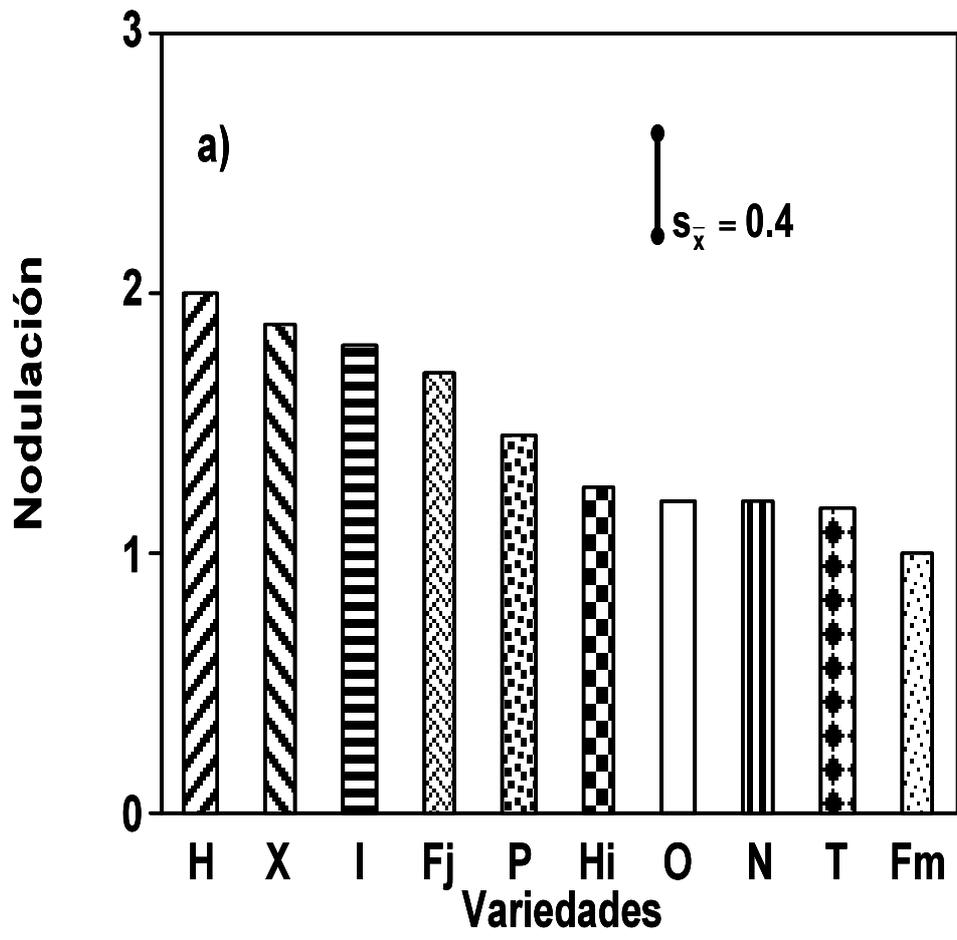


Figura 13. Nodulación por *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli* en variedades de frijol comerciales y mejoradas por resistencia horizontal, cultivadas en la localidad de Tochintla, Mpio. de Metztlán, Hgo. Fj = Flor de junio, Fm = Flor de mayo, H = Hogar, Hi = Higuera, I = Ixcaquixtla, N = Neia, O = Ojo de Cabra, P = Padres del Séptimo Ciclo de selección, T = Tepeji y X = Xochitlán.

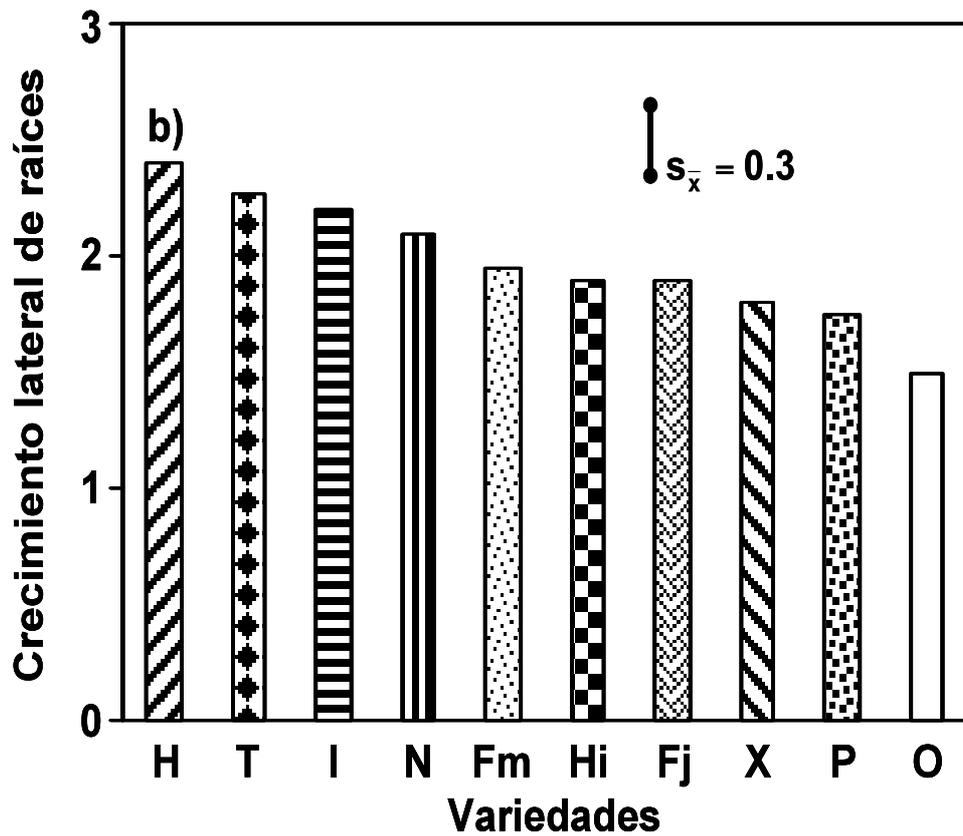


Figura 14. Crecimiento lateral de raíces en variedades de frijol comerciales y mejoradas por resistencia horizontal, cultivadas en la localidad de Tochintla, Mpio. de Metztlán, Hgo. Fj = Flor de junio, Fm = Flor de mayo, H = Hogar, Hi = Higuera, I = Ixcaquixtla, N = Neia, O = Ojo de Cabra, P = Padres del Séptimo Ciclo de selección, T = Tepeji y X = Xochitlán.



Figura 15. Daño en la raíz pivotante y respuesta de crecimiento lateral en la variedad Flor de Junio.

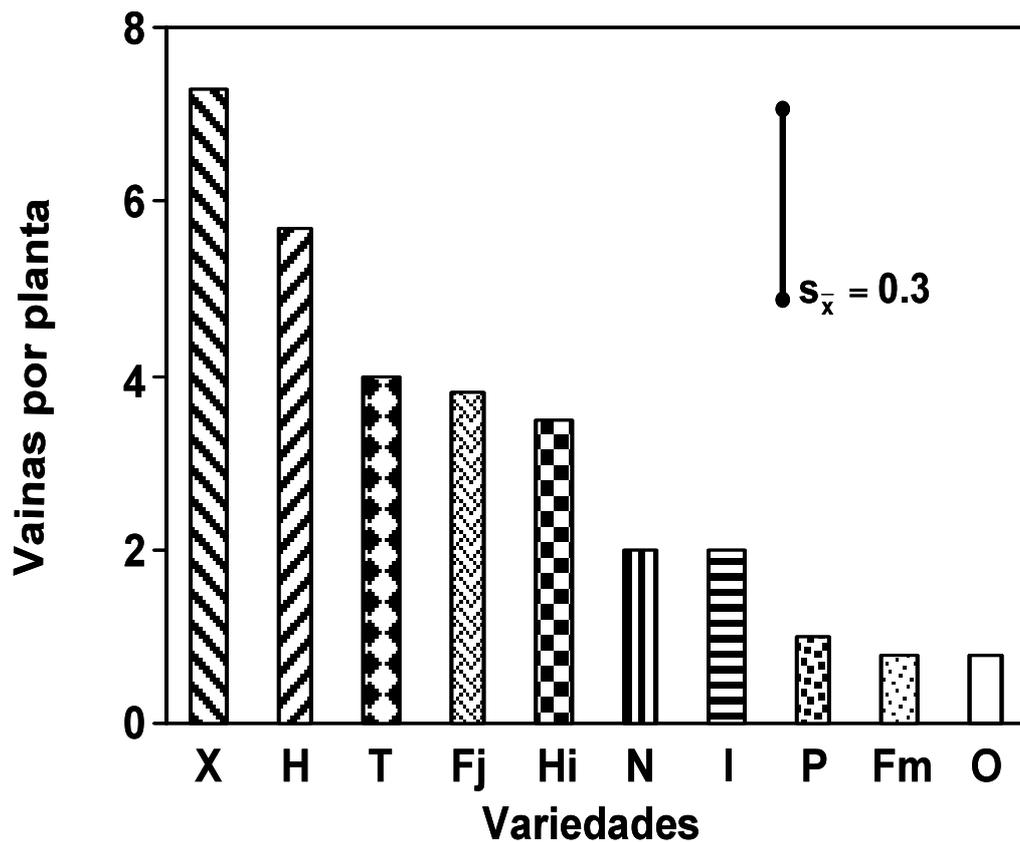


Figura 16. Número de vainas por planta en variedades de frijol comerciales y mejoradas por resistencia horizontal, cultivadas en la localidad de Tochintla, Mpio. de Metztitlán, Hgo. Fj = Flor de junio, Fm = Flor de mayo, H = Hogar, Hi = Higuera, I = Ixcaquixtla, N = Neia, O = Ojo de Cabra, P = Padres del séptimo ciclo de selección, T = Tepeji y X = Xochitlán.

VII. DISCUSIÓN

De acuerdo con Estevez de Jensen (2002), tanto el rendimiento de grano como el crecimiento de las plantas son la resultante de un conjunto multifactorial de variables, entre las que se incluyen las variables consideradas en este trabajo. El mayor rendimiento de grano del conjunto de las variedades MRH en Jilotla respecto al rendimiento de las variedades comerciales, fue parcialmente determinado por la menor severidad de pudrición en las raíces principales ($r = -0.5$). Estas variedades MRH presentaron mayor capacidad de asociación simbiótica con *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli* ($r = 0.3$) y registraron mayores índices de nodulación, mayor capacidad de producción de vainas, ya que las plantas tuvieron, en general mayor número de vainas (Cuadro 1). La ocurrencia de una asociación negativa y significativa entre la pudrición radical por *Fusarium* y el número de vainas por planta de las variedades comerciales y MRH, en la localidad de Tochimtlá es indicativo de que las tendencias observadas en Jilotla son reproducibles en ambas localidades (Cuadro, 2).

Las diferencias en los niveles de pudrición por *Fusarium* y la severidad de las pudriciones blandas del sistema radical, típicas de *Pythium* spp., entre localidades pueden estar asociadas a variaciones en el nivel de inóculo del patógeno y en la textura de los suelos entre localidades. Esta última variable pudo ser afectada por diferencias en el régimen hídrico, ya que en Tochimtlá el suelo es arcilloso, mientras que en Jilotla es arenoso. En trabajos previos se ha reportado que los suelos pesados favorecen el ataque de *Fusarium solani* (Burke, 1965; O'Brien et al., 1991).

Las similitudes entre la incidencia y severidad de las pudriciones blandas típicas de *Phytium spp.* y las causadas por *F. solani*, son un indicativo de la asociación sinergista de ambos patógenos (Estevez de Jensen, 2002).

Las variedades mejoradas por resistencia horizontal, tuvieron en general, mejor desempeño que las variedades comerciales. En promedio mostraron mayor tolerancia a la pudrición radical por *Fusarium solani* y mayor nodulación por *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli*, con algunas variedades sobresalientes, tales como Hogar, Padres del Séptimo ciclo, Xochitlán y para el caso de Jilota, el cultivar Ixcaquixtla (Cuadro,1). En estos genotipos la severidad de la pudrición varió de predominantemente nula a baja. Aunque la severidad de daño causado por *Fusarium solani* fue consistentemente menor en la localidad de Jilota que en Tochintla resalta en este último caso la variedad Hogar, quien no mostró síntomas de la enfermedad en este experimento, por lo que resulta un genotipo promisorio para su adopción en suelos arcillosos de la región.

El uso de variedades con resistencia horizontal puede combinarse con otras prácticas de control para reducir las pérdidas causadas por *Fusarium solani* y *Pythium spp.* Los genotipos con este tipo de resistencia también pueden ser utilizados como base para un programa de fitomejoramiento junto con los cultivares locales de mayor preferencia por de los agricultores de la región.

Los resultados obtenidos en este trabajo son consistentes con lo reportado para genotipos MRH del mismo programa de resistencia del Colegio de Postgraduados, evaluados en localidades de la Mixteca Poblana (García *et al.*,

2003) y son una evidencia a favor del uso de poligenes en las estrategias de mejoramiento genético por resistencia a enfermedades radicales en este cultivo. Bajo este enfoque no se buscan genes específicos que permitan evitar la infección por patógenos, partiendo de la creación de una base genética amplia con plantas susceptibles. A partir de esta base se realiza selección en busca de caracteres deseables, incluidos entre ellos la tolerancia a enfermedades múltiples y la mejora en el rendimiento (Robinson, 1987).

Los materiales MRH evaluados proceden de un programa desarrollado bajo condiciones climáticas y edafológicas un tanto distintas al área donde se realizó este trabajo, y tienen además la cualidad de ser genotipos segregantes, de tal forma que es posible emplearlos en un proceso de selección subsecuente por rendimiento de grano y tolerancia a la pudrición radical por *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli* en la Vega de Metztlán.

VIII. CONCLUSIONES

- Las variedades mejoradas por resistencia horizontal Hogar, Ixcaquixtla, Neia, Padres del Séptimo Ciclo de selección (P7C), Tepexi, y Xochitlán con antecedentes de tolerancia a patógenos radicales, mostraron mayor resistencia a la pudrición seca causada por *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli* que las variedades comerciales de uso común en la Vega de Metztlán. Sobresalieron entre ellas, la variedad Hogar quien no presentó síntomas de la enfermedad, en la localidad de Tochintla.
- Las variedades comerciales Flor de Junio, Flor de Mayo, Higuera, Marsella y Ojo de Cabra registraron mayores niveles en la severidad de pudrición por *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli*. pero menor nodulación por *Rizobium leguminosarum* bv. *phaseoli* que las variedades mejoradas por resistencia horizontal.
- En general el conjunto de variedades mejoradas por resistencia horizontal, mostró un mejor rendimiento de grano cuando se compararon con las variedades comerciales Las variedades Hogar, Neia e Ixcaquixtla produjeron 2.5, 2.1 y 2.0 ton/ha de grano, respectivamente, superando al producido por las variedades comerciales las cuales registraron de 0.9 a 1.7 ton/ha de grano.

IX. LITERATURA CITADA

- Acosta, G. J. A, y Pérez H. P. 2003. La situación de cultivo de frijol en México. Programa de frijol de INIFAP. Chapingo, Edo. de México. 76 p.
- Ayala B. L.B. 1984. Evaluación preliminar de la eficiencia de *Rhizobium* de mani aislado de cuatro zonas geográficas de Venezuela. *Agronomía Tropical*. 35-353-356.
- Azpíroz Riveros, Vargas H. S., y Alvarado V. P., Maragua M. S., Ortega J. S., Montero A. J., Acosta T. V. 2003. Caracterización morfológica, fisiológica y fitopatológica de 200 colectas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), con a la énfasis a la resistencia a roya (*Uromyces appendiculatus*) mediante el empleo de marcadores genéticos moleculares. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y pecuarias. Chapingo, Edo. de México, 89 p.
- Barnett H. L., B.B. Hunter, (1981), *Illustrated genera of imperfect fungi*, 4th Ed., Burgess Mcmillan Publishing Company New York
- Beebe, S.E., Bliss, F.A., and Schwartz, H.F. 1981. Root rot resistance in common bean germplasm of Latin American origin. *Plant Disease* 65:485-489.
- Bettiol, W. 1996. Biological control in plant pathogens in Brasil. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*. 12 505-510.
- Bernal G.R., Estevez de Jensen C., Berkum P. and Graham P.H. 2004 Characteristics of rhizobia nodulating beans in the central region of Minnesota. *Canadian Journal of Microbiology*. 50:1023-1031.
- Bezdicek, D.F., Vigue, G.T., and Burke, D. 1981. Effect of soil fumigation on N₂ fixation and yield of field bean when grown in *Fusarium*-infested soils. *Agronomy Journal* 73:1062-1065.

- Burke, D.W. 1965. *Fusarium* root rot of beans and behavior of the pathogen in different soils. *Phytopathology* 55:1122-1126.
- Burke, D.W., Silbernagel, M.J., Kraft, J.M., and Koehler, H.H. 1995. La registration of Hyden pea bean. *Crop Science* 35:942.
- Burke, D.W., Silbernagel, M.J., Kraft, J.M., and Koehler, H.H. 1995. Registration of 'Othello' pinto bean. *Crop Science* 35:943.
- Campbell, C.L., and Madden, L.V. 1990. Introduction to plant disease epidemiology. First Edition. Jhon Willey & Sons, Inc. New York. U.S.A. 528 p.
- Castañeda. R.P. 1985. Fitogenotecnia básica y aplicada. Primera edición, AGT. Editor, S.A. México, D.F. 219 p.
- Cardoso, J.E., Silva, S.A.G., Márquez, E.E. 1997. Chemical and biological control of bean root rots. *Fitopatologia Brasileira* 22:39-44.
- Cepeda S. M., 1984. Revisión Bibliografica de las enfermedades causadas por *Fusarium spp.*, Departamento de Parasitología Agrícola UAAAN Saltillo Coahuila 87 p.
- CEA. 2005. Situación actual y perspectiva de la producción de frijol en México 2000-2005. Centro de estadística agropecuaria, SAGARPA México 96 p.
- Cruz-I., P. Ramírez-V., R. García-E., F. castillo-G y J.S. Sandoval-I. 2002. Respuesta a la selección recurrente para resistencia a tizon común en frijol. *Revista Fitotecnia Mexicana*, In press.
- Delgadillo, F. (Editor). 1990. Memorias del simposio: Resistencia genética a enfermedades en cultivos de importancia en México. SARH, INIFAP, CONACYT. 68p.

- Dorrance, A.E., Kleinhenz, M.D., Mc Clure, S.A., and Tuttle, N.T. 2003. Temperature, moisture, and seed treatment effects on *Rhizoctonia solani* root rot of soybean. *Plant Dis.* 87:533-538.
- Estevez de Jensen C., Meronuck, R., Percich, J.A. 1999. Biocontrol of kidney bean root rot in Minnesota. *Phytopathology* 89, S 24 (Abstr.).
- Estevez de Jensen C., Percich, J.A. and Gram, P.H. 2002. Integrated management strategies of bean root rot with *Bacillus subtilis* and Rhizobium in Minnesota. *Field Crops Research* 74:107-115.
- Furuya, H., Takahashi, T., and Matsumoto, T. 1999. Suppression of *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli* on bean by aluminum in acid soils. *Phytopathology* 89:47-52.
- FIRA. Fideicomiso Instituido en Relación a la Agricultura. 2001. El frijol en México, competitividad y oportunidades de desarrollo. Boletín informativo Num. 316.
- García, E.R. 2001. A mexican bean breeding programme for comprehensive horizontal resistance to all locally important pests and diseases. In broading the genetic base of crop production. Eds. H. D. Cooper, C. Spillane and T. Hodkin pp: 399-406.
- García, E.R. 2003. ¿Con fitomejoramiento con resistencia horizontal, es necesario el uso de transgénicos para el control de enfermedades? En: Bejarano F. y Mata B. (eds) Impactos del libre comercio, plaguicidas y transgénicos en la agricultura de América Latina, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México pp: 254-257.
- García, E.R., Robinson, A.R., Aguilar, P.A. Sandoval, S.I., and Guzmán, P.R. 2003. Recurrent selection for quantitative resistance to soil-borne diseases in beans in the Mixteca region, Mexico. *Euphytica* 130:241-247.

- Gutierrez W., Medrano C., Materan M. 2001. Evaluación del rendimiento y nodulación del frijol *Vigna unguiculata* bajo dos sistemas de labranza en las condiciones agro ecológicas de la planicie de Maracaibo, Venezuela. Rev. Fac. Agro. (LUZ) 18: 235-245.
- Guzmán-Plazola, R.A., Gómez-Pauza, R.J., García, E.R. y Gavi, R.F. 2004 Distribución espacial regional de la pudrición radical del frijol *Phaseolus vulgaris* L. por *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli* en la Vega de Metztlán, Hidalgo. Revista Mexicana de Fitopatología 22:246-258.
- Gowely, A.M., Abdel-Rahman, A.G., and Soliman, G.I. 1996. Studies on the behavior of some fungicides in controlling damping-off and root rot diseases of lupin plants. Bulletin of Faculty of Agriculture, University of Cairo 47:331-340.
- Hoch, H.C., Hagedorn, D.J. 1974. Studies on chemical control of bean root and hypocotil rot in Wisconsin. Plant Disease Reporter 58:941-944.
- Hoitink, HAJ. Boehm, MJ. 1999. Biocontrol within the context of soil microbial communities: a substrate-dependent phenomenon. Annual Review of Phytopathology 37:427-446.
- Isaaks, E.H., and Srivastava, R.M. 1989. An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford university Press. New York, USA. 561 p.
- Kasuya, M., Oliver, A. R., Ota, Y., Tojo, M., Honjo, H., and Fukui, R. 2006. Induction of soil suppressiveness against *Rhizoctonia solani* by incorporation of dried plant residues into soil. Phytopathology 96:1372-1379.
- Kelly, J.D., and Vallejo, V.A. 2004. A comprehensive review of the major genes conditioning resistance to anthracnose in common bean. HortScience 39:1196-1207.
- Kennedy, AC.; Smith, K.L. 1995. Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils. Plant Soil 170:75-86.

- Lepiz I. R., 1984. Frijol en el noroeste de México, Instituto nacional de investigaciones agrícolas, México. 78 p.
- Mac Fadden, W., and Hall. R. 1987. Yield response to differential suppression by fungicides of the stem rot phase or bean foot rot. *Canadian Journal of Plant Pathology* 9:246-251.
- Michereff S.J. & Barros R. 2001. Protección de plantas en la agricultura sustentable. Recife, UFRPE Brasil 286 p.
- Miller, D.E., and Burke, D.W. 1986. Reduction of *Fusarium* root rot and *Sclerotinia* wilt in beans with irrigation, tillage, and bean genotype. *Plant Disease* 70:163-166.
- Myers, J.R., Stewart-Williams, K.D., Hayes, R.E., Lancaster, M., and Kolar. J.J. 1997. Registration of 'UI 911' black bean. *Crop Science* 37:285.
- Nash S. M., T. Chistou and W. C. Synder. 1961. Existence of *Fusarium solani* as chlamydospores in soil, *Phytopathology*. 50 432-439
- Nelson, P.E., T.A. Tousson, and W.F.O. Marassas. 1983. *Fusarium* Species: An Illustrated Manual for Identification. Pennsylvania State University Press, University Park, Pennsylvania 89 p.
- O'Brien, R.G., O'Hare, P.J., and Glass, R.J. 1991. Cultural practices in the control of bean root rot. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 31:551-555.
- Otsyula, R.M., Ajanga, S.I., Buruchara, R.A., and Wortmann, C.S. 1998. Development of an integrated bean root rot control strategy for western Kenya. *African Crop Science Journal* 6:61-67.
- Papavizas, G.C., and Lewis, J.A. 1975. Effect of seed treatment with fungicides on bean root rots. *Plant Disease Reporter* 59:24-28.

- Pedroza-Sandoval A. 1997. Evaluación de densidades de población y dosis de productos químicos (Confidor y Monceren) en el control de enfermedades del frijol. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 15:15-21.
- Pérez M J. R. Ferrera C. and R. García E. 1994. Diversidad genética y patológica del frijol, Colegio de Postgraduados, Montecillos, Mex
- Robinson, R.A. 1987. Manejo del Hospedante en Patosistemas Agrícolas. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México. 281 p.
- Robinson, R.A. 1996. Return to resistance: breeding crops pesticide dependence. First Edition. Davis, California. E.U.A. 473 p.
- Romero C. S., 1994. Hongos fitopatógenos, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Mex. 217 p.
- Romero R.F. y Villanueva V. C. 2000.. Resistencia vegetal a insectos y ácaros, los conceptos y las bases. Universidad Autónoma Chapingo. 318 p.
- Schwartz, F. y Gálvez, G. 1980. Problemas de Producción del Frijol. Centro de Agricultura Tropical, Cali, Colombia. 424 p.
- Serrano-Covarrubias L.M. 2004. Análisis del caso frijol. Universidad Autónoma Chapingo. 124 p.
- Sherf, A.F., and MacNab, A.A. 1986. Vegetable Diseases and Their Control. Second Edition. John Wiley and Sons. New York, USA. 728 p.
- Schroth, MN; Hancock, JG. 1982. Disease-suppressive soil and root-colonizing bacteria. *Science*. 216:1376-1381.
- Simmonds, N.W. 1983. Strategy of disease resistance breeding. *FAO Plant protection Bull.* 33:1 14-17.

- Steel, R.G.D., and Torrie, J.H. 1980. Principles and Procedures of Statistics. A biometrics approach. McGraw- Hill. New York, USA. 633 p.
- Tejera A.N., Campos R., San Juan J., Lluch C. 2004.. Nitrogenase and antioxidant enzyme activities in *Phaseolus vulgaris* nodules formed by *Rhizobium tropici* isogenic strains with varying tolerance to salt stress. Journal Plant Physiology. 16: 329-338.
- Tu, J.C., and Park, S.J. 1993. Root rot resistance in common bean. Canadian Journal of Plant Science 73:365-367.
- Tu, J.C., and Tan C.S. 1990. Effect of soil compaction on growth, yield and root rots of white beans in clay loam and sandy loam soil. Soil Biology and Biochemistry 23:2333-238.
- Vanderplank, J.E. 1984. Disease resistance in plants. Second edition. Academic Press INC. London. England. 58 p.
- Vázquez, L. y J.A. Castellanos. 1997. Desarrollo del control biológico de plagas en la agricultura cubana. AgroEnfoque 91: 14-15.
- Verissimo C.L. 1999. Leguminosas de grano. Enciclopedia de agricultura y ganadería. Editorial Océano, España 353 p.