



Revista Mexicana de Fitopatología

ISSN: 0185-3309

mrlegarreta@prodigy.net.mx

Sociedad Mexicana de Fitopatología, A.C.

México

Guzmán Plazola, Remigio Anastacio; Gómez Pauza, Roberto; García Espinosa, Roberto; Gavi Reyes, Francisco

Distribución Espacial de la Pudrición Radical del Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) por *Fusarium solani* (Mart.) Sacc. f. sp. *phaseoli* (Burk.) Snyder y Hans. en la Vega de Metztlán, Hidalgo, México

Revista Mexicana de Fitopatología, vol. 22, núm. 2, julio-diciembre, 2004, pp. 246-258

Sociedad Mexicana de Fitopatología, A.C.

Texcoco, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61222212>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Distribución Espacial de la Pudrición Radical del Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) por *Fusarium solani* (Mart.) Sacc. f. sp. *phaseoli* (Burk.) Snyder y Hans. en la Vega de Metztitlán, Hidalgo, México

Remigio Anastacio Guzmán-Plazola¹, Roberto Gómez-Pauza¹, Roberto García-Espinosa¹, y Francisco Gavi-Reyes², Colegio de Postgraduados, ¹Instituto de Fitosanidad, ²Instituto de Recursos Naturales, km 36.5 Carr. México-Texcoco, Montecillo, Edo. de México CP 56230. Correspondencia: rguzmanp@colpos.mx

(Recibido: Febrero 13, 2004 Aceptado: Junio 30, 2004)

Guzmán-Plazola, R.A., Gómez-Pauza, R., García-Espinosa, R., y Gavi-Reyes, F. 2004. Distribución espacial de la pudrición radical del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) por *Fusarium solani* (Mart.) Sacc. f. sp. *phaseoli* (Burk.) Snyder y Hans. en la Vega de Metztitlán, Hidalgo, México. Revista Mexicana de Fitopatología 22:246-258.

Resumen. Durante la primavera del 2002, se realizó un estudio regional de la incidencia y severidad de la pudrición seca de la raíz del frijol, causada por *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli*, en la vega de Metztitlán, Hidalgo, México, donde se muestrearon 72 campos de cultivo. En cada terreno se tomó una muestra compuesta de suelo, y donde hubo cultivo presente se colectaron raíces y parte aérea. Las coordenadas geográficas de cada terreno se determinaron mediante un geoposicionador. En cada campo de frijol se evaluó la severidad del daño por el patógeno en la raíz principal y se realizó una evaluación de la severidad de pudriciones blandas en raíces laterales, crecimiento radical e intensidad de la nodulación por *Rhizobium* sp. Mediante bioensayos de invernadero se estimó el potencial infectivo del patógeno en cada una de las muestras de suelo colectadas, la severidad de pudriciones blandas, la producción de biomasa por las plantas, y la intensidad de nodulación. Se generaron distribuciones de frecuencias y estadísticos univariados para cada una de las variables. La información se integró en una base de datos de sistemas de información geográfica y se analizó el patrón espacial de cada variable. Los resultados indicaron que la pudrición seca de la raíz, además de tener una alta prevalencia, es la enfermedad más importante del cultivo en toda la vega. Se detectó además una correlación espacial inversa entre la severidad de la pudrición seca causada por *Fusarium* y la severidad de pudriciones blandas. Se presentan y se discuten las distribuciones de frecuencias y el patrón espacial regional de cada variable.

Palabras clave adicionales: Análisis espacial regional, distribuciones de frecuencias, correlación espacial.

Abstract. Regional incidence and severity of root rot of beans, caused by *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli* was investigated during the spring of 2002 in the Metztitlan Valley, Hidalgo, Mexico. Seventy two fields were sampled along the valley. A compound soil sample was collected in each field. Whenever a growing crop was present, root and aerial part samples were also collected. Geographic coordinates were estimated by means of a global positioning device. Severity of *Fusarium* root rot, lateral root rot, root growth and nodulation by *Rhizobium* sp. were assessed. Infective potential of *F. solani* f. sp. *phaseoli*, soft rot severity, biomass production and nodulation intensity were determined in greenhouse bioassays. Frequency distribution and univariate statistics were calculated for all variables. Data were uploaded to a geographic information systems database and patterns of spatial variation were explored. Results indicate that *Fusarium* root rot is the most important disease in the Metztitlan Valley. An inverse spatial relationship among *Fusarium* root rot and soft root rots was detected. Frequency distributions and regional spatial patterns are presented and discussed.

Additional keywords: Regional spatial analysis, frequency distribution, spatial correlation.

La pudrición de la raíz del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) por *Fusarium solani* (Mart.) Sacc. f. sp. *phaseoli* (Burk.) Snyder y Hans. es considerada una de las enfermedades con origen en el suelo más importantes y ampliamente distribuidas en las diferentes áreas de producción de este cultivo (Schneider, 2001). La incidencia y severidad de la enfermedad puede ser afectada por diversos factores. El pH y la temperatura pueden influenciar la unión de los macroconidios a las raíces (Schuerger y Mitchell, 1993), la formación de conidióforos (Schuerger y Mitchell, 1992), y modificar el nivel de pérdida de carbono y germinabilidad de las clamidosporas (Mondal y Hyakumachi, 1998). Condiciones de inundación reducen la capacidad de germinación y virulencia de las clamidosporas (Mondal y Hyakumachi 1998), aunque inundaciones

temporales durante el ciclo de cultivo pueden incrementar la severidad de la pudrición radical (O'Brien *et al.*, 1991). La compactación de los suelos, al afectar el desarrollo radical y la absorción de agua, predispone al cultivo a un ataque más severo del patógeno. El rendimiento de plantas en suelos infestados puede ser incrementado mediante barbecho superficial (Tu y Tan, 1990) o labores de subsoleo (Miller y Burke, 1986). Otros factores relacionados con el clima influyen en el desarrollo de la pudrición. Condiciones de sequía pueden afectar negativamente la severidad de la pudrición radical del frijol por *F. solani* (Díaz-Plaza *et al.*, 1991, mientras que baja evapotranspiración y bajas temperaturas del suelo favorecen la enfermedad (O'Brien *et al.*, 1991). El estado nutricional del cultivo puede afectar también el desarrollo de la enfermedad; la deficiencia de hierro y boro puede incrementar el tamaño de las lesiones en el hipocotilo (Guerra y Anderson, 1985); el nivel de potasio asimilable ha sido identificado como un posible factor de incremento de la enfermedad en cultivos de soya [*Glycine max* (L.) Merrill] en Iowa, pero la magnitud del efecto fue dependiente de la concentración total de este elemento en el suelo (Scherer *et al.*, 1998); en este mismo estudio, el contenido de materia orgánica, P y Mn mostraron tendencias contrapuestas en diferentes campos de cultivo. También se han reportado factores biológicos como causantes de variaciones en el comportamiento de la enfermedad, así como la existencia de suelos supresivos. En 1965, Burke reportó la existencia de suelos donde la enfermedad era significativamente menor en comparación con campos vecinos donde se cultivaba frijol con regularidad similar. Este investigador concluyó que la supresividad de esos suelos es debida a la combinación de factores físicos y microbiológicos. La ocurrencia simultánea de *F. solani* y el nematodo *Rotylenchulus reniformis* (Lindford y Oliveira) incrementa la severidad de la pudrición radical respecto a plantas infectadas sólo con el hongo (Vadhera *et al.*, 1994). La inoculación de semillas de frijol con *Bacillus subtilis* (Ehrenberg) Cohn GBO3 con o sin *Trichoderma harzianum* Rifai T-22 o *Rhizobium tropici* Martínez-Romero *et al.* puede causar una reducción significativa en la severidad de la pudrición radical por *F. solani* e incrementar el rendimiento de grano en condiciones de invernadero o campo, respecto a plantas no tratadas (Estevez de Jensen *et al.*, 2002). Los estudios sobre los patrones de comportamiento de la pudrición radical del frijol, en general han estado enfocados a la respuesta a interrogantes bajo condiciones de invernadero o en experimentos de campo en un bajo número de localidades. En soya se han estudiado las relaciones entre el desarrollo de la muerte súbita causada por *F. solani* f. sp. *glycines* y el contenido de humedad, la dureza del suelo, el contenido de potasio, el contenido de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico, el contenido de calcio, magnesio, manganeso y hierro y el pH en nueve campos de cultivo (Scherer *et al.*, 1998). En el patosistema *Phytophthora* sp.-Arándano (*Vaccinium* sp.) se han realizado estudios regionales

para conocer la relación existente entre características del suelo, las propiedades espectrales de la superficie de la copa del cultivo, y el impacto de la enfermedad (Pozdnyakova *et al.*, 2002). En estudios realizados en Wisconsin, EUA, se han generado índices de riesgo de la enfermedad para ciertas áreas, con base a bioensayos de invernadero, a partir de los cuales se han recomendado estrategias de manejo (Kobriger y Hagedorn, 1983). La vega de Metztlán, en el estado de Hidalgo (Fig. 1), es una zona productora de frijol para grano y frijol ejotero, para el mercado nacional y de exportación, ubicada dentro de la Reserva de la Biósfera Barranca de Metztlán. En estudios preliminares en la región se ha detectado la presencia de la pudrición radical causada *F. solani* f. sp. *phaseoli* en casi todos los terrenos muestreados. De acuerdo a nuestras fuentes de información, no existen trabajos publicados sobre el impacto de esta enfermedad sobre el rendimiento del cultivo y la distribución de la incidencia y severidad de la enfermedad en la región. En el presente trabajo, se reportan resultados de un estudio preliminar de la distribución espacial de la severidad y potencial de enfermedad en la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio y muestreo. La región de estudio se localiza en el estado de Hidalgo, en el municipio de Metztlán (Fig. 1), la cual se caracteriza por tener un claro gradiente de variación en la textura de sus suelos, por la ocurrencia de inundaciones periódicas, la formación de costras en sus suelos, y la existencia de un gradiente suave de variación altitudinal en el área de uso agrícola. Durante la primavera del 2002, se colectaron muestras de suelo en 72 campos de cultivo en la vega de Metztlán, siguiendo un patrón de muestreo en forma de "V" para obtener de cada campo un compuesto de 10 submuestras de suelo rizosférico, raíces y parte aérea, el cual se homogeneizó manualmente. Se determinaron las coordenadas geográficas en el centro de cada terreno mediante un geoposicionador marca Maguellan Promark X-CM. Esta información, junto con datos relativos al historial de los campos de cultivo y etapa fenológica se transfirieron a una base de datos de sistemas información geográfica (ArcView 3.2 e Idrisi 32). En las localidades donde había cultivos de frijol en pie se evaluó la severidad de la enfermedad en las raíces principales de cada planta colectada, mediante una escala de severidad de 1 a 5 (1 = sin enfermedad; 2 = severidad baja; 3 = severidad media; 4 = severidad media alta; 5 = severidad alta, Fig. 2). Con los valores obtenidos en cada sistema radical se obtuvo un promedio ponderado, de acuerdo a la siguiente fórmula: $Pps = [(5(Np5)) + (4(Np4)) + (3(Np3)) + (2(Np2)) + (1(Np1))]/Ntp$ Donde: Pps = Promedio ponderado de severidad, Np5 = número de plantas con severidad 5, Np4 = número de plantas con severidad 4, Np3 = número de plantas con severidad 3, Np2 = número de plantas con severidad 2, Np1 = número de plantas con severidad 1, Ntp = número total de plantas evaluadas en el sitio. La severidad de la pudrición blanda en las raíces

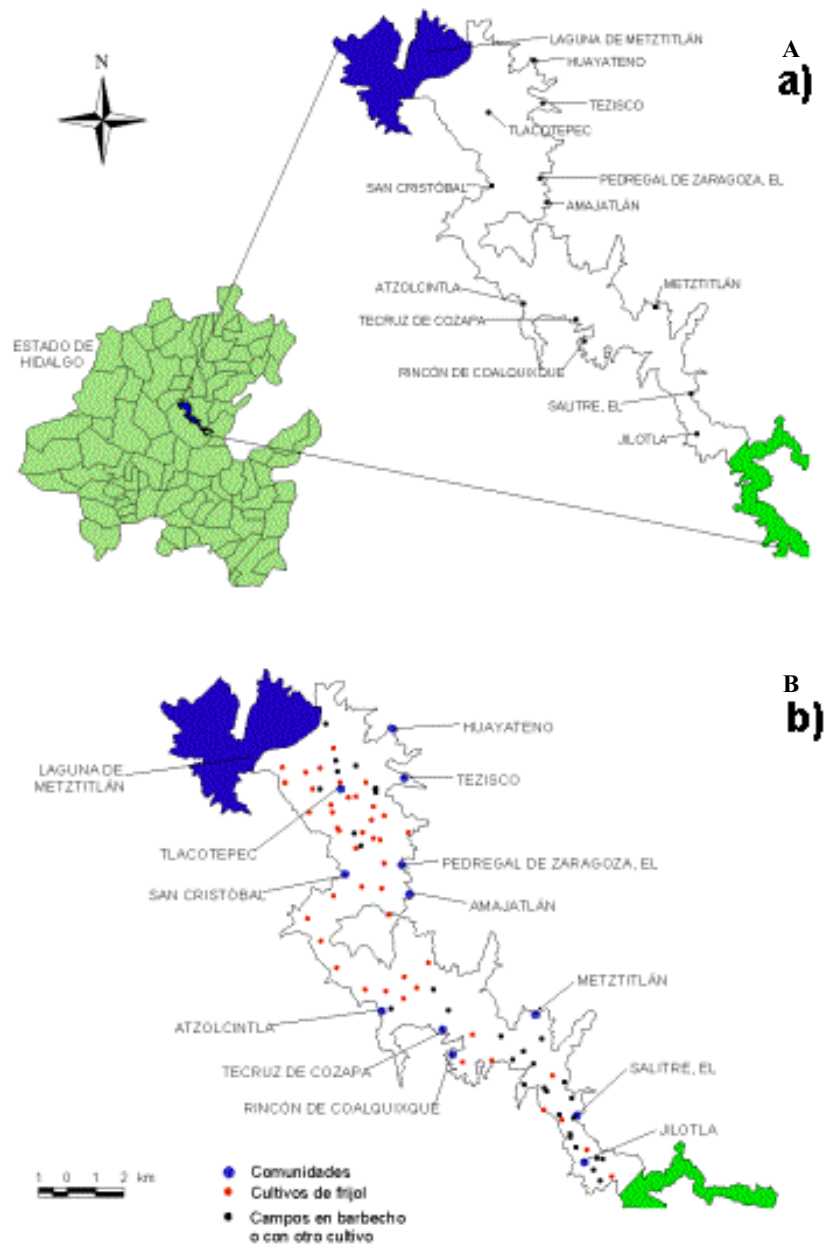


Fig. 1. A. Ubicación de la región de estudio en el estado de Hidalgo, México, durante el 2002, con los puntos de muestreo dentro de Vega de Metztlán. B. En los puntos categorizados como cultivos de frijol (*Phaseolus vulgaris*) se obtuvieron muestras de suelo y raíces de plantas de dicho cultivo. En los campos en barbecho únicamente se obtuvieron muestras de suelo.

laterales se midió con una escala similar a la utilizada para las raíces principales, de 1 = raíces aparentemente sanas, hasta 5 = raíces laterales completamente enfermas. También se tomaron datos del crecimiento lateral de las raíces de acuerdo a una escala de 1 a 3 (1 = mínimo crecimiento; 2 crecimiento de las raíces laterales medio; y 3 = crecimiento radical en plantas sanas cultivadas en suelo fumigado. Se evaluó el nivel de nodulación de las plantas por *Rhizobium* sp. mediante

una escala de 0 a 3 (0 = ausencia de nodulación; 1 = baja nodulación; 2 = nodulación media; y 3 = alta nodulación, Fig. 3).

Estimación del potencial infectivo del patógeno en la región. Esta evaluación se realizó mediante una adaptación de la técnica descrita por Furuya *et al.* (1999). En tezontle (material volcánico no consolidado) fino, esterilizado mediante 3 h en autoclave a 121°C y una presión de 15 libras/



Fig. 2. Escala de severidad del daño a la raíz por *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli* (1 = sin enfermedad; 2 = severidad baja; 3 = media; 4 = media alta; 5 = alta), utilizada en la evaluación regional de la Enfermedad en la Vega de Metztlán, Hidalgo, México.



Fig. 3. Escala de nodulación (0 = ausencia de nodulación; 1 = baja nodulación; 2 = media; 3 = alta) por *Rhizobium leguminosarum* v. *phaseoli*, utilizada en la evaluación de plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) de la Vega de Metztlán, Hidalgo, México.

pulgada³ durante dos días consecutivos, se sembraron semillas de frijol variedad Flor de Junio y se mantuvieron en la oscuridad durante 10 días para favorecer el ahilamiento de las plántulas resultantes. Al término de este periodo, las plantas se cosecharon cortando segmentos de tallo de 10 cm,

los cuales se enterraron en las muestras de suelo colectadas durante el muestreo regional, colocando 4 tallos en cada muestra a una profundidad de 5 cm. Los segmentos de tallo se mantuvieron enterrados durante 10 días, hasta que las lesiones rojizas características del ataque de *Fusarium solani*

se hicieron evidentes. En esta etapa, las lesiones individuales se podían contar con facilidad debido a que aún no había ocurrido coalescencia y a que las porciones de tallo no infectadas conservaban aún su coloración blanca. Se realizaron dos bioensayos de este tipo con cada una de las muestras de suelo colectadas en la Vega de Metztlán, Hidalgo. Para verificar al agente causal se sembraron tejidos con lesiones en medio de cultivo PCNB selectivo a *Fusarium* (Nash and Snyder, 1962). Al término de la evaluación del potencial de enfermedad mediante segmentos de tallo, se estableció un bioensayo en invernadero, donde se sembraron 10 semillas de frijol en macetas con capacidad para 2 kg de suelo procedente de los diferentes sitios de muestro en la zona de estudio. Se dejaron en cada maceta las dos plántulas más vigorosas, las cuales se cosecharon en la etapa de floración (24 días después de la siembra). Se evaluó la intensidad de la nodulación, número de lesiones típicas de *F. solani* f. sp. *phaseoli* en la raíz pivotante, volumen radical (medido por desplazamiento de agua), y el peso seco de la parte aérea. Para la evaluación de esta variable, las plantas fueron desecadas mediante tratamiento a 70°C durante 72 h. La estimación de pesos se realizó mediante una balanza electrónica Ohaus modelo TP4KD.

Análisis de datos. Se calcularon estadísticos descriptivos univariados y distribuciones de frecuencia de las diferentes variables, para estimar la prevalencia y potencial de enfermedad en la región. Con el fin de analizar la relación entre variables, se generaron diagramas de dispersión y se calcularon coeficientes de correlación lineal de Pearson o de Spearman, dependiendo de la normalidad de los datos (Steel y Torrie, 1960). La normalidad de las muestras se evaluó mediante el estadístico W, el cual fue calculado con el procedimiento Univariate del paquete SAS versión 8.0 (Statistical Analysis System, Cary, Carolina del Norte). Donde fue aplicable, los valores de las diferentes variables fueron interpolados para el resto del valle mediante un procedimiento de distancia inversa ponderada (Isaaks y Srivastava, 1989). Las interpolaciones fueron generadas mediante software de sistemas de información geográfica (ArcView 3.2, ESRI, Redlands, California) e integradas a la base de datos.

RESULTADOS

Muestreo regional de cultivos. Severidad de la pudrición radical por *Fusarium*. Todas las plantas de frijol de los campos de cultivo muestreados en la Vega de Metztlán mostraron síntomas de pudrición seca por *F. solani* f. sp. *phaseoli* (Fig. 4A). En 50% de los sitios la severidad fue alta o media-alta, en 40% fue media a media-alta, y sólo en 5% se detectó severidad baja. En promedio, la severidad de la enfermedad en la región fue de 4.0 (media-alta), con una desviación estándar de 0.94; la moda o valor más frecuentemente observado fue el correspondiente a la severidad máxima (5). La identidad del patógeno se confirmó en pruebas de laboratorio siguiendo los postulados de Koch. Los resultados del análisis de la distribución espacial regional de la severidad

de la pudrición radical por *F. solani* f. sp. *phaseoli* indican que las zonas de severidad alta a media-alta se localizan principalmente en el centro del área de estudio (Fig. 5A) formando un polígono que parte del área ubicada entre el noreste del pueblo de Metztlán, el cerro de Amajatlán, Atzolcintla y Coalquixque. Una segunda zona, de superficie más pequeña, se ubica en los alrededores de las comunidades de Jilotla y El Salitre. Otras áreas de alta severidad, pero de menor superficie, se encuentran en las inmediaciones de el Pedregal de Zaragoza y alrededores de Tlacotepec. De acuerdo a este análisis, la mayor parte de los cultivos ubicados entre la laguna de Metztlán y el cerro de Tlacotepec, y el área localizada entre la comunidad de El Salitre y el sureste del pueblo de Metztlán, se caracterizaron por tener nivel medio a medio-alto de daño radical.

Sanidad de raíces laterales. Las estadísticas correspondientes a la sanidad de las raíces laterales indican que en 85% de los campos, las plantas mostraron síntomas de pudriciones

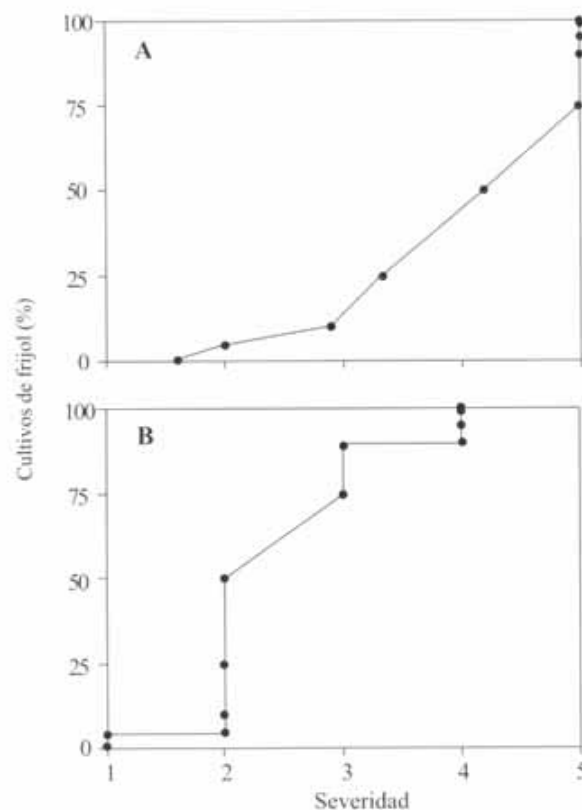


Fig. 4. Distribución de frecuencias de los valores de severidad del daño a la raíz por *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli* (A), y severidad de las pudriciones blandas de raíces laterales (B) en cultivos de frijol (*Phaseolus vulgaris*) de la Vega de Metztlán, Hidalgo, México, durante el 2002. (1 raíces sanas, 5 = severidad máxima).

acuosas con severidad baja a media (Fig. 4B), mientras que en 10% la severidad fue media-alta. Sólo en 5% de los sitios muestreados las raíces laterales lucieron relativamente sanas. La severidad promedio a nivel regional fue de 2.5, con una desviación estándar de 0.75. El valor más frecuentemente observado fue el correspondiente a una severidad baja (2). En aislamientos realizados de raíces desinfectadas superficialmente con solución de hipoclorito de sodio, sembradas en medios semiselectivos y no selectivos (PDA), los géneros de hongos más frecuentemente identificados fueron *Fusarium* spp. y *Pythium* spp., y en casos excepcionales *Rhizoctonia* spp.; sin embargo, no se realizaron evaluaciones específicas para determinar con certidumbre el papel de estos organismos en la ocurrencia de los síntomas antes mencionados. De acuerdo a los resultados de la interpolación lineal realizada con datos de severidad de pudriciones en las raíces laterales (Fig. 5B), en los alrededores de la comunidad de Jilotla existe una zona de severidad media-alta; otras zonas más pequeñas con esta categoría se encuentran distribuidas a lo largo de la región de estudio.

Una zona con severidad media abarca desde Tecruz de Cozapa, la población de Atzolcintla y las inmediaciones del cerro de Amajatlán. Otras zonas de severidad media-baja se encuentran al sureste de Jilotla y al este de Amajatlán. En el siguiente orden de severidad predomina una zona ubicada entre El Salitre, Metztitlán y Tecruz de Cozapa. Las regiones con severidad baja a media de pudriciones blandas se ubican principalmente en las cercanías de la laguna de Metztitlán y hacia el noroeste de la comunidad de San Cristóbal. Desarrollo de raíces. Treinta y nueve por ciento de los campos de cultivo de frijol muestreados en la región mostraron un escaso desarrollo de raíces laterales, mientras que 46% tuvo plantas con un desarrollo medio (Fig. 6A). Sólo en 15% de los sitios, las raíces laterales lucieron relativamente abundantes. De acuerdo a la escala de evaluación utilizada, el promedio de desarrollo de las raíces laterales en los cultivos de frijol de la región fue de 1.8, con una desviación estándar de 0.7 y un valor más frecuente de 2; por lo cual puede ser categorizado a nivel regional como bajo a medio. De acuerdo al análisis espacial, existen varias zonas pequeñas de alto

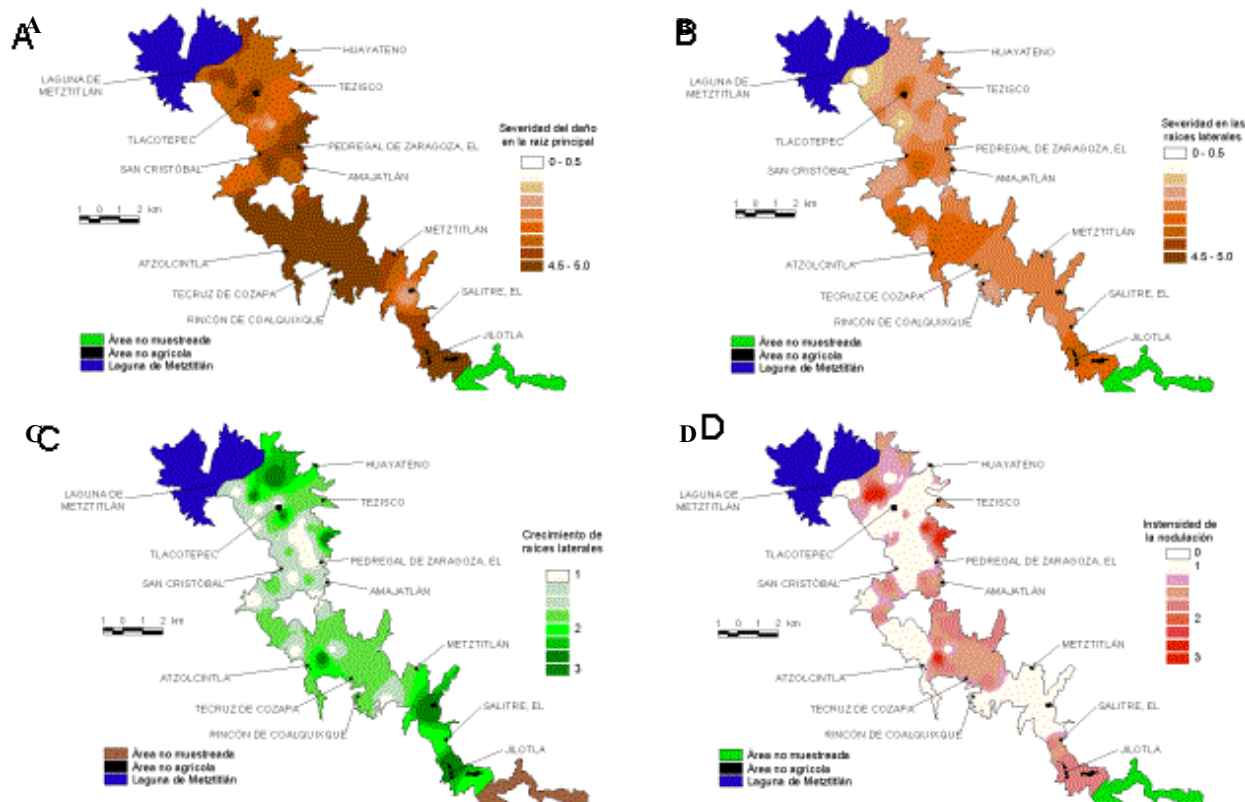


Fig. 5. Distribución espacial de la severidad de la pudrición seca causada por *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli* (A), severidad de pudriciones blandas (B), nivel de crecimiento de raíces laterales (1 = mínimo, 2 = medio y 3 = crecimiento radical en plantas sanas sembradas en suelo fumigado) (C), y nodulación por *Rhizobium leguminosarum* (0 = sin nodulación, 1 = baja; 2 = media; 3 = Alta) (D) en cultivos de frijol (*Phaseolus vulgaris*) de la Vega de Metztitlán, Hidalgo, México, durante el 2002. Estimación realizada mediante interpolación por distancia inversa ponderada, con base a 46 sitios de muestreo.

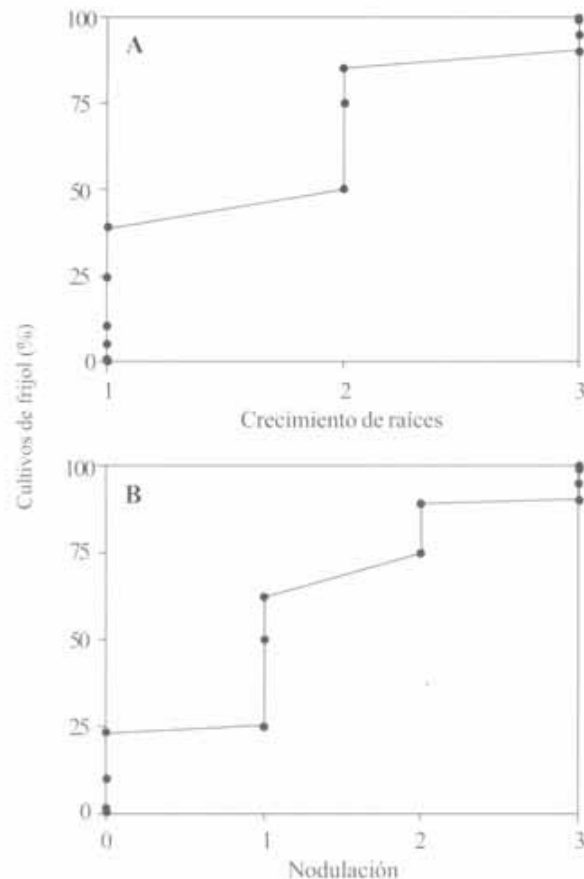


Fig. 6. Frecuencia de valores de: (A) crecimiento de las raíces laterales (1 = escaso, 2 = medio y 3 = abundante), y (B) nodulación por *Rhizobium leguminosarum* (0 = sin nodulación, 1 = baja, 2 = media, y 3 = alta), en cultivos de frijol (*Phaseolus vulgaris*) de la Vega de Metztlán, Hidalgo, México, durante el 2002.

desarrollo de raíces laterales, las cuales se ubican en los alrededores de Jilotla, al norte de la comunidad El Salitre, al este de Atzolcintla, al norte de la comunidad del Pedregal de Zaragoza, alrededor y al norte del cerro de Tlacotepec, y oeste de Huayateno. Las zonas de bajo desarrollo de las raíces laterales se encuentran al este del Rincón de Coalquique, al norte de Atzolcintla, al este y suroeste de San Cristóbal, suroeste del cerro de Tlacotepec, y oeste del Pedregal. Las zonas de desarrollo medio de las raíces laterales se encuentran a lo largo de la región de estudio (Fig. 5C).

Nodulación por *Rhizobium* sp. En 23.4% de los campos muestreados, las plantas de frijol no mostraron nodulación por bacterias fijadoras de nitrógeno (Fig. 6B). La nodulación fue baja en 38.3% y media en 27.7% de los sitios. Sólo en 10.6% de los campos las plantas mostraron nodulación abundante o con un alto número de nódulos efectivos (interior

de color rojo ladrillo, indicador de actividad fijadora de nitrógeno atmosférico). La media de esta variable para los campos con cultivo activo de frijol fue de 1.25, con una desviación estándar de 0.94 y un valor modal de 1. De acuerdo al análisis espacial regional, al este de Atzolcintla, en la porción oriental del valle ubicada entre Tezisco y el Pedregal de Zaragoza, y al noroeste del cerro de Tlacotepec, se encuentran las zonas de alta nodulación por bacterias fijadoras de nitrógeno en frijol. Las áreas de nodulación media se localizan en una zona ubicada entre las comunidades de El Salitre y Jilotla, hacia el noreste de Rincón de Coalquique, hacia la parte este de Atzolcintla, en los alrededores de Amajatlán, en las inmediaciones San Cristóbal, y en las áreas cultivadas cercanas a la laguna de Metztlán. En el resto de la región bajo estudio, la nodulación fue baja o nula (Fig. 5C).

Estimación del potencial infectivo del patógeno y de pudriciones blandas. Lesiones por *Fusarium solani*. Los resultados de los bioensayos de invernadero indicaron que en 95% de los suelos muestreados se desarrollaron lesiones por *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli* en las secciones de tallo utilizadas como bioindicador del potencial infectivo de este patógeno. En el 5% restante se presentaron lesiones acuosas que cubrieron la totalidad de los mismos. Los promedios más altos de lesiones por tallo variaron de 23.8 a 27.3. Las distribuciones de valores tuvieron medias de 8.7 y 9.9, mediana de 7.1 y 9, y desviación estándar de 5.6 y 6.1. Los valores más altos de esta variable (18.3 a 27.3) se concentraron en 5 a 10% de los suelos; un 45% adicional tuvo valores entre 7.1 y 18.3; en otro 25% se detectaron de 4.6 a 7.1 lesiones/tallo, mientras que en la porción restante (25%) la cantidad de lesiones varió de 2.2 a 4.6 (Fig. 7A). Cuando la estimación del potencial infectivo se realizó con base en el número de lesiones por raíz, en 25% de los sitios de muestreo no se detectaron lesiones por *F. solani* f. sp. *phaseoli*; en el 25% las plantas tuvieron de 0.4 a 2.4 lesiones por raíz; los dos restantes cuartiles tuvieron 2.4 a 6.3 y 6.3 a 16.5 lesiones/raíz, respectivamente; dentro de este último 25%, el 5% superior tuvo entre 10 y 16.5 lesiones/raíz (Fig. 7B). El valor promedio de esta distribución fue de 3.7, con una mediana de 2.4 y desviación estándar de 3.6. El número de lesiones de *F. solani* por segmento de tallo y el número de lesiones del mismo patógeno por raíz en los bioensayos de invernadero, estuvieron positivamente correlacionados (Fig. 8A; $r = 0.3$, $P > R = 0.04$, para el primer bioensayo; no significativa para el segundo); sin embargo, sólo la primera variable mostró una asociación más clara con la acumulación de biomasa por las plantas en invernadero (Fig. 8B). Similarmente, sólo el número de lesiones por tallo mostró una asociación positiva entre la severidad del daño por el patógeno durante el muestreo de plantas en la región de estudio (Fig. 8C). El análisis espacial del potencial infectivo de *F. solani* en la región, evaluado a partir del número de lesiones por tallo, indica que existen varias zonas de alto potencial hacia el suroeste de la comunidad de San Cristóbal,

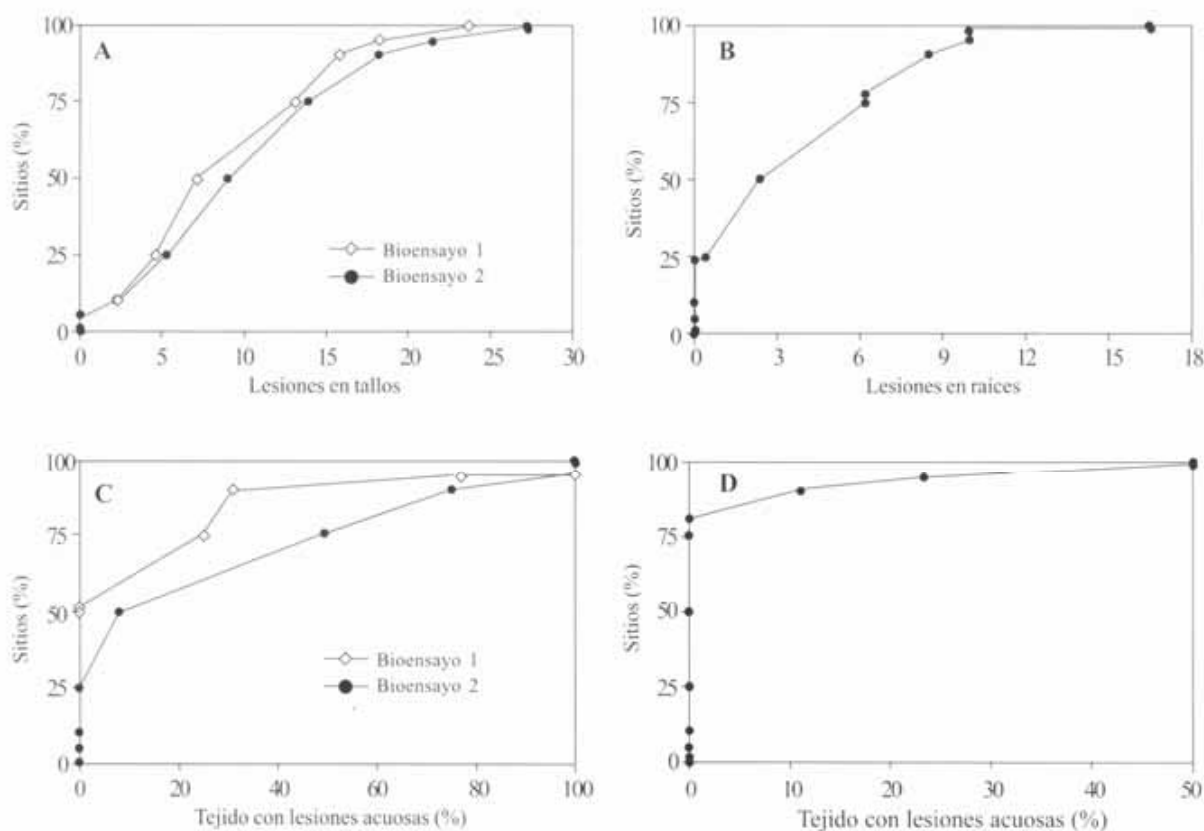


Fig. 7. Distribución de frecuencias del número de lesiones por *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli* en segmentos de tallo de cada bioensayo (A); número de lesiones en raíces de plantas del bioensayo en invernadero (B); porcentaje de segmentos de tallo con lesiones acuosas en cada bioensayo (C); y porcentaje de raíz principal con lesiones acuosas en plantas del bioensayo en invernadero (D).

al norte del pedregal de Zaragoza, en una área intermedia entre Rincón de Coalquique y Metztitlán, y hacia el suroeste de Huayateno y el suroeste y noroeste del cerro de Tlacotepec. Las zonas de potencial medio de desarrollo de la enfermedad se encuentran en las inmediaciones de Metztitlán y Tecruz de Cozapa, al sur de Amajatlán, en la región norte de Atzolcintla, en las inmediaciones de San Cristóbal y el pedregal de Zaragoza, en una zona adyacente a la laguna de Metztitlán, al norte del cerro de Tlacotepec y en las inmediaciones de Huayateno. En el resto de la región, el potencial de la enfermedad es aparentemente bajo (Fig. 9A). Al realizar el análisis espacial con base al número de lesiones por raíz, la distribución esperada de la enfermedad sigue un patrón similar. Destacan en estas zonas las áreas de alta severidad ubicadas hacia el este y suroeste de Tlacotepec, del pedregal de Zaragoza, suroeste de San Cristóbal, y en el extremo noreste de Atzolcintla. Las zonas de severidad media de la enfermedad se encuentran en las inmediaciones de Metztitlán, Amajatlán, Tezisco, Huayateno y San Cristóbal. El resto de la región de estudio presenta una severidad baja

de acuerdo a este análisis (Fig. 9B).

Pudriciones blandas. Cuando el bioensayo fue realizado con segmentos de tallo ahilados, en 25% de los sitios no se detectaron lesiones típicas de *Pythium* spp. Otro 25% tuvo entre 0 y 8% de tejido dañado. En el siguiente cuartil los valores variaron, de acuerdo al bioensayo, entre 0 y 25% y entre 8 y 50% de tejido dañado. En el cuartil superior, los valores variaron de 50 a 100% y de 25 a 100% de daño, pero 5% de los sitios los tallos resultaron completamente dañados por *Pythium* spp. (Fig. 7C). Según el bioensayo, la media de la proporción de la longitud de tallos con lesiones acuosas fue de 14.1 y 25.1, desviación estándar de 26.4 y 32.2, mediana de 0 y 8, y moda de 0%. Al realizar la evaluación con base al porcentaje de tejido de raíz pivotante dañado por *Pythium* spp., en 80.6% de los sitios no se detectaron pudriciones blandas; en 10% de los sitios, el porcentaje llegó hasta 11; en 8.5% de los sitios el valor varió entre 11 y 23.3%, y sólo 1.5% de las localidades tuvo 50% de su raíz pivotante visiblemente afectada por pudriciones blandas (Fig. 7D). La moda y mediana de esta variable fue de 0%, la media resultó

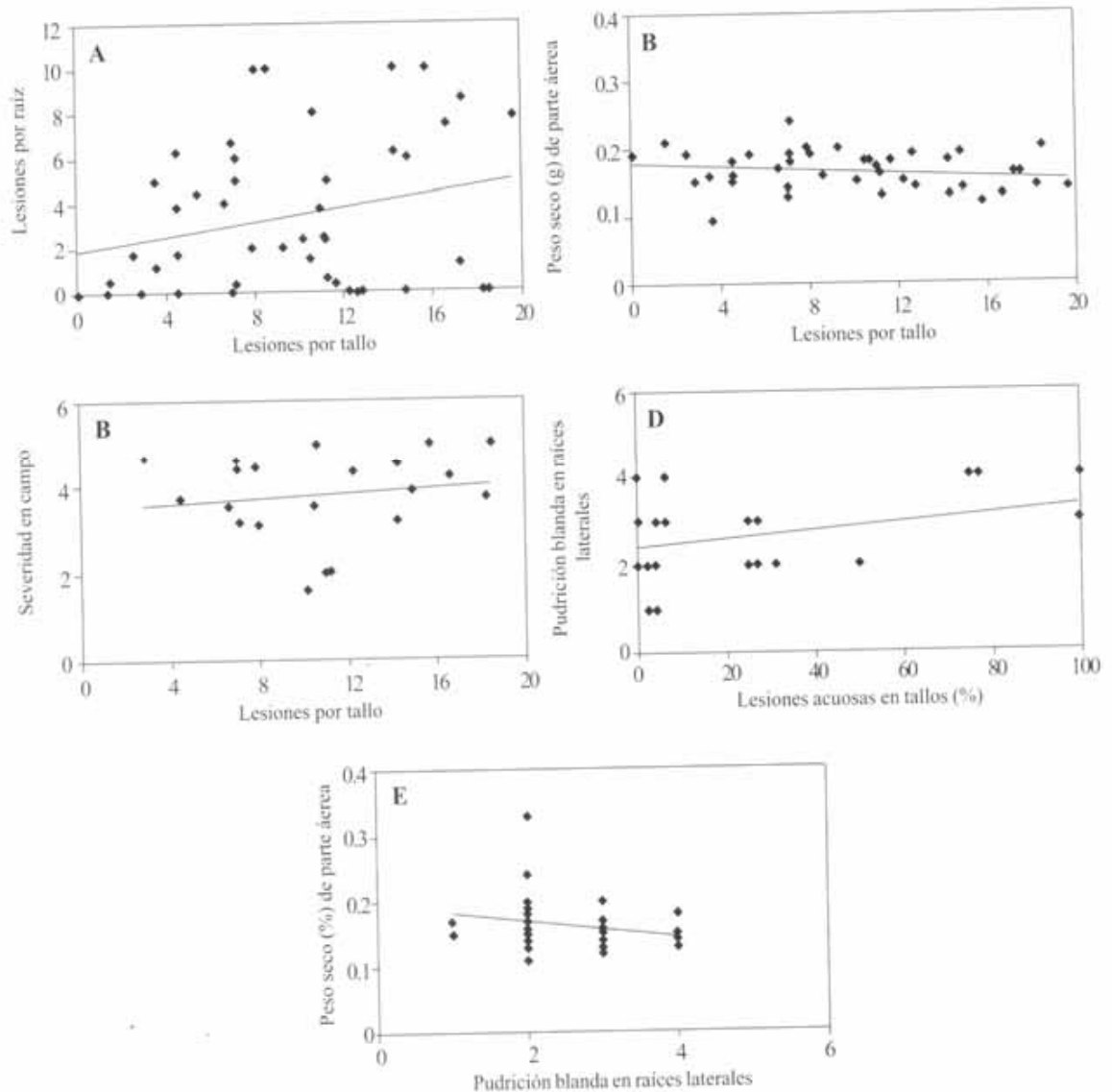


Fig. 8. Relación entre el número de lesiones/tallo de *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli* y el número de lesiones del mismo tipo en raíces (A), el peso seco de la parte aérea de plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) cultivadas en invernadero en muestras de suelos de la vega de Metztitlán, Hidalgo (B), y la severidad del daño por este patógeno en la raíz principal bajo condiciones de campo (C). Relación entre la severidad de la pudrición blanda en raíces laterales en condiciones de campo y el porcentaje de lesiones acuosas en segmentos de tallo (D) y el peso seco de la parte aérea de plantas de frijol en condiciones de invernadero (E).

de 3.1%, y la desviación estándar de 8.3%. En general, el porcentaje de segmentos de tallo dañados por *Pythium* spp. estuvo positivamente asociado con la severidad de las pudriciones blandas en raíces laterales de las plantas de frijol durante el muestreo de campo (Fig. 8D; $r = 0.35$, $P > R = 0.02$, para el primer muestreo). Esta variable a su vez mostró una asociación negativa ($r = -0.3$, $P < R = 0.08$) con la acumulación de biomasa en la parte aérea de las plantas de

frijol de los bioensayos de invernadero (Fig. 8E). Aunque la correlación lineal entre el número de lesiones de *F. solani* f. sp. *phaseoli* en segmentos de tallo y raíz, y el porcentaje de tejido dañado con lesiones acuosas en estos mismo no resultó significativa, el patrón de distribución de ambos grupos de variables estuvo negativamente correlacionado (Fig. 9A y B), es decir, donde el número de lesiones por *F. solani* fue alto, el daño por *Pythium* spp. fue bajo. En los casos donde no se

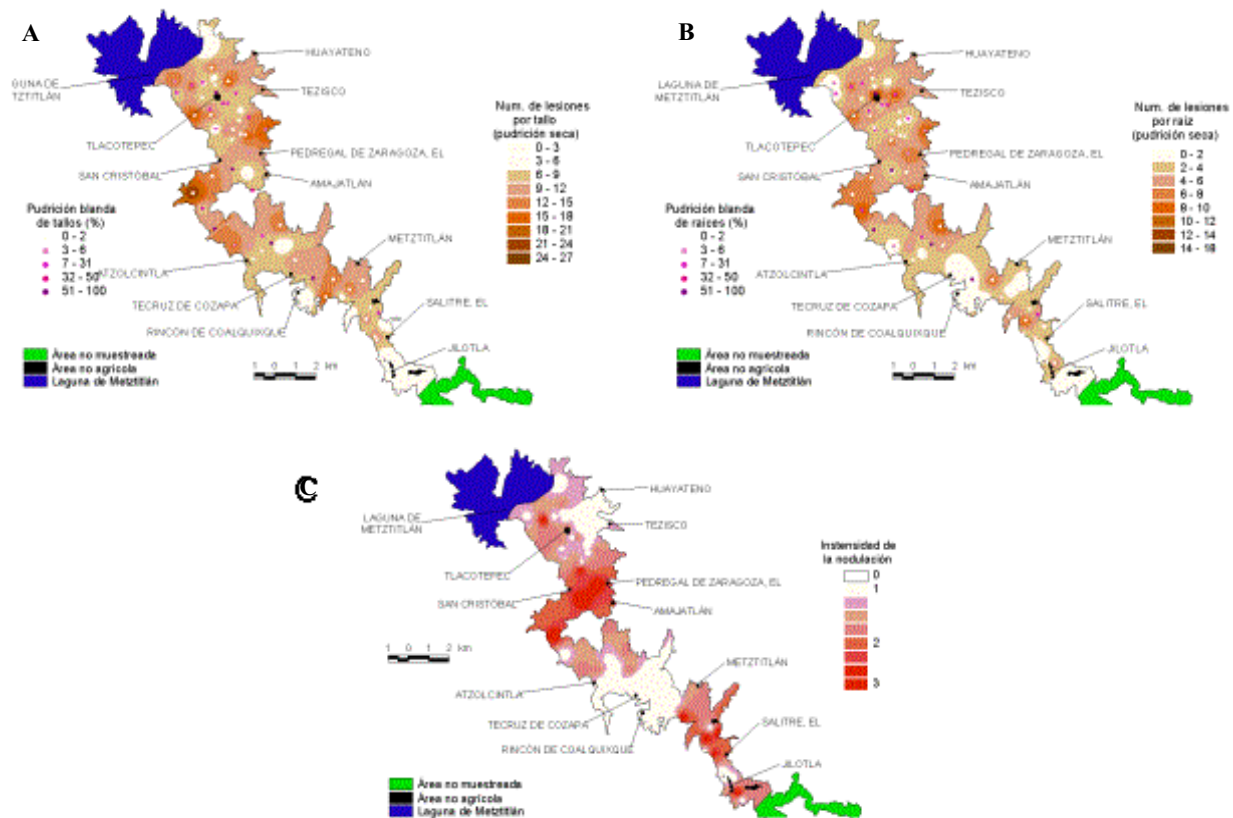


Fig. 9. Distribución espacial del potencial infectivo de *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli* en segmentos de tallo (A) y raíces (B), y potencial de nodulación por *Rhizobium leguminosarum* (C) en raíces de frijol (*Phaseolus vulgaris*) de la Vega de Metztitlán, Hidalgo, México, estimados mediante interpolación espacial (distancia inversa ponderada) con base en los valores de 68 sitios. (0 = Ausencia de nodulación; 1 = baja; 2 = media; 3 = Alta).

detectaron pudriciones blandas existió una tendencia a valores intermedios en los conteos de lesiones por *F. solani*.

Nodulación por *Rhizobium* sp. y producción de biomasa.

En el 6% de los suelos muestreados no se formaron nódulos de bacterias fijadoras de nitrógeno durante el bioensayo de invernadero; 37% de los sitios tuvo una nodulación baja, 43% media, y 14% alta (Fig. 10A). La mediana y la moda de la distribución de valores fue de 2, la media fue de 1.6, y la desviación estándar de 0.8. El nivel de nodulación en este bioensayo estuvo positivamente correlacionado ($r = 0.3$, $P < R = 0.03$) con los indicadores de crecimiento lateral de raíces en las plantas de frijol colectadas durante el muestreo de campo. Los pesos secos de la parte aérea y volumen radical de las plantas de frijol mostraron frecuencias con comportamiento sigmoidal típico de una distribución normal con valores acumulados (Fig. 10B y C). Los resultados del análisis espacial indican que los suelos con alta nodulación por bacterias del género *Rhizobium* se localizan en los alrededores de Jilotla, en la región comprendida al norte de El Salitre, en un área ubicada entre el noroeste de Atzolcintla, entre San Cristóbal, el Pedregal de Zaragoza y Amajatlán, y en el noroeste de Tlacotepec (Fig. 9C). Las zonas con nivel

medio de nodulación se encuentran en las inmediaciones de Metztitlán, oeste de Tlacotepec, y sureste de Jilotla. De acuerdo a este análisis, las zonas de bajo a nulo potencial de nodulación se ubican al este de Huayateco y Tezisco, en el área entre el oeste de Metztitlán Coalquique, Tecruz de Cozapa y Atzolcintla.

DISCUSIÓN

Los resultados del presente trabajo indican que la pudrición seca de raíces del frijol causada por *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli* es la enfermedad más importante del cultivo en la Vega de Metztitlán, ya que se observó en todos los campos de frijol muestreados, con una severidad predominantemente alta a media alta, y el patógeno se detectó en la mayoría de los suelos sujetos a evaluación mediante bioensayos con base a tallos ahilados o raíces de plántulas. Esta prevalencia contrasta con la baja incidencia y severidad, predominantemente baja a media, de pudriciones blandas del sistema radical, típicas de *Pythium* spp., observada en las localidades muestreadas, y la incidencia aún menor de daños por *Rhizoctonia solani* Kühn y enfermedades foliares. La interpolación espacial de los valores de severidad del daño

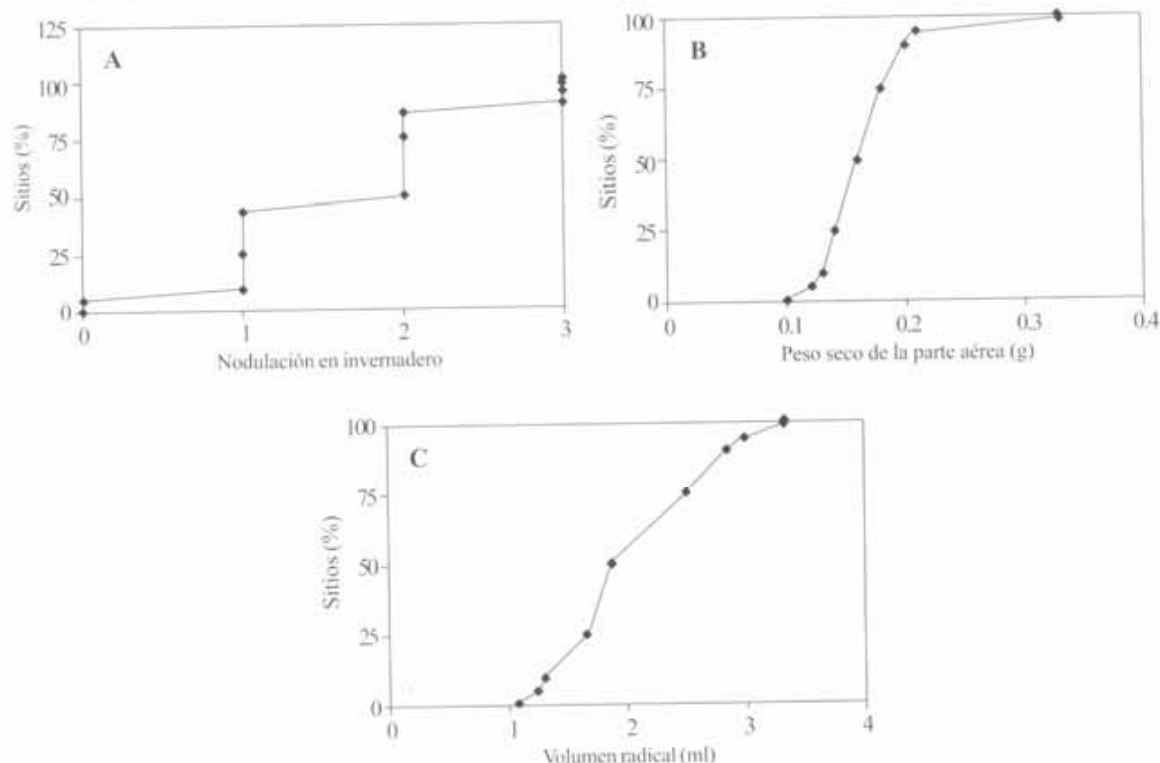


Fig. 10. Distribución de frecuencias del nivel de nodulación por bacterias fijadoras de nitrógeno (A), peso seco de la parte aérea (B), y volumen radical (C) de plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) cultivadas en muestras de suelo de la Vega de Metztitlán, Hidalgo, México, bajo condiciones de invernadero (0 = ausencia de nodulación; 3 = nodulación abundante). Evaluación realizada 24 días después de la siembra.

por *F. solani*, la severidad de pudriciones blandas, el nivel de desarrollo de las raíces laterales y la intensidad de nodulación observados durante el muestreo directo de cultivos de frijol en crecimiento activo, permitió obtener una primera aproximación regional al grado de perturbación del ecosistema edáfico y al nivel de sanidad del frijol, y su distribución en la vega de Metztitlán. El patrón espacial regional de la enfermedad puede ser un reflejo de las características del suelo, el historial de manejo e inundaciones cíclicas frecuentemente observables en esta área de la cuenca. Trabajos enfocados a dilucidar este tipo de relaciones en la región se hayan en proceso por nuestro grupo de investigadores. Dada la naturaleza discreta de las escalas utilizadas en la evaluación de estas variables durante el muestreo directo de cultivos, en esa etapa no fue posible establecer con suficiente precisión el tipo y grado de asociación entre ellas en el análisis de correlación. Sin embargo, en el análisis espacial es evidente en algunas áreas la ocurrencia de una relación inversa entre la severidad del daño por *F. solani* y el nivel de crecimiento de raíces laterales, así como una relación positiva entre ésta y el grado de nodulación por *Rhizobium* sp. en diversas zonas. Por el

contrario, los resultados de las mismas variables en los bioensayos donde se introdujeron criterios de evaluación más cuantitativos y el número de suelos evaluados aumentó de 46 a 72, indican con mayor claridad la existencia de una relación inversa entre la distribución espacial del número de lesiones por el hongo en segmentos de tallo o raíces, y el porcentaje de tejido de estos órganos dañado por pudriciones acuosas, asociadas a la ocurrencia de hongos del género *Pythium* spp. Asimismo, resulta un tanto más clara la existencia de una correlación espacial inversa entre el número de lesiones por *F. solani* y el grado de nodulación. La correlación espacial entre variables, puede en primer término ser explicada por el comportamiento multivariado de los fenómenos asociados a la expresión de enfermedad, el crecimiento radical y la nodulación; sin embargo, no se descarta un efecto asociado a la metodología de interpolación utilizada en este estudio en virtud de su naturaleza exploratoria, debido a la dificultad material de realizar un muestreo de alta intensidad, necesario para el cálculo de estimadores lineales insesgados (Isaaks y Srivastava, 1989). A diferencia de la estrecha asociación reportada por otros investigadores (Furuya *et al.*, 1999), en este trabajo el número de lesiones por fragmento de tallo

mostró una baja, pero significativa, correlación positiva con la severidad del patógeno en condiciones de campo. Un comportamiento similar fue observado para el caso de la relación entre el porcentaje de tejido dañado por pudriciones acuosas en los bioensayos, y la severidad de las pudrición de raíces laterales en plantas colectadas durante el muestreo directo de cultivos en la Vega de Metztlán. Estos resultados pueden explicarse en primer lugar por la falta de precisión derivada del uso de una escala de evaluación para las muestras de campo; sin embargo, factores como el tipo de suelo, diferencias en genotipo de planta (Pedroza-Sandoval y López-Alvarado, 1995), régimen de humedad y temperatura (Díaz-Plaza, *et al.*, 1991; Schuerger y Mitchell, 1993; Schuerger y Mitchell, 1992), variaciones en el estado nutricional y uso de fungicidas por parte de los agricultores, así como variabilidad asociada a la metodología de evaluación empleada, pudieron ejercer una influencia significativa. Destaca sin embargo la existencia de una correlación más definida y de tipo negativo entre el número de lesiones por segmento de tallo y el peso seco de la parte aérea de las plantas de frijol bajo condiciones de invernadero, donde no se usaron agroquímicos y se utilizó el mismo genotipo en todos los bioensayos, lo cual es indicativo de que este método de estimación del potencial infectivo del *F. solani* f. sp. *phaseoli* puede, con base a trabajos de investigación subsecuente, actualmente en proceso por nuestro grupo de investigación, para el caso de la Vega de Metztlán, Hidalgo, ser utilizado como indicador del potencial de enfermedad y su impacto en el rendimiento bajo condiciones de campo.

Agradecimientos. El presente trabajo fue realizado con el apoyo económico parcial del Colegio de Postgraduados y la Fundación Hidalgo Produce, Proyecto: Diagnóstico Regional Agropecuario y Fitosanitario de los Agroecosistemas y Necesidades de Investigación, Capacitación y Transferencia de Tecnología en Metztlán, Hidalgo.

LITERATURA CITADA

- Burke, D.W. 1965. *Fusarium* root rot of beans and behavior of the pathogen in different soils. *Phytopathology* 55:1122-1126.
- Díaz-Plaza, R., Téliz-Ortiz, D., Muñoz-Orozco, A. 1991. Interacción de algunos patógenos con la sequía. *Revista Mexicana de Fitopatología* 9:121-126.
- Estevez de Jensen, C., Percich, J.A. and Graham, 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.
- Guerra, D., and Anderson, A.J. 1985. The effect of iron and boron amendments on infection of bean by *Fusarium solani*. *Phytopathology* 75:992-995.
- Isaaks, E.H., and Srivastava, R.M. 1989. An Introduction to

- Applied Geostatistics. Oxford University Press. New York, USA. 561 p.
- Kobriger, K.M., and Hagedorn, D.J. 1983. Determination of bean root rot potential in vegetable production fields of Wisconsin's central sands. *Plant Disease* 67:177-179.
- Miller, D.E., and Burke, D.W. 1986. Reduction of *Fusarium* Root rot and *Sclerotinia* wilt with irrigation, tillage and bean genotype. *Plant Disease* 70:163-166.
- Mondal, S.N., and Hyakumachi, M. 1998. Carbon loss and germinability, viability, and virulence of chlamydospores of *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli* after exposure to soil at different pH levels, temperatures, and matric potentials. *Phytopathology* 88:148-155.
- Nash, S.M., and Snyder, W.C. 1962. Quantitative estimation by plate counts of propagules of the bean root rot *Fusarium* in field soils. *Phytopathology* 52:567-572.
- 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 Agricultural Research* 31:551-555.
- Pedroza-Sandoval, A., y López-Alvarado, M. 1995. Respuesta al patosistema del frijol, usando diferentes variedades, tres dosis de fertilización fosfórica y dos sistemas de siembra. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 13:117-122.
- Pozdnyakova, L., Oudemans, P.V., Hughes, M.G., and Gimenez, D. 2002. Estimation of spatial and spectral properties of *Phytophthora* root rot and its effects on cranberries yield. *Computers and Electronics in Agriculture* 37:57-70.
- Scherm, H., Yang, X.B., and Lunden, P. 1998. Soil variables associated with sudden death syndrome in soy bean fields in Iowa. *Plant Disease* 82:1152-1157.
- Schneider, K.A. 2001. QTL analysis of resistance to *Fusarium* root rot in bean. *Crop Science* 41:535-542.
- Schuerger, A.C., and Mitchell, D.J. 1992. Effects of temperature, hydrogen concentration, humidity, and light quality on disease caused by *Fusarium solani* f. sp. *Phaseoli* in mug bean. *Canadian Journal of Botany* 70:1798-1808.
- Schuerger, A.C., and Mitchell, D. J. 1993. Influence of mucilage secreted by macroconidia of *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli* on spore attachment to roots of *Vigna radiata* in hydroponic nutrient solution. *Phytopathology* 83:1161-1170.
- Steel, G.D.R., and Torrie, H.J. 1960. Principles and Procedures of Statistics: with Special Reference to the Biological Sciences. Mc Graw Hill. New York, USA. 481 p.
- 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* 23:233- 238.
- Vadhera, I., Shukla, B.N., and Bhatt, J. 1994. Interaction between reniform nematode (*Rotilenchulus reniformis*) and *Fusarium solani* causing root-rot of French bean

(*Phaseolus vulgaris*). Indian Journal of Agricultural
Science 65:774-777.