

NEMATODOS AGALLADORES EN LA VEGA DE METZTITLÁN, HIDALGO, MÉXICO: IDENTIFICACIÓN, DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y RELACIÓN CON FACTORES EDÁFICOS

R. A. Guzmán-Plazola^{1*}, B. Hernández-Flores¹, F. Franco-Navarro¹ y M. Cadena-Hinojosa²

¹Programa de Fitopatología, Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo, km 36.5 Carretera México Texcoco, Estado de México, C.P. 56230; y ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, km 35.5 Carretera México Texcoco, Chapingo, Estado de México, C.P. 56230; *Corresponding author: rguzmanp@colpos.mx.

ABSTRACT

Guzmán-Plazola, R. A., B. Hernández-Flores, F. Franco-Navarro, and M. Cadena-Hinojosa. 2008. Root-knot nematodes in Vega de Metztlán, Hidalgo, Mexico: identification, spatial distribution, and relationship with edaphic factors. *Nematopica* 38:47-61.

The influence of edaphic factors (soil texture, organic matter content, electric conductivity, and pH) on the spatial distribution of root-knot nematodes (RKN) was evaluated in Vega de Metztlán, Hidalgo, Mexico, the main agricultural area of the Reserve of the Biosphere Barranca de Metztlán. Rhizospheric soil samples from 106 farmed fields distributed along 5000 ha were collected. A portion of each soil sample was used to determine galling indices on tomato in the greenhouse. The number of galls per gram of root (gall index) was quantified for each site sampled, and *Meloidogyne* species were identified. Maps of spatial distribution of RKN and all variables studied were generated by geo-statistical methods. Fifty nine percent of the fields were infested by *Meloidogyne*. Four RKN species were identified: *Meloidogyne incognita*, *M. javanica*, *M. arenaria*, and *M. hapla*. *M. incognita* was present in 85.4% of positive sites, *M. javanica* and *M. arenaria* in 5.3% of the sites, and *M. hapla* in 4%. Spatial distribution of *Meloidogyne* species was positively correlated with soil texture and negatively correlated with the organic matter content. The highest frequency and gall indices (severity) occurred in sandy soils.

Key words: electrical conductivity, *Meloidogyne arenaria*, *M. hapla*, *M. incognita*, *M. javanica* organic matter, pH, soil texture.

RESUMEN

Guzmán-Plazola, R. A., B. Hernández-Flores., F. Franco-Navarro, y M. Cadena-Hinojosa. 2008. Nematodos agalladores en la Vega de Metztlán, Hidalgo: identificación, distribución espacial y relación con factores edáficos. *Nematopica* 38:47-61.

Se evaluó la influencia de factores edáficos (textura, contenido de materia orgánica, conductividad eléctrica y pH) sobre la distribución espacial de nematodos agalladores en la Vega de Metztlán, Hidalgo, México, la principal área agrícola de la Reserva de la Biósfera Barranca de Metztlán. Se colectaron muestras de suelo rizosférico de 106 cultivos agrícolas distribuidos en 5000 ha. Una parte de cada muestra de suelo se utilizó para medir el índice de agallamiento en tomate en invernadero. Se determinó el número de agallas por gramo de raíz (índice de agallamiento) y se identificaron las especies de *Meloidogyne* presentes en cada sitio. Se generaron mapas de distribución espacial de las especies de nematodos agalladores y de todas las variables analizadas, mediante métodos geoestadísticos. Se encontró *Meloidogyne* en el 59% de los cultivos muestreados estuvieron infestados y se identificaron cuatro especies: *M. incognita*, *M. javanica*, *M. arenaria* y *M. hapla*. Del total de sitios positivos, se encontró *M. incognita* en 85.4%, *M. javanica* en 5.3%, *M. arenaria* en 5.3% y *M. hapla* en 4%. La distribución de las especies de *Meloidogyne* se correlacionó positivamente con la textura del suelo y negativamente con el contenido de materia orgánica. La más alta frecuencia e índices de agallamiento (severidad) se presentaron en suelos de textura arenosa.

Palabras clave: conductividad eléctrica, materia orgánica, *Meloidogyne arenaria*, *M. hapla*, *M. incognita*, *M. javanica*, pH, textura del suelo.

INTRODUCCIÓN

Los nematodos agalladores del género *Meloidogyne* son endoparásitos obligados con un rango de hospedantes que abarca más de 3000 especies de plantas (Abad *et al.*, 2003). Las especies apomíticas *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) Chitwood, *M. javanica* (Treub) Chitwood y *Meloidogyne arenaria* (Neal) Chitwood, junto con la especie facultativamente partenogenética *Meloidogyne hapla* Chitwood, son las más importantes económicamente y de mayor distribución en el mundo (Eisenback *et al.*, 1981). *Meloidogyne incognita* está presente en climas templados y tropicales y es el nematodo que más daño causa en cultivos a nivel mundial (Trudgill and Blok, 2001). En la república mexicana, los nematodos agalladores se encuentran ampliamente distribuidos, con registros en al menos 23 de los 32 estados de este país (Sosa-Moss, 1985; Castro *et al.*, 1990; Carrillo *et al.*, 2000; Cid del Prado *et al.*, 2001; Guzmán-Plazola *et al.*, 2006). Entre los cultivos que parasitan en México sobresalen: tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), calabacita (*Cucurbita pepo* L.), pepino (*Cucumis sativus* L.), chile (*Capsicum annum* L.), berenjena (*Solanum melongena* L.), maíz (*Zea mays* L.), sandía (*Citrullus vulgaris*), papa (*Solanum tuberosum* L.), café (*Coffea arabica*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), fresa (*Fragaria chiloensis*), cebolla (*Allium cepa* L.), girasol (*Helianthus annuus* L.), alfalfa (*Medicago sativa*), durazno (*Prunus persica* L.) y vid (*Vitis vinifera*) (Ramírez, 1995; Carrillo *et al.*, 2000; Velásquez-Valle, 2001; Cid del Prado *et al.*, 2001; Guzmán-Plazola *et al.*, 2006). La textura y la composición química del suelo pueden influir de forma impor-

tante en la migración (Tarjan, 1971), tasa de reproducción (Edongali *et al.*, 1982; Barker and Weeks, 1991; Koenning *et al.*, 1996), nivel de infestación (O'Bannon and Reynolds, 1961; Robinson *et al.*, 1987; Starr *et al.*, 1993) y nivel de daño al cultivo (Edongali and Ferris, 1982; Barker and Weeks, 1991) de este grupo de fitopatógenos. Es necesario un buen entendimiento de estas interacciones para desarrollar programas de manejo de este nematodo. Los objetivos de esta investigación fueron identificar las especies de *Meloidogyne* asociadas al cultivo de jitomate en la Vega de Metztitlán, Hidalgo, y estudiar el efecto de las diferencias locales en cuatro características fisicoquímicas del suelo sobre la distribución geográfica del nematodo agallador en esta región agrícola.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo y extracción de Meloidogyne

La Vega de Metztitlán, Hidalgo, México, es la principal área agrícola de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán (Fig. 1) y está ubicada entre los paralelos 20°42'12" y 20°28'04" de latitud norte, y 98°53'20" y 98°40'21" longitud oeste, a una altitud media de 1270 msnm. El clima es seco semicálido (BSh), con una temperatura media anual que varía entre 18 y 20°C, y una precipitación de media anual de 427.4 mm. El área total de muestro fue de aproximadamente 5000 ha, en donde se colectaron 106 muestras compuestas de suelo rizosférico de diferentes cultivos agrícolas presentes en la zona: maíz (38), frijol (26), chile (16), sorgo (9), tomate (7), jitomate (5), calabacita (3), papa (1) y

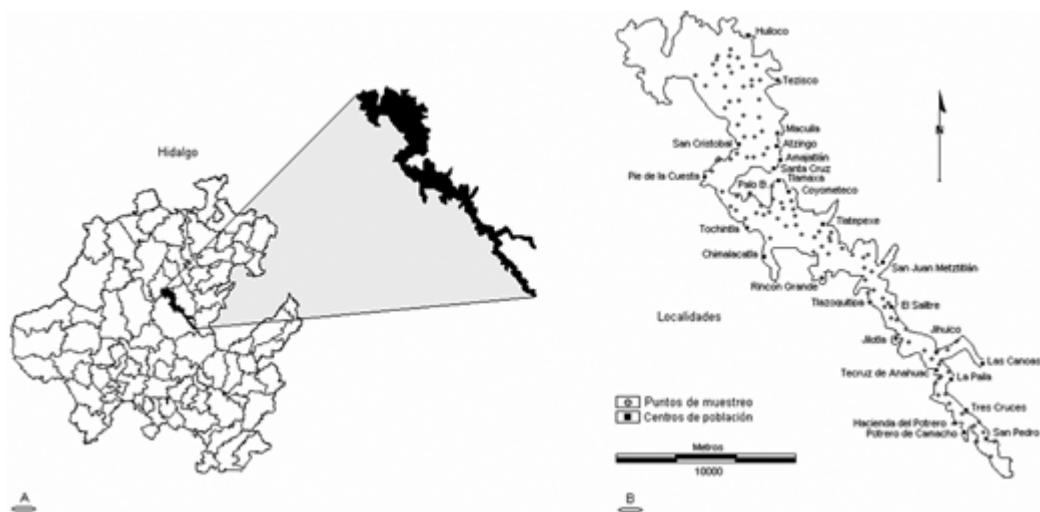


Fig. 1. A. Ubicación geográfica de la Vega de Metztlán, Hidalgo, México. B. Sitios de muestreo durante el ciclo de cultivo primavera-verano de 2006.

alfalfa (1), durante el ciclo agrícola primavera-verano del año 2006. Los sitios de muestreo se seleccionaron al azar. Cada muestra compuesta (2.8 kg) consistió de 25 submuestras ha^{-1} , obtenidas bajo un esquema de muestreo sistemático a intervalos uniformes en forma de V a través del campo. Se determinaron las coordenadas geográficas en el centro de cada parcela mediante un geoposicionador marca Maguellan Promark X-CM. De cada muestra, se separaron 2.3 kg y se colocaron en una maceta con capacidad de 2.5 litros, donde se transplantó jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) híbrido Zuley, de 26 días de edad. Las macetas se mantuvieron en invernadero durante 70 días. Al final de este período, se cuantificó el número de agallas y el peso total de raíz por planta, con el fin de calcular el índice de agallamiento (número de agallas g^{-1} de raíz). Este índice se estimó para tener un referente de la severidad del daño ocasionado por el nematodo en las raíces. De todas las plantas mantenidas en invernadero se tomó una muestra de un gramo de raíz, la

cual se tiñó con fucsina ácida (Daykin y Hussey, 1985). De las muestras positivas se extrajeron hembras adultas para efectuar cortes perineales (Jepson, 1987). Además de la morfología de los cortes perineales, también se tomaron medidas de longitud de la vulva, distancia de la vulva al ano y la distancia interfasmidial. Las medidas se tomaron utilizando cámara clara y curvímetro, haciendo las correcciones de escala pertinentes (Fortuner, 1971). El resto de suelo colectado en campo (aproximadamente 500 g) se procesó para determinar la textura, el contenido de materia orgánica, la conductividad eléctrica y el pH. La textura de suelo fue determinada por el método del hidrómetro de Bouyoucos. El contenido de materia orgánica se determinó por el método de combustión húmeda propuesta por Walkey y Black (Barreira, 1978). La conductividad eléctrica se midió en el extracto de saturación del suelo a una relación 1:5 suelo agua desionizada y destilada (Richards, 1990), y el pH del suelo se midió en suspensión de suelo y agua (1:2).

Análisis geoestadístico

La exploración e interpolación espacial de las diferentes variables edáficas y de la distribución de las especies de *Meloidogyne*, se realizó mediante el software IDRISI 15.0 versión Andes para Windows, utilizando los módulos 'spatial dependence modeler', 'model fitting' y 'kriging and simulation' (Eastman, 2006). Dichos módulos se emplearon para construir semivariogramas para elegir y ajustar el modelo que mejor describiera el patrón espacial de cada variable de interés, y para realizar la interpolación por kriging ordinario (Isaaks and Srivastava, 1989).

Análisis de componentes principales

Se evaluó la similitud entre los campos de cultivos muestreados por medio de análisis de componentes principales (ACP) y la relación existente entre las características edáficas estudiadas. El cálculo de ACP se llevó a cabo con el software *XLSTAT-pro 2007* para Microsoft Excel. Se analizó la matriz de correlaciones y se seleccionaron los factores que explican la mayor proporción de la variabilidad original. Se hizo un análisis de la matriz factorial y se realizó la interpretación respectiva de los factores.

RESULTADOS

Identificación y frecuencia de especies de Meloidogyne

Se identificaron cuatro especies de *Meloidogyne* asociadas al cultivo de jitomate: *M. incognita*, *M. arenaria*, *M. javanica* y *M. hapla* (Eisenback *et al.*, 1981; Eisenback, 1985). *Meloidogyne incognita* fue la especie más frecuente en los campos de cultivo de la región, presente en 85.4% de los sitios positivos muestreados. *Meloidogyne javanica* y *M. arenaria*, se presentaron en 5.3% de los sitios, mientras que *M. hapla* sólo ocurrió en 4%. En 11.3% de los campos de cultivo

muestreados se encontraron poblaciones mezcladas, de los cuales 8.5% fueron mezclas de *M. incognita* y *M. javanica*, y 2.8% fueron mezclas de *M. incognita* y *M. arenaria*. En el análisis morfológico y morfométrico (Cuadro 1) de la región perineal, *M. incognita* presentó arco dorsal alto y cuadrado, con estrías lisas a onduladas, líneas laterales no visibles, sin alas y sin puntuaciones subcuticulares en el término de la cola; la longitud promedio de la vulva fue de 19.9 μm , la longitud vulva-ano de 17.5 μm y la distancia interfasmidial de 19.6 μm . *Meloidogyne javanica* presentó un arco dorsal redondo a aplanado, con estrías lisas a onduladas, líneas laterales visibles, sin alas y sin puntuaciones subcuticulares en el término de la cola. La longitud promedio de la vulva fue de 20.5 μm , la longitud vulva-ano de 17.3 μm y la longitud interfasmidial de 20.6 μm . *Meloidogyne arenaria* presentó un arco dorsal aplanado a redondeado, con estrías lisas a onduladas, con "hombrecas", líneas laterales no visibles, sin alas y sin puntuaciones subcuticulares; presentó una longitud promedio de vulva de 17.7 μm , longitud vulva-ano de 16.6 μm y una distancia interfasmidial de 29.9 μm . *Meloidogyne hapla* presentó un arco dorsal aplanado, con estrías lisas a onduladas, líneas laterales no visibles, una o dos alas y con puntuaciones subcuticulares en el término de la cola; presentó una longitud promedio de vulva de 18.6 μm , longitud vulva-ano de 14.2 μm y distancia interfasmidial de 17.9 μm .

Análisis geoestadístico

Un modelo lineal, con una orientación de 165-180 grados, fue el que mejor describió la distribución espacial del contenido de arena, limo, arcilla, materia orgánica y pH. El modelo Gaussiano con orientación 165-180 grados fue el que mejor describió la estructura espacial de los de datos conductividad eléctrica. Los mapas de distribu-

Cuadro 1. Morfometría de la región perineal de hembras adultas de las especies de *Meloidogyne* colectadas en la Vega de Metztlán, Hidalgo, México 2006.

Especie	Morfometría			Sitios positivos
	Longitud vulva (μm)	Longitud vulva-ano (μm)	Distancia interfasmidial (μm)	
<i>M. incognita</i>	19.87 \pm 3.3 (11.0-25.5)	17.53 \pm 2.4 (10.0-22.5)	19.58 \pm 3.6 (12.5-23.5)	1-19, 21, 22-25, 27-29, 34-38, 40, 42, 44-46, 48-53, 55, 58-60, 65, 70-74, 78, 90, 91, 94, 98, 100 y 104
<i>M. javanica</i>	20.53 \pm 1.7 (14.7-27.5)	17.26 \pm 3.0 (10.5-21.9)	20.63 \pm 2.9 (16.0-24.0)	5, 21, 32, 34, 37, 51, 70, 100 y 104
<i>M. arenaria</i>	17.70 \pm 2.7 (14.6-19.5)	15.60 \pm 0.4 (15.0-15.8)	25.90 \pm 8.5 (17.0-34.0)	23, 24 y 58
<i>M. hapla</i>	18.55 \pm 5.4 (14.7-26.0)	14.22 \pm 0.6 (13.0-14.6)	17.93 \pm 1.5 (16.0-19.5)	63

ción espacial para las características antes mencionadas, estimados por kriging ordinario (Figs. 2 y 3), mostraron un patrón de distribución con discontinuidad, de la parte suroriental a la noroccidental de la Vega de Metztlán. Con base en esta discontinuidad espacial, se dividió la zona en tres regiones con características edáficas similares: la zona noroccidental, zona central y zona suroriental. La zona suroriental presentó suelos con alto contenido de arena (clase migajón y migajón arenoso), con un promedio de 45.2% de contenido de arena de, 19.7% de arcilla y 35.1% de limo (Fig. 2A-C; Cuadro 2). El contenido de materia orgánica en esta zona fue muy bajo (0.33%) (Fig. 2D; Cuadro 2), el pH de los suelos fue ligeramente alcalino (7.7), y la conductividad de eléctrica fue de 0.5 dS/m (Fig. 3; Cuadro 2). La zona central fue de transición entre suelos de textura arenosa y textura arcillosa. En dicha zona fue común encontrar casi todas las clases de textura (migajón, migajón arcillo limoso, migajón arcilloso, migajón limoso, arcilla, arcilla limosa), aunque fueron más frecuentes los suelos de textura migajón y migajón arcilloso (Cuadro 2), los cuales representan más del 50% del total. En tér-

minos generales, estos suelos presentaron en promedio un 25% de arena, 43.8% de limo y 31.2% de arcilla (Fig. 2A-C; Cuadro 2). El contenido de materia orgánica fue de 0.68%; un poco mayor que en la zona suroriental e inferior al de la zona noroccidental. El pH de los suelos fue ligeramente alcalino (7.7) y la conductividad eléctrica fue de 0.63 dS/m (Fig. 3; Cuadro 2). En la zona noroccidental predominaron los suelos de textura arcillosa y arcilla limosa, con un promedio de contenido de arena del 15.7%, 40.3% de limo y 44% de arcilla (Fig. 2A-C; Cuadro 2); el contenido de materia orgánica fue de 0.83%, el pH fue ligeramente alcalino (7.6) y la conductividad eléctrica de 0.87 dS/m.

Distribución espacial de especies de Meloidogyne y su relación con factores edáficos

Se hallaron nematodos agalladores en el 58.5% de los campos de cultivo de la Vega de Metztlán (Cuadro 3). *Meloidogyne* spp. ocurrió con un grado de severidad de 17.8 agallas por gramo de raíz en los campos en donde fue detectado. En la región suroriental se presentó la mayor incidencia de especies de *Meloidogyne* de toda la

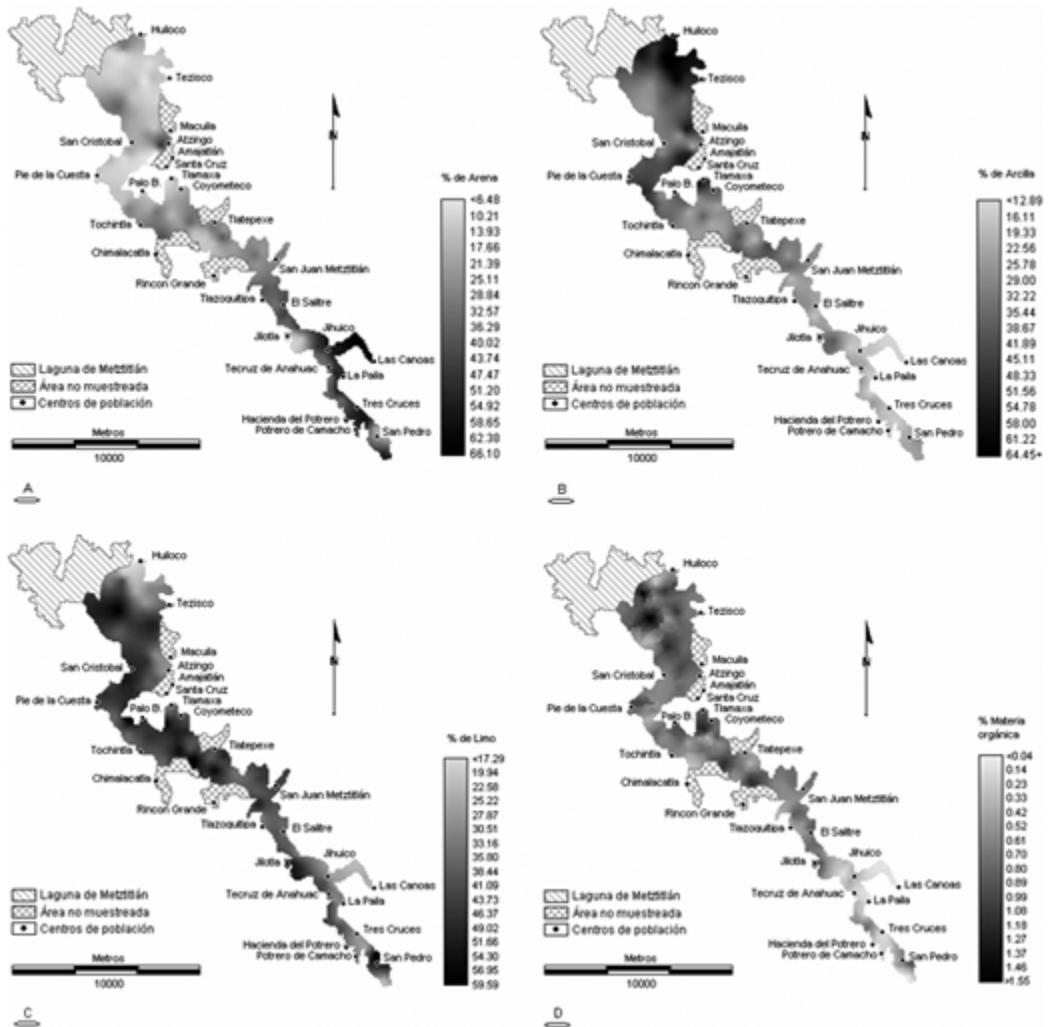


Fig. 2. Mapas de la textura de suelo y materia orgánica, generados mediante kriging ordinario a partir de 106 puntos de muestreo tomados en la Vega de Metztlán, Hidalgo, México. A. Porcentaje de arena. B. Porcentaje de arcilla. C. Porcentaje de limo. D. Porcentaje de materia orgánica.

región (Cuadro 3; Fig. 4), ya que más del 95% de los campos de cultivo muestreados se encontraron infestados; además de que ocurrió el mayor grado de severidad (promedio de 22 agallas g⁻¹ de raíz). En la región central, en 33 de 51 campos de cultivos muestreados se detectó presencia de *Meloidogyne* y la severidad en invernadero fue de 16.8 agallas g⁻¹ de raíz (Cuadro 3;

Fig. 4). La región noroccidental tuvo el menor porcentaje de suelos infestados por *Meloidogyne* (26.5%) y una menor severidad en invernadero (promedio de 2.4 agallas g⁻¹ de raíz) (Cuadro 3; Fig. 4). El número de agallas por gramo de raíz tuvo una correlación positiva con el contenido de arena en el suelo y una correlación negativa con el contenido de materia orgánica. En el análisis

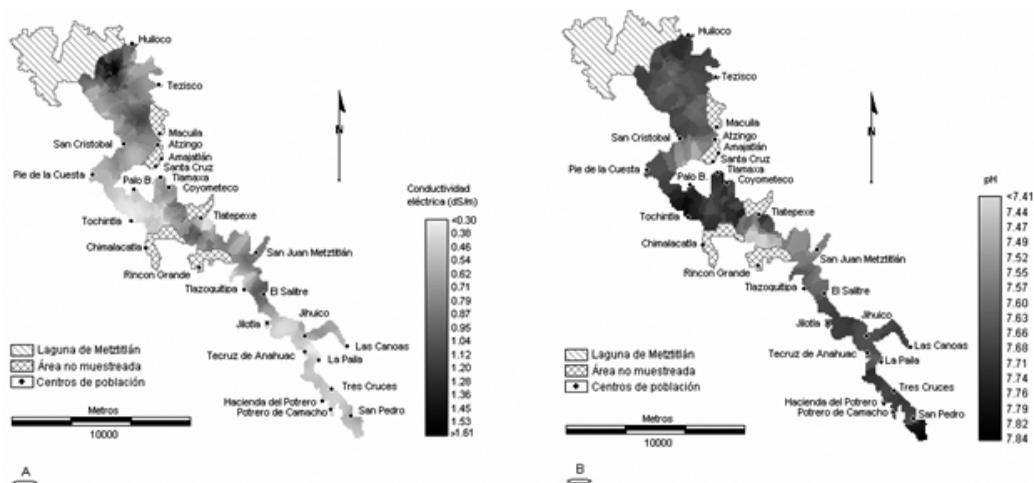


Fig. 3. Mapas de conductividad eléctrica (A) y de pH (B), generados mediante kriging ordinario a partir de 106 puntos de muestreo tomados en la Vega de Metztitlán, Hidalgo, México.

sis de componentes principales se observó que los primeros tres acumulan el 80.7% de la varianza de las variables originales y los demás componentes acumulan el 19.3% restante de la varianza total. El primer componente (F1) explica el 44.9% de varianza total y tuvo una correlación positiva con el contenido de arena presente en el suelo y una correlación negativa con el contenido de materia orgánica. El segundo componente (F2) explica el 19% de la varianza total y tuvo una correlación positiva con el contenido de limo y una correlación negativa con el contenido de arcilla. El tercer componente (F3) explica el 16.8% de la varianza total y tuvo una correlación positiva con el pH y una correlación negativa con la conductividad eléctrica. En la gráfica de dispersión de los campos de cultivo realizado con F1 vs F2 (Fig. 5) se observan 6 grupos con cierta similitud edáfica, donde el primer grupo lo conforman los campos de cultivo con suelos de textura tipo migajón arenoso y migajón, con un contenido de materia orgánica muy pobre (0.24%), pH ligeramente alcalino (7.7) y conductividad eléctrica baja (0.47 dS/m).

El segundo grupo lo conforman campos con suelos predominantemente de textura tipo migajón (82%), contenido de materia orgánica muy pobre (0.54%), pH ligeramente alcalino (7.6) y conductividad eléctrica baja (0.49 dS/m). El tercer grupo lo constituyen los campos con suelos de textura tipo migajón limoso (75%), con un contenido de materia orgánica de muy pobre a pobre (0.94%), pH ligeramente alcalino (7.6) y conductividad eléctrica baja (0.65 dS/m). El cuarto grupo lo conforman campos que presentan suelos principalmente de textura tipo migajón arcilloso y migajón arcilloso limoso, contenido de materia orgánica de muy pobre a pobre (0.83%), pH ligeramente alcalino (7.6) y conductividad eléctrica baja (0.79 dS/m). El quinto grupo lo conforman los campos con suelos predominantemente de textura arcillosa (81%), contenidos de materia orgánica de muy pobre a pobre (0.90%), pH ligeramente alcalino (7.6) y conductividad eléctrica baja (0.99 dS/m). El sexto grupo lo conforman los campos de cultivo caracterizados por suelos predominantemente de textura migajón arcilloso, arcilla

Cuadro 2. Características físico-químicas de los suelos muestreados en la Vega de Metztlán, Hidalgo, México.

Región	Clase de textura	Frecuencia de sitios	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	M.O. (%)	pH	C.E. (dS/m)
Suroriental								
	Migajón arenoso	9	56.8 ± 3.2 (53-64)	27.1 ± 2.5 (22-30)	16.1 ± 1.7 (13-18)	0.21 ± 0.1 (0.1-0.5)	7.68 ± 0.04 (7.6-7.8)	0.52 ± 0.2 (0.3-1.0)
	Migajón	10	38.3 ± 7.0 (29-49)	40.0 ± 4.7 (34-46)	21.7 ± 3.3 (17-27)	0.38 ± 0.2 (0.1-0.8)	7.64 ± 0.1 (7.5-7.7)	0.47 ± 0.2 (0.2-0.6)
	Otras	2	31.2 ± 20.2 (19-55)	44.7 ± 20.0 (22-60)	24.1 ± 3.1 (21-27)	0.54 ± 0.5 (0.1-1.0)	7.77 ± 0.2 (7.7-8.0)	0.61 ± 0.3 (0.3-0.9)
Central								
	Migajón	13	38.1 ± 5.9 (28-49)	39.3 ± 4.4 (30-46)	22.6 ± 3.5 (15-22)	0.57 ± 0.2 (0.1-0.9)	7.64 ± 0.1 (7.5-7.8)	0.59 ± 0.3 (0.2-1.3)
	Migajón arcilloso	13	27.2 ± 5.2 (21-40)	40.8 ± 5.1 (32-50)	32.0 ± 3.6 (27-38)	0.64 ± 0.2 (0.4-1.2)	7.67 ± 0.1 (7.5-7.8)	0.74 ± 0.5 (0.3-1.8)
	Migajón arcillo limoso	9	16.1 ± 2.8 (12-20)	47.4 ± 2.2 (46-52)	36.5 ± 2.9 (32-40)	0.85 ± 0.2 (0.5-1.2)	7.65 ± 0.2 (7.3-7.8)	0.42 ± 0.2 (0.2-0.6)
	Migajón limoso	7	19.8 ± 6.1 (14-30)	55.8 ± 3.9 (50-60)	24.4 ± 3.0 (18-27)	0.76 ± 0.3 (0.2-1.2)	7.65 ± 0.1 (7.5-7.8)	0.59 ± 0.5 (0.3-1.7)
	Otras	10	14.6 ± 3.9 (9-22)	40.7 ± 4.9 (34-48)	44.8 ± 5.5 (38-57)	0.73 ± 0.2 (0.3-1.0)	7.61 ± 0.1 (7.3-7.8)	0.68 ± 0.3 (0.4-1.2)
Noroccidental								
	Arcilloso	12	11.9 ± 6.6 (6-32)	31.5 ± 6.5 (20-44)	56.6 ± 5.5 (47-64)	0.87 ± 0.3 (0.2-1.6)	7.65 ± 0.1 (7.6-7.8)	0.76 ± 0.4 (0.4-1.7)
	Arcilla limosa	8	11.4 ± 3.1 (7-16)	43.5 ± 3.2 (40-48)	45.1 ± 4.2 (41-53)	0.76 ± 0.1 (0.5-0.9)	7.59 ± 0.1 (7.4-7.8)	1.25 ± 0.8 (0.3-2.4)
	Migajón arcillo limoso	7	13.5 ± 3.3 (9-19)	51.0 ± 5.0 (46-60)	35.5 ± 5.0 (27-40)	0.87 ± 0.4 (0.6-1.6)	7.63 ± 0.1 (7.5-7.7)	0.77 ± 0.2 (0.4-1.0)
	Otras	4	26.4 ± 11.8 (10-49)	44.0 ± 7.4 (30-52)	29.6 ± 5.6 (21-38)	0.78 ± 0.3 (0.3-1.2)	7.64 ± 0.1 (7.6-7.7)	0.75 ± 0.4 (0.2-1.3)
Total		106	26.1 ± 14.9 (6-64)	41.0 ± 9.1 (20-60)	32.9 ± 12.7 (13-64)	0.66 ± 0.3 (0.1-1.6)	7.65 ± 0.1 (7.3-8)	0.68 ± 0.4 (0.2-2.4)

limosa y migajón arcillo limoso, con contenidos de materia orgánica de muy pobre a pobre (0.71%), pH ligeramente alcalino (7.7) y conductividad eléctrica baja (0.74 dS/m). En el primer grupo *Meloidogyne* estuvo presente en 15 de 16 campos de cultivo (93.8%). En el segundo grupo, el 63.7% de los campos de cultivo fueron positivos para *Meloidogyne* spp., mientras que en el tercer grupo el 75% de los campos fueron positivos, 42.9% en el cuarto

grupo, 25% en el quinto y 46.4% en el sexto (Fig. 5). La mayor severidad (número de agallas gr⁻¹ de raíz) ocurrió en suelos con textura migajón arcillo arenoso y migajón arenoso (Fig. 6A); en la clase de suelo con textura migajón arcillo arenoso se obtuvo un promedio de 16.1 agallas gr⁻¹ de raíz y en la clase migajón arenoso un promedio de 24.5 agallas gr⁻¹ de raíz. En las clases de suelo con textura migajón arcillo, migajón y migajón limoso, se obtuvo en

Cuadro 3. Frecuencia de especies de *Meloidogyne* y severidad (número de agallas g⁻¹ de raíz) en las regiones suroriental, central y noroccidental de la Vega de Metztlán, Hidalgo, México.

Región	No. de muestras	Porcentaje de muestras positivas para <i>Meloidogyne</i> spp.	Cantidad de agallas por gramo de raíz
Suroriental	21	95.3	22.2 ± 38.7 (0.56-179.8)
Central	51	64.7	16.8 ± 22.3 (0.09-111.8)
Noroccidental	34	26.5	2.4 ± 12.7 (0.19-73.3)
Total	106	58.5	17.8 ± 30.2 (0.09-179.8)

promedio de 7.0-14.0 agallas por gramo de raíz (Fig. 6B). En los suelos con textura migajón arcilloso la severidad fue de 14 agallas gr⁻¹ de raíz, en los de textura migajón de 11.1 agallas gr⁻¹ de raíz y en los de textura migajón limoso de 7.3 agallas gr⁻¹ de raíz. El grado de infestación más bajo se observó en suelos con textura migajón arcillo limoso, arcilla limosa y arcilla. En suelos con textura migajón arcillo limoso la severidad fue de 6.4 agallas gr⁻¹ de raíz, en los de textura arcilla limosa de 4.7 agallas gr⁻¹ de raíz y en los de textura arcillosa de 6.3 agallas gr⁻¹ de raíz.

Los suelos con más bajo contenido de materia orgánica (0.06-0.50%) fueron más favorables a *Meloidogyne* spp., con una severidad promedio de 17.7 agallas por gramo de raíz (Fig. 7). Los suelos con contenido de materia orgánica entre 0.51 y 0.80% fueron medianamente favorables al desarrollo de *Meloidogyne*, con una severidad promedio de 11.5 agallas g⁻¹ de raíz. Los suelos con más alto contenido de materia orgánica (0.81-1.62%) fueron los que menos favorecieron el desarrollo de *Meloidogyne* spp., al promediarse 2.7 agallas por gramo de raíz.

DISCUSIÓN

Los patrones perineales, junto con la forma de la cabeza de los machos, fueron el carácter morfológico más útil en la iden-

tificación de especies de *Meloidogyne*. La identificación de especies de *Meloidogyne* por patrones perineales resultó ser conveniente para alto número de muestras incluidas en el presente estudio. Este técnica es rápida y de bajo costo.

Existen registros de *Meloidogyne incognita* raza 1 en cultivo de jitomate en esta área de estudio (Cid del Prado *et al.*, 2001). Este es el primer registro de las especies *M. javanica*, *M. arenaria* y *M. hapla* en la región. *Meloidogyne incognita* fue la especie más frecuente en los campos de cultivo muestreados, seguida por *M. javanica*, *M. arenaria* y *M. hapla*. Estos resultados coinciden con los de otros investigadores para otras regiones del país (Carrillo-Fasio *et al.*, 2000; Cid del Prado *et al.*, 2001; Guzmán-Plazola *et al.*, 2006), quienes registran proporciones similares a las encontradas en el presente estudio. En estudios anteriores también se han registrado poblaciones mezcladas en un mismo campo de cultivo (Cid del Prado *et al.*, 2001; Guzmán-Plazola *et al.*, 2006). Dicha mezcla es frecuente dado que *M. incognita*, *M. javanica* y *M. arenaria* suelen coincidir en su distribución, principalmente si se trata de regiones cálidas.

En este estudio, el grado de severidad, considerado como el número de agallas g⁻¹ de raíz, estuvo correlacionado positivamente con el contenido de arena en el suelo y negativamente con el contenido de

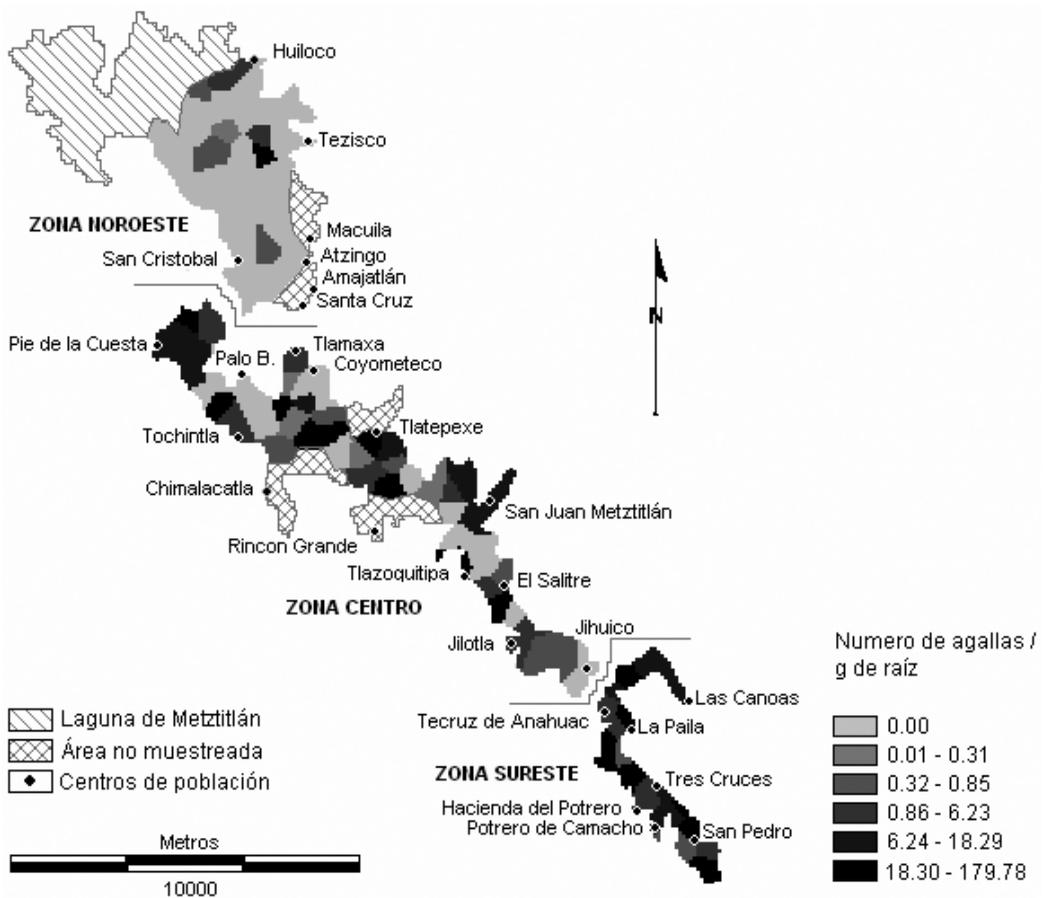


Fig. 4. Mapa de distribución espacial de *Meloidogyne* spp., en la Vega de Metztlán, Hidalgo, realizado por kriging ordinario. Ciclo primavera-verano, 2006.

materia orgánica. Los suelos con textura tipo migajón arenoso y migajón arcillo arenoso fueron los que presentaron las más altas infestaciones por especie de *Meloidogyne*. Tal relación se debe a que en estos tipos de suelos hay predominancia de macroporos y el movimiento de aire y agua es rápido, situación que favorece la movilidad e infectividad de *Meloidogyne* (Van Gundy and Stolzy, 1961; Van Gundy and Stolzy, 1963; Baxter and Blake, 1969). Los suelos de textura arcilla, arcilloso limoso y migajón arcillo limoso fueron poco favora-

bles al desarrollo de *Meloidogyne*; estos suelos se caracterizan por poseer una textura fina y predominancia de microporos, por lo que el movimiento del aire y agua es más restringido. Estas condiciones hacen que los niveles de oxígeno sean más bajos, y en consecuencia el metabolismo, movimiento e infectividad de los juveniles se afecte, además del efecto negativo sobre el crecimiento y reproducción de las hembras (Van Gundy and Stolzy, 1961; Van Gundy and Stolzy, 1963; Van Gundy *et al.*, 1967). Los resultados de este estudio concuerdan

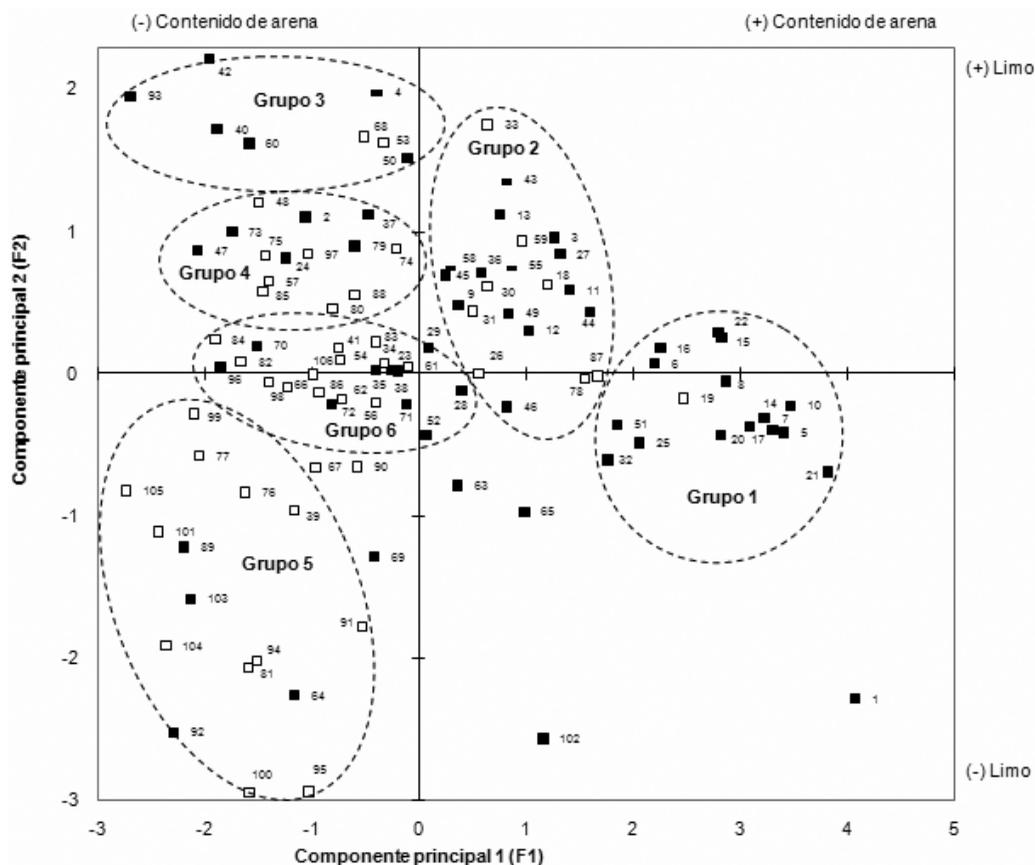


Fig. 5. Gráfica de dispersión de 106 campos agrícolas muestrados en la Vega de Metztlán, Hidalgo. El primer componente principal se correlaciona positivamente con el contenido de arena en el suelo. El segundo componente principal se correlaciona positivamente con el contenido de limo en el suelo. ■ = campos infestados con *Meloidogyne*, □ = campos no infestados con *Meloidogyne*.

con registros previos en donde el tamaño de las partículas de suelo es un determinante importante en la distribución y severidad de *Meloidogyne*. Barker y Weeks (1991) mencionan que la reproducción de nematodos es mayor en suelos arenosos que en suelos arcillosos. Por su parte Prot y Van Gundy (1981), registraron que la migración vertical de juveniles de *M. incognita* se favorece en los suelos más arenosos. Asimismo, hay varios registros y observaciones que asocian la distribución y severidad de las enfermedades ocasionadas por

nematodos agalladores con suelos de textura arenosa (Sleeth and Reynolds, 1955; O'Bannon and Reynolds, 1961; William, 1975; Goodell and Ferris, 1980; Barker and Weeks, 1981; Shane and Barker, 1986; Windham and Barker, 1986; Jordaan *et al.*, 1989; Starr *et al.*, 1993). *Meloidogyne* puede ocurrir en un amplio rango de tipos de suelo, pero su asociación con daños a cultivos se refleja principalmente en suelos de textura gruesa. Nuestros resultados muestran una mayor incidencia y severidad de especies de *Meloidogyne* en suelos de tex-

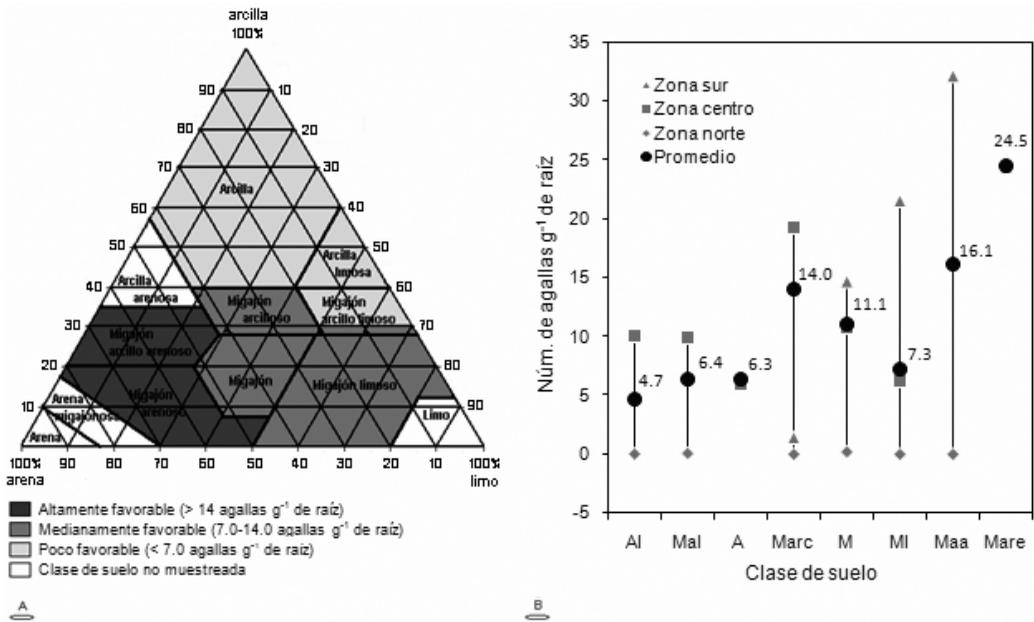


Fig. 6. A. Clases de textura de suelo y número de agallas g⁻¹ de raíz inducidas por *Meloidogyne* spp. en *Lycopersicon esculentum* Mill. B. Clases de suelo bajo diferentes condiciones edáficas (zona noroccidental, central y suroriental) y número de agallas g⁻¹ de raíz inducidas por *Meloidogyne* spp. en *Lycopersicon esculentum* Mill en la Vega de Metztlán, Hidalgo. Al = arcilla limosa, Mal = migajón arcillo limoso, A = arcilla, Marc = migajón arcilloso, M = migajón, MI = migajón limoso, Mare = migajón arenoso, Maa = migajón arcilla arenosa.

tura gruesa, sin embargo, hay excepciones encontradas en algunos sitios de muestreo que pueden explicarse por las diferencias en los genotipos de cultivos establecidos en campo anteriormente y por factores no dilucidados.

El contenido de materia orgánica tuvo correlación negativa con el grado de severidad por *Meloidogyne*. En los suelos con mayor contenido de materia orgánica la severidad fue menor. Una explicación común es que a mayor contenido de materia orgánica mayor concentración de microorganismos que son parásitos o depredadores de nematodos parásitos de plantas. El pH del suelo presentó poca variabilidad en el área de estudio (7.0 a 8.0) y no se observó una relación importante entre la distribución y severidad de

Meloidogyne y esta variable. Starr *et al* (1993), en cultivo de algodón tampoco observó alguna relación entre pH e incidencia de *Meloidogyne* con una variabilidad de pH similar (7.5 a 8.5). La conductividad eléctrica del agua extraída de muestras saturadas de suelo (ECe) no tuvo correlación significativa con relación a la distribución y severidad de *Meloidogyne*. Sin embargo, se observó distribución y severidad ligeramente mayores en suelos con conductividad eléctrica menor (0.15-0.45 dS/m), comparados con suelos con conductividad eléctrica mayor (0.71-2.44 dS/m). El efecto negativo de elevados niveles de salinidad también ha sido observado por Edongali y Ferris (1982), quienes registraron un menor número de juveniles infectivos de *M. incognita*, en suelos con

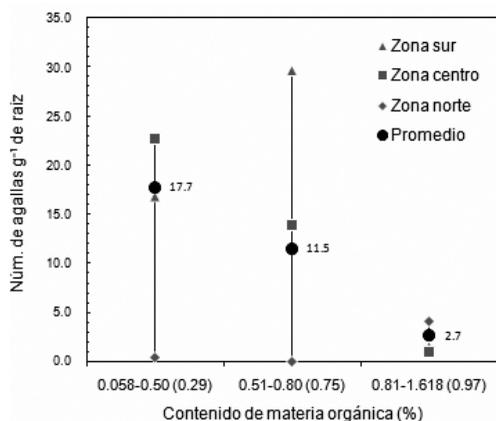


Fig. 7. Relación entre el contenido de materia orgánica y el número de agallas inducidas por gramo de raíz en tomate, bajo diferentes condiciones edáficas (zona noroccidental, central y suroriental).

conductividad eléctrica elevada. Asimismo, Edongali *et al.*, (1982) determinaron que conforme incrementa la concentración de sales (NaCl, CaCl₂), la infectividad y desarrollo de *M. incognita* se afecta. La presente investigación provee información cuantitativa concerniente a la distribución de especies de *Meloidogyne* en la Vega de Metztlán y el efecto de las características edáficas en el potencial de desarrollo de estos nematodos. Esta información es muy útil para definir qué áreas son más favorables para cultivos susceptibles a *M. incognita*, *M. javanica*, *M. arenaria* y *M. hapla*, y/o en su caso tomar las medidas necesarias para su producción en las áreas menos favorables.

LITERATURA CITADA

Abad, P., B. Favery., M. N. Rosso, and P. C. Sereno. 2003. Pathogen profile root-knot nematode parasitism and host response: molecular basis of a sophisticated interaction. *Molecular Plant Pathology* 4(4):217-224.

Barker, K. R., and W. W. Weeks. 1981. Influence of soil type and *Meloidogyne incognita* on yield and quality of tobacco. *Journal of Nematology* (Abstr.) 13:432.

Barker, K. R., and W. W. Weeks. 1991. Relationships between soil and levels of *Meloidogyne incognita* and tobacco yield and quality. *Journal of Nematology* 23(1):82-90.

Barreira, E. A. 1978. Fundamentos de edafología para la agricultura, Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina.

Baxter, R. I., and C. D. Blake. 1969. Oxygen and the hatch of eggs and migration of larvae of *Meloidogyne javanica*. *Annals of Applied Biology* 63(2):191-203.

Carrillo-Fasio, J. A., R. S. García-Estrada., R. Allende-Molar., I. Marquez-Zequera, y J. E. Cruz-Ortega. 2000. Identificación y distribución de especies del nematodo nodulador (*Meloidogyne* spp.) en hortalizas, en Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 18:115-119.

Castro, A. A. E., E. Zavaleta-Mejía., I. Cid del Prado V., y G. Zamudio V. 1990. Rotación e incorporación de *Tagetes erecta* L. para el manejo de *Meloidogyne incognita* (Kofoid & white) Chitwood en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en Tecamachalco, Puebla. *Revista Mexicana de Fitopatología* 8:173-180.

Cid Del Prado, V. I., A. T. Soto, and J. A. Hernández. 2001. Distribución de especies y razas de *Meloidogyne* en México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 19:32-39.

Daykin, M. E., and R. S. Hussey. 1985. Staining and histopathological techniques in Nematology. Pp. 39-48 *In* K. Barker, C. Carter, and J. Sasser (eds.). An advanced treatise on *Meloidogyne*. Vol. II, Methodology. North Carolina State University Graphics, Raleigh, NC, U.S.A.

Eastman, J. R. 2006. IDRISI Andes Guide to GIS and Image Processing. Clark Labs, Clark University.

Edongali, E. A., and H. Ferris. 1982. Varietal response to tomato to the interaction of salinity and *Meloidogyne incognita* infection. *Journal of Nematology* 14(1):57-62.

Edongali, E. A., L. Duncan, and H. Ferris. 1982. Influence of salt concentration on infectivity and development of *Meloidogyne incognita* on tomato. *Revue de Nématologie* 5(1):111-127.

Eisenback, J. D., H. Hirschmann, J. N. Sasser, and A. C. Triantaphyllou. 1981. A guide to the Four Most Common Species of Root-Knot Nematodes (*Meloidogyne* species). Plant Pathology and Genetics, North Carolina State University and the United States Agency for International Development, Raleigh, NC, U.S.A.

Eisenback, J. D. 1985. Diagnostic characters useful in the identification of the four most common species of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.). Pp. 95-112 *in* J. Sasser and C. Carter (eds.). An

- advanced treatise on *Meloidogyne*. Vol. I, Biology and Control. North Carolina State University Graphics, Raleigh, NC, U.S.A.
- Fortuner, R. 1991. Field sampling and preparation of nematodes for optic microscopy. En: Manual of agricultural Nematology (Nickle, W. R. ed.) Marcel Dekker, USA. pp. 75-87.
- Goodell, P., and H. Ferris. 1980. Plant-parasitic nematode distributions in an alfalfa field. *Journal of Nematology* 12(2):136-141.
- Guzmán-Plazola, R. A., J. Jaraba N., E. Caswell-Chen, E. Zavaleta-Mejía, and I. Cid del Prado V. 2006. Spatial distribution of *Meloidogyne* species and races in the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) producing region of Morelos, México. *Nematropica* 36:215-229.
- Hartman, K. M., and J. N. Sasser. 1985. Identification of *Meloidogyne* species on the basis of differential host test and perineal pattern morphology. Pp. 69-77 in J. N. Sasser and C. C. Carter (eds.). An advanced treatise on *Meloidogyne*, Vol. II. Biology and control. North Carolina State University Graphics, Raleigh, N.C, U.S.A.
- Isaaks, E. H., and R. M. Srivastava. 1989. An introduction to applied geostatistics. Oxford University Press. Inc.
- Jepson, S. B. 1987. Identification of root-knot nematodes (*Meloidogyne* species). C.A.B. International, Wallingford, Oxon, U.K.
- Jordaan, E. M., D. De Waele, and P. J. Van Rooyen. 1989. Endoparasitic nematodes in maize roots in the Western Transvaal as related to soil texture and rainfall. *Journal of Nematology* 21(3):356-360.
- Koenning, S. R., S. A. Walters, and K. R. Barker. 1996. Impact of soil texture on the reproductive and damage potentials of *Rotylenchulus reniformis* and *Meloidogyne incognita* on cotton. *Journal of Nematology* 28(4):527-536.
- O'Bannon, J. H., and H. W. Reynolds. 1961. Root-knot nematode damage and cotton yields in relation to certain soil properties. *Soil Science* 92:384-386.
- Prot, J.C., and S. D. Van Gundy. 1981. Effect of soil texture and the clay component on migration of *Meloidogyne incognita* second-stage juveniles. *Journal of Nematology* 13(2):213-217.
- Ramírez Arredondo, J.A., I. Cid del Prado V., D. Teliz Ortiz, y E. Zavaleta-Mejía. 1995. Progreso epidémico del desarrollo y reproducción de *Meloidogyne javanica* (Treub) Chitwood en vid basado en grados días. *Agricultura Técnica en México* 21(2):117-126.
- Richards, L. A. 1990. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. Editorial Limusa, México, D.F.
- Robinson, A. F., C. M. Heald, S. L. Flanagan, W. H. Thames, and J. Amador. 1987. Geographical distribution of *Rotylenchulus reniformis*, *Meloidogyne incognita*, and *Tylenchulus semipenetrans* in the lower Rio Grande valley as related to soil texture and land use. *Annals of Applied Nematology* 1:20-25.
- Shane, W. W., and K. R. Barker. 1986. Effects of temperature, plant age, soil texture, and *Meloidogyne incognita* on early growth of soybean. *Journal of Nematology* 18(3):320-327.
- Sleet, B., and H. W. Reynolds. 1955. Root-knot nematode infestation as influenced by soil texture. *Soil Science* 80:459-461.
- Sosa-Moss, C. 1985. Report on the status of *Meloidogyne* research in Mexico, Central America and the Caribbean Countries. Pp. 327-346. In N. J. Sasser, and C. C. Carter (eds.). An advanced treatise on *Meloidogyne* Vol. 1. Biology and control. North Carolina State University Graphics, Raleigh, NC, U.S.A.
- Starr, J. L., C. M. Heald, A. F. Robinson, R. G. Smith, and J. P. Krausz. 1993. *Meloidogyne incognita* and *Rotylenchulus reniformis* associated with soil textures from some cotton production areas of Texas. *Journal of Nematology* (Supplement) 25:895-899.
- Tarjan, A. C. 1971. Migration of three pathogenic citrus nematodes through two Florida citrus soils. *Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings* 31:253-255.
- Trudgill, D. L., and V. C. Blok. 2001. Apomictic, polyphagous root-knot nematodes: exceptionally successful and damaging biotrophic root pathogens. *Annual Review of Phytopathology* 39:53-77.
- Van Gundy, S. D., and L. H. Stolzy. 1961. Influence of soil oxygen concentrations on the development of *Meloidogyne javanica*. *Science* 134:665-666.
- Van Gundy, S. D., and L. H. Stolzy. 1963. Oxygen diffusion rates and nematode movement in cellulose sponges. *Nature* (London) 200:1187-1189.
- Van Gundy, S. D., A. F. Bird, and H. R. Wallace. 1967. Aging and starvation in larvae of *Meloidogyne javanica* and *Tylenchulus semipenetrans*. *Phytopathology* 57:559-571.
- Velásquez-Valle, R. 2001. Nematodos agalladores afectando hortalizas y otros cultivos en el norte centro de México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 19:107-109.
- William, W. C. 1975. Effects of soil texture on the interaction between *Rizoctonia solani* and *Meloidogyne incognita* on cotton seedlings. *Journal of Nematology* 7(3): 234-236.

Windham, G. L., and K. R. Barker. 1986. Effect of soil type on the damage potential of *Meloidogyne in-*

cognita on soybean. *Journal of Nematology* 18:331-338.

Received:

11/XII/2007

Accepted for publication:

3/XVII/2008

Recibido:

Aceptado para publicación: