



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE FITOSANIDAD

FITOPATOLOGIA

**DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE NEMATODOS AGALLADORES
(*Meloidogyne* spp.), Y SU RELACIÓN CON FACTORES
EDÁFICOS EN LA VEGA DE METZTITLÁN, HIDALGO, MÉXICO.**

BENJAMÍN HERNÁNDEZ FLORES

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MEXICO

2007

La presente tesis titulada: **Distribución espacial de nematodos agalladores (*Meloidogyne spp.*), y su relación con factores edáficos en la Vega de Metztlán, Hidalgo, México.**, realizada por el alumno: **Benjamín Hernández Flores**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
FITOSANIDAD
FITOPATOLOGÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:

DR. REMIGIO A. GUZMÁN PLAZOLA

ASESOR:

DR. MATEO CADENA HINOJOSA

ASESOR:

M.C. FRANCISCO FRANCO NAVARRO

Montecillo, Texcoco, México, 09 de Noviembre de 2007

AGRADECIMIENTOS

A todos los millones de mexicanos(as) trabajadores(as), que mediante el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) han financiado parte de mi formación como profesional.

Al Colegio de Postgraduados por darme la oportunidad de realizar estudios de maestría y a todos los maestros del Instituto de Fitosanidad en especial al Dr. Gustavo Mora Aguilera, Dr. Ignacio Cid del Prado Vera, Dr. Daniel Teliz Ortiz, Dr. Remigio A. Guzmán Plazola, Dr. Carlos de León, Dr. Rafael Rodríguez Montesoro, Dr. Roberto García Espinosa, Dr. Daniel L. Ochoa Martínez y Dra. Maria de Jesús Yañez Morales, por sus valiosos consejos y enseñanzas.

Al todo el personal del Instituto, díganse, administrativos, secretarias, trabajadores, compañeros(as) y amigos (as); por brindarme todo su apoyo y amistad.

Al Dr. Remigio Guzmán Plazola, un especial agradecimiento por todo su apoyo, sugerencias, orientación, dedicación, tiempo y confianza para la realización de la presente tesis.

Al M.C Francisco Franco Franco, por el su gran apoyo, asesoría y sugerencias en la realización de la presente tesis.

Al Dr. Mateo Cadena Hinojosa, por sus valiosos comentarios y sugerencias.

Este trabajo de investigación fue parcialmente financiado por la Línea de Investigación de Geomática Aplicada al Estudio y Manejo de los Recursos Naturales y Sistemas Agropecuarios del Colegio de Postgraduados, a quienes expreso mi agradecimiento.

DEDICATORIA:

A Dios: Darme la vida y la familia más hermosa.

A mis padres: Esteban Hernández Córdova e Isabel Flores Correa, por todo su gran apoyo, amistad y amor de padres que me han dado en todo momento, por ser parte fundamental de mi trayecto de vida y a quienes expreso mi gran gratitud.

A mis hermanos: Edgar, Omar y Meliton con todo el aprecio y admiración que les tengo, por ser grandes amigos y por todo su apoyo que me han dado en todo momento.

A mi novia Elena Santiago Santiago con todo el amor que soy capaz de profesarle.

CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1. Planteamiento del problema.....	1
2. Objetivos	3
3. Hipótesis.....	3
4. Revisión de literatura	3
4.1. Clasificación taxonómica del género <i>Meloidogyne</i> (Sosa-Moss, 1990).....	3
4.2. Ciclo de vida y hábitos de alimentación	4
4.3. Morfología	6
4.4. Ecología	9
4.5. Sintomatología	13
4.6. Importancia económica	14
4.7. Distribución mundial.....	15
4.8. Distribución y rango de hospedantes.....	16
5. Literatura citada.....	17
CAPITULO 1. NEMATODOS AGALLADORES EN LA VEGA DE METZTITLÁN, HIDALGO, MÉXICO.....	28
RESUMEN.....	28
ABSTRACT	29
1.1. Introducción.....	30
1.2. Materiales y métodos	31
1.2.1. Zona de estudio.....	31
1.2.2. Muestreo y obtención de ejemplares de <i>Meloidogyne</i>	31
1.3. Resultados y discusión	34
1.4. Conclusiones.....	39
1.5. Literatura citada	40
CAPITULO 2. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE NEMATODOS AGALLADORES EN LA VEGA DE METZTITLÁN Y SU RELACIÓN CON FACTORES EDÁFICOS	44
RESUMEN.....	44
ABSTRACT	45
2.1. Introducción.....	46

2.2. Materiales y métodos	47
2.2.1. Zona de estudio	47
2.2.2. Muestreo	47
2.2.3. Análisis de características físico-químicas de suelo	49
2.2.4. Análisis geoestadístico	49
2.2.5. Análisis de componentes principales	49
2.3. Resultados y discusión	50
2.3.1. Análisis de características físico-químicas de suelo	50
2.3.2. Análisis geoestadístico	50
2.3.3. Distribución espacial de especies de <i>Meloidogyne</i> y su relación con factores edáficos	53
2.4. Conclusiones.....	67
2.5. Literatura citada	68
CONCLUSIONES GENERALES	73

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1.1. Características morfológicas y morfometría del patrón perineal de aislamientos de <i>Meloidogyne</i> spp., colectados en la Vega de Metztlán, Hidalgo. México 2006.....	35
Cuadro 2.1. Características físico-químicas de suelos muestreados en la Vega de Metztlán, Hidalgo, Méx.....	54
Cuadro 2.2. Incidencia de especies de <i>Meloidogyne</i> y densidad poblacional (número de agallas g ⁻¹ de raíz) en las regiones sureste, centro y noroeste, de la Vega de Metztlán, Hidalgo. Méx.....	56
Cuadro 2.3. Matriz de correlación (Pearson) entre las diferentes variables de estudio.....	59
Cuadro 2.4. Valores propios, proporción de varianza explicada y varianza explicada acumulada por componente principal.....	59
Cuadro 2.5. Correlaciones entre las variables edáficas y factores.....	60
Cuadro 2.6. Contribuciones de las variables edáficas (%) por factor.....	61

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1. A. Ubicación geográfica de la Vega de Metztlán en el estado de Hidalgo, México. B. Puntos de muestro dentro de la región de estudio realizado durante el ciclo de cultivo primavera-verano de 2006.....	32
Figura 1.2. Cultivos muestreados y su ubicación geográfica dentro de la Vega de Metztlán, Hidalgo, México. Ciclo primavera-verano, 2006.....	33
Figura 1.3. Proporción porcentual (%) de cultivos muestreados en la Vega de Metztlán, Hidalgo, México. Ciclo primavera-verano, 2006.....	34
Figura 1.4. Microfotografías de patrones perineales de <i>Meloidogyne incognita</i>	36
Figura 1.5. Microfotografía de patrones perineales. (A-B) <i>Meloidogyne arenaria</i> . (C-D) <i>M. javanica</i>	37
Figura 1.6. Microfotografía de patrones perineales de <i>Meloidogyne hapla</i>	38
Figura 2.1. A. Ubicación geográfica de la Vega de Metztlán en el estado de Hidalgo, México. B. Puntos de muestro dentro de la región de estudio realizado durante el ciclo de cultivo primavera-verano de 2006.....	48
Figura 2.2. Mapas de la textura de suelo y materia orgánica, generados mediante kriging ordinario (Isaaks and Srivastava, 1989) a partir de 106 puntos de muestreo tomados en la Vega de Metztlán, Hidalgo, México, 2006.....	52
Figura 2.3. Mapas de conductividad eléctrica (A) y de pH (B), generados mediante kriging ordinario (Isaaks and Srivastava, 1989), a partir de 106 puntos de muestreo tomados en la Vega de Metztlán, Hidalgo, México, 2006.....	53

Figura 2.4.	Mapa de distribución espacial de <i>Meloidogyne</i> spp (número de agallas por gramo de raíz), en la Vega de Metztlán, Hidalgo. Ciclo primavera-verano, 2006.	57
Figura 2.5.	Mapa de distribución espacial de <i>Meloidogyne</i> spp (número de agallas por gramo de raíz), en la Vega de Metztlán, Hidalgo. Ciclo primavera-verano, 2006.....	59
Figura 2.6.	Varianza explicada acumulada por cada componente principal adicionado.....	60
Figura 2.7.	Gráfico de dispersión de 106 campos de cultivo muestreados en la Vega de Metztlán, Hidalgo.	62
Figura 2.8.	A. Conducividad de clases de textura de suelo a <i>Meloidogyne</i> spp., expresada en relación al número de agallas inducidas g ⁻¹ de raíz en tomate B. Conducividad de clases de suelo a <i>Meloidogyne</i> spp.	65
Figura 2.9.	Conducividad del contenido de materia orgánica a <i>Meloidogyne</i> spp. bajo diferentes condiciones edáficas (zona noroeste, centro y sureste), expresada en relación al número de agallas inducidas por gramo de raíz en <i>Lycopersicon esculentum</i> Mill. Vega de Metztlán, Hidalgo. México, 2006.....	66

INTRODUCCIÓN GENERAL

1. Planteamiento del problema

México ocupa el onceavo lugar a nivel mundial como productor de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), con una producción de 2.15 millones de toneladas (1.7% del total mundial), sin embargo es el segundo comercializador del producto en el mundo con aproximadamente 895,126 toneladas métricas, solo después de España que exporta 1,023,028 toneladas métricas.

En México, el jitomate es una de las hortalizas de mayor importancia por el valor de su producción y superficie cultivada. Según cifras del SIAP-SAGARPA la superficie total cosechada durante el año de 2004 fue de 71,502.3 hectáreas y una producción total de 2.3 millones de toneladas, con un valor de la producción de 14,375.6 millones de pesos.

En México los principales productores son: Sinaloa, Baja California, Michoacán, San Luis Potosí, Baja California Sur y Jalisco, estados que colectivamente producen 78% de la producción nacional. Sinaloa es el principal estado productor de jitomate al participar con 991.1 mil toneladas anuales (42.9% del total nacional), seguido de Baja California con 294.1 mil toneladas (12.7% del total nacional); Michoacán participa en promedio con 162.5 mil toneladas (7% del total nacional), San Luis Potosí produce anualmente cerca de 125.1 mil toneladas (5.4% del total nacional), Baja California Sur unas 113.5 mil toneladas (4.9% del total nacional) y Jalisco en promedio, 109.9 mil toneladas (4.87% del total nacional). Por su parte Hidalgo participa con el 0.33% de la producción total, lo que corresponde aproximadamente a 7, 600 toneladas.

El cultivo de jitomate, al igual que otros muchos cultivos, se ve afectado por el ataque del nematodo agallador (*Meloidogyne*), el cual es un patógeno ampliamente distribuido a nivel mundial y que limita la productividad agrícola (Sasser *et al.*, 1982; Taylor y Sasser, 1978; Taylor *et al.*, 1982).

En Hidalgo, la superficie cultivada de jitomate se ha reducido drásticamente en los últimos años. En el periodo de 1985-1993 se sembraron en promedio 2.2 mil hectáreas; sin embargo, año con año la superficie sembrada se ha venido reduciendo, al grado de que actualmente se cultivan alrededor de 500 hectáreas. Los principales motivos por el cual se ha abandonado este cultivo han sido las grandes pérdidas económicas ocasionadas entre otros factores, por el ataque importante de nematodos fitopatógenos y varias enfermedades de tipo viral.

En el municipio de Metztitlán, el ramo agrícola es la actividad económica más importante; anualmente se cultivan cerca de 5,000 mil hectáreas y ahí se han detectado problemas de parasitismo por nematodos agalladores (*Meloidogyne* spp.). Sin embargo, no ha habido trabajos de investigación al respecto, por lo que se plantea este trabajo de investigación, en miras de diseñar medidas de control efectivo en el contexto de desarrollo sostenible y manejo integrado de plagas.

En términos generales, en la Vega de Metztitlán existe prácticamente total ausencia de información ecológica sobre nematodos fitopatógenos presentes, debido en gran parte a la falta de profesionales en esta área. Los esfuerzos que hasta el momento se han hecho han estado orientados al control de nematodos fitoparásitos, aunque sólo desde el punto de vista químico y con los problemas de contaminación ambiental asociados a este. Se requiere de un mayor entendimiento de las interacciones presentes entre el

sistema suelo y los nematodos de importancia agrícola, de tal manera que se puedan dilucidar estrategias para el control de nematodos de una forma menos dañina al ambiente.

2. Objetivos

- 1) Identificar las especies de *Meloidogyne* presentes en campos agrícolas en la Vega de Metztlán, Hgo.
- 2) Estudiar el efecto de las diferencias locales en tipo de suelo, sobre la distribución geográfica de *Meloidogyne* spp.
- 3) Identificar áreas de alto riesgo de infestación por nematodos agalladores.

3. Hipótesis

- 1) Los campos agrícolas en la Vega de Metztlán se encuentran infestados por más de una especie de *Meloidogyne*.
- 2) La distribución geográfica de *Meloidogyne* spp. en la Vega de Metztlán esta correlacionada con las características físico-químicas del suelo.

4. Revisión de literatura

4.1. Clasificación taxonómica del género *Meloidogyne* (Sosa-Moss, 1990).

Clase	Secernentea
Orden	Tylenchida
Suborden	Tylenchina

Superfamilia	Tylenchoidea
Familia	Heteroderidae
Subfamilia	Meloidogyninae
Género	<i>Meloidogyne</i>

4.2. Ciclo de vida y hábitos de alimentación

La duración del ciclo de vida en las diferentes especies de *Meloidogyne* depende de varios factores externos tales como temperatura, humedad y características físico-químicas del suelo, etc. El ciclo de vida de las especies de *Meloidogyne* comienza con un huevo, generalmente en el estado unicelular. Los huevos son depositados en una matriz gelatinosa. El desarrollo del huevo comienza breves horas después de la oviposición, resultando en 2, 4, 8 o más células, hasta que se forma un juvenil totalmente desarrollado, este es el primer estadio juvenil. El primer estadio juvenil, formado al final de la embriogenesis, inmediatamente muda cuando esta aún dentro del huevo, dando lugar al segundo estadio juvenil (Christie y Cobb, 1941; Saigusa, 1957). Posteriormente emerge del huevo a través de un agujero hecho por medio de pinchazos repetidos con el estilete en un extremo del mismo. Después de dejar el huevo el juvenil se mueve a través del suelo en busca de una raíz de la que pueda alimentarse. Los juveniles de segundo estadio son infectivos y generalmente penetran en la raíz justamente sobre la caliptra; se mueven principalmente entre las células no diferenciadas de la raíz y finalmente se colocan con sus cabezas en el cilindro central en desarrollo, cerca de la región de elongación celular. Con sus estiletos perforan las paredes de las células e inyectan secreciones de sus glándulas esofágicas, las cuales

posteriormente causan un agrandamiento de las células (hipertrofia) en el cilindro vascular y aumentan la proporción de la división celular (hiperplasia) en el periciclo. Esta serie de cambios da lugar a la formación de células gigantes multinucleadas alrededor de la cabeza del nematodo. Usualmente, estos cambios son acompañados por el engrosamiento y deformación de las raíces para formar agallas o nodulaciones conspicuas. Mientras se están formando las células gigantes y las agallas, aumenta el ancho del juvenil y hay una dilatación considerable de las glándulas esofágicas. Las células del primordio genital se dividen y éste se agranda haciéndose notorias dos ramificaciones en el caso de las que serán hembras o formando un cuerpo alargado en aquellos que serán machos. Cerca de la parte posterior del cuerpo de la hembra, las seis glándulas rectales comienzan a agrandarse. A medida que el segundo estadio juvenil continúa alimentándose, el cuerpo adquiere forma de frasco y las gónadas se alargan. Cuando se completan la segunda y tercera muda, el estilete y el bulbo medio desaparecen. Poco después de la última muda, el estilete y el bulbo medio se regeneran, se forman el útero y la vagina y el patrón perineal se hace visible. Es difícil apreciar el desarrollo posterior de las gónadas femeninas ya que se alargan y se doblan en el cuerpo, el cual es casi esférico o ligeramente alargado con un cuello que puede ser corto y robusto o casi tan largo como el cuerpo (Guiran and Ritter, 1979; Taylor y Sasser, 1983). Después de varias generaciones una misma agalla puede contener un gran número de hembras de varias fases de maduración (Guiran y Ritter, 1979; Agrios, 1996).

En el caso de los machos, los J3 presentan lo que será la gónada masculina cerca del final posterior del cuerpo y el recto es visible. En los J3 y J4, el estilete no es visible, el

bulbo esofágico medio se ha degenerado y sólo la gónada se ha alargado. Posterior al J4, ocurre una rápida metamorfosis mediante la cual el cuerpo se alarga y se desarrolla dentro de la cutícula del juvenil. Los machos son vermiformes, móviles y no se alimentan. Poco después de la última muda, abandonan las raíces y se mueven libremente por el suelo.

En muchos casos los machos no son necesarios para la reproducción por lo que varias especies de *Meloidogyne* se reproducen por fecundación cruzada o partenogénesis meiótica facultativa. Los machos en poblaciones sin partenogénesis aseguran una diversidad genética por recombinación, ya que la producción de machos en poblaciones que se reproducen por partenogénesis meiótica es un muy buen mecanismo de sobrevivencia cuando las plantas están bajo stress. Se sabe que los juveniles desarrollan mayor número de machos que de hembras, y dado que éstos no se alimentan, bajo estas condiciones la presión sobre la planta con stress se reduce (Magunacelaya y Dagnino, 1999).

4.3. Morfología

La morfología del nematodo agallador cambia durante su ciclo de vida (Guiran y Ritter, 1979; Taylor y Sasser, 1978). Los nematodos del género *Meloidogyne* presentan dimorfismo sexual. Las hembras son esféricas y la longitud promedio fluctúa alrededor de 0.44 a 1.3 mm y el ancho promedio fluctúa entre 0.325 y 0.7 mm. Su cuello es usualmente corto ó algunas veces muy largo. La región labial es ancha y está conformada por seis labios, los submedios se encuentran fusionados en forma simétrica o asimétrica. El estilete es robusto, con el cono generalmente curvado hacia

la parte dorsal en la parte media, de 10-25 μm de longitud y tres nódulos basales. La morfología del esofago en machos, juveniles y hembras es básicamente la misma, sin embargo en las hembras parece estar degenerado funcionalmente; en esta el lumen es delgado y los músculos radiales del metacarpus son escasos, pobremente desarrollados y desorganizados (Guiran and Ritter, 1979; Eisenback, 1985; Eisenback y Triantaphyllou, 1991). Posterior al bulbo medio hay tres glándulas, una dorsal y dos subventrales. La desembocadura de la glándula dorsal (DGO) se localiza detrás de los nódulos del estilete a 2-8 μm y las dos glándulas subventrales lo hacen en el bulbo medio (Guiran and Ritter, 1979). La cutícula presenta anulaciones finas y estriaciones terminales formando el patrón perineal alrededor de la vulva y ano; el patrón perineal es el rasgo más característico de las hembras de la mayoría de las especies de *Meloidogyne*. Esta área comprende el término de la cola, fasmidios, líneas laterales, ano y vulva, rodeados por pliegues cuticulares o estrías. El diseño perineal de individuos y poblaciones dentro de una especie varía, pero las características básicas no cambian significativamente. Estas características incluyen la forma del diseño perineal (circular, oval, piriforme o de reloj de arena); la presencia o ausencia de marcas en las áreas laterales y de puntuaciones en el final de la cola; la forma de las estrías (lisas, enteras, onduladas, quebradas, zig-zag); y si las estrías forman alas en uno o ambos lados del diseño (Magunacelaya y Dagnino, 1999). Los huevos son depositados dentro de una matriz gelatinosa, producida por las células de las glándulas rectales antes y durante la producción de los huevos y es secretada a través del ano. La matriz gelatinosa contiene proteínas, carbohidratos y enzimas (Eisenback, 1985; Eisenback y Triantaphyllou, 1991).

Los machos adultos son migratorios, vermiformes y miden aproximadamente 700-1,900 μm de longitud. La región labial está constituida por seis labios; Los labios submedios están más o menos fusionados en dos pares. El estilete es recto, robusto, de 13-30 μm de longitud y con tres nódulos en su base. La DGO está ubicada a 1.5-13 μm de los nódulos del estilete y las glándulas esofágicas tienen sobreposición ventral. La cola es redondeada, con espículas pareadas y delgadas, gobernáculo simple y no presentan bursa. Los campos laterales tienen cuatro incisuras. Los machos pueden presentar reverso de sexo o intersexo (Jepson, 1987).

Los juveniles de segundo estadio son inicialmente móviles y vermiformes, pero posteriormente se vuelven sedentarios conforme mudan y van creciendo. En ocasiones los juveniles permanecen en el huevo durante el invierno, bajo diapausa (Guiran y Ritter, 1979). Los juveniles del segundo estadio tienen una longitud de 250-600 μm . El estilete es robusto, el cono es generalmente recto en la mitad del estilete y la base tiene tres nódulos. La DGO está ubicada a 2-8 μm de los nódulos del estilete. El ano se localiza a 15-100 μm de la terminación de la cola, la cual presenta una región hialina terminal (Jepson, 1987).

Los caracteres de mayor utilidad para diferenciar las especies del género *Meloidogyne* son: a) la morfología del patrón perineal, y la cabeza de hembras, machos y juveniles del segundo estadio, b) la morfología del estilete de hembras y machos, c) la longitud de la cola y de la región hialina de la cola en los juveniles, d) la longitud del cuerpo, e) la longitud del estilete, y f) la posición de la desembocadura de la glándula dorsal; estos caracteres son importantes en machos, hembras y juveniles (Eisenback, 1985).

4.4. Ecología

La ecología de *Meloidogyne* spp. implica una complejidad de factores ambientales dinámicos interaccionando. Los niveles de población de cualquier especie de *Meloidogyne* son el producto del suministro de alimento, adaptación al ambiente físico y biológico, así como de la compatibilidad entre el hospedero y el nematodo (Van Gundy, 1985). Las cuatro principales especies de *Meloidogyne* están ampliamente distribuidas por todas las regiones agrícolas del mundo y son adaptables a un amplio rango de agroecosistemas; con *M. incognita* y *M. javanica* más comunes que *M. arenaria* y *M. hapla* (Taylor *et al.*, 1982).

Dormancia. Los huevos son depositados al exterior del cuerpo de la hembra en una matriz gelatinosa, que los protege contra microorganismos del suelo (Orion *et al.*, 2001). Hay algunas evidencias que se pueden formar dos tipos de masas de huevos dependiendo del estrés ambiental (Guiran, 1980; Ishibashi, 1969). Un tipo de masas de huevos son blancas, son formadas frecuentemente en una fase temprana del ciclo de crecimiento del cultivo, y los huevos eclosionan rápidamente sobre el desarrollo para asegurar más de una generación por ciclo de cultivo. Conforme el progreso de la estación de crecimiento avanza y/o el estrés del medio ambiente se hace presente en las plantas masas de huevos color marrón o castaño son formados, las cuales presentan dormancia (diapausa) y no eclosionan inmediatamente (Guiran, 1980). Esta diapausa se presenta en todas las razas de las cuatro especies más comunes de *Meloidogyne* (Guiran y Villemin, 1980). El desarrollo de los dos tipos de masas de huevos (blanco y castaño) garantiza que por lo menos alguno de los huevos no

eclosione inmediatamente cuando las condiciones ambientales del suelo permanecen óptimas y que habrá algún remanente de huevos de una estación de cultivo a otra.

Temperatura. La temperatura es el principal factor en el desarrollo embrionario de los huevos, su eclosión y en el desarrollo postembrionario, reproducción y sobrevivencia. Se sabe que la temperatura óptima durante la embriogénesis es entre 25°C y 30°C para *M. hapla*, *M. javanica* (Bird y Wallace, 1965; Wallace, 1971). Dentro del género *Meloidogyne* hay especies termófilas y criófilas. *M. hapla*, *M. chitwoodi*, y posiblemente *M. naasi* son típicamente criófilas y son capaces de sobrevivir a temperaturas del suelo menores de 0°C (Santo y O'Bannon, 1981; Sayre, 1964). *M. incognita*, *M. javanica*, *M. arenaria* (Thomason y Lear, 1961), así como *M. exigua* son característicamente termófilas y no sobreviven en suelos a temperaturas por debajo de los 10°C. La temperatura óptima para *M. hapla* y *M. chitwoodi* es generalmente 5°C más baja que la de *M. javanica* y es probablemente el principal factor responsable de la distribución local y mundial de los miembros de este género. La temperatura tiene una fuerte influencia en la sobrevivencia de huevos y juveniles de *Meloidogyne* en el suelo. Por ejemplo, los juveniles de *M. javanica* inician su vida en el suelo con una tercera parte del peso de su cuerpo en lípidos como un almacenamiento de reserva de energía. Esta es usada en cierto porcentaje dependiendo de la tasa de metabolismo que a su vez es influenciada por la temperatura, humedad, aireación, etc. (Van Gundy *et al.*, 1967; Wallace, 1968). Entre más reservas de alimento tenga el nematodo son mayores las oportunidades de penetrar la raíz. En general las temperaturas óptimas para la sobrevivencia de huevos y juveniles son de 10-15°C (Thomason *et al.*, 1964).

Textura de suelo. Las especies de *Meloidogyne* pueden ocurrir en un amplio rango de tipos de suelos; sin embargo, el tamaño de las partículas del suelo es una 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. Jean-Claude y Van Gundy (1981) reportan que la migración vertical de juveniles de *M. incognita* es favorecida en suelos con mayor contenido de arena; asimismo, hay muchos reportes y observaciones que asocian la distribución y severidad de la enfermedad 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; Elizabeth *et al.*, 1989; Starr *et al.*, 1993; Guzmán-Plazola *et al.*, 2006).

Humedad y potencial osmótico. Las especies de *Meloidogyne* dependen de la humedad del suelo para sobrevivir y moverse hacia una planta hospedante. Los huevos y juveniles mueren en suelos secos, pero pueden sobrevivir si hay suficiente humedad (Peacock, 1957). Los juveniles emergen rápidamente y se mueven con libertad a través de los poros del suelo cuando hay suficiente agua; con bajo contenido de agua se inhibe la emergencia, dado a que una cierta cantidad de agua es extraída de los huevos y el movimiento del juvenil es más difícil. Los nematodos son activos en el suelo con niveles de humedad de 40-60% de la capacidad de campo y se mueven a través del suelo en una película de agua. Guiran y Demeure (1978) determinaron que tanto en suelos arenosos como arcillosos la emergencia óptima de juveniles de masas de huevos fue ligeramente superior a la capacidad de campo, -195 kPa en suelos arenosos y -390 kPa en suelos arcillosos; De acuerdo con ambos autores, la

emergencia decreció cerca del punto de marchitez (-1560 kPa) y la eclosión se inhibió cuando la humedad se encontraba abajo de la capacidad de campo (-33 kPa), esto debido a las condiciones reducidas de oxígeno.

En ambientes áridos, la matriz gelatinosa del saco de huevos tiene la capacidad de mantener un alto nivel de humedad y proveer una barrera para la pérdida de agua (Wallace, 1968). En general, las especies de *Meloidogyne* pueden entrar a un estado de anhidrobiosis y prolongar su sobrevivencia en suelos secos; por ejemplo, Van Gundy *et al.*, (1967) encontró que algunos juveniles fueron capaces de sobrevivir en suelo húmedo por período de un mes sin que hubiese muchos cambios fisiológicos medidos por las reservas de lípidos almacenados.

Una relación clara e inversa existe con el potencial de agua de los suelos. A bajo potencial de agua, los poros del suelo son ocupados y puede ocurrir deficiencia de oxígeno, lo que resulta en una disminución de la eclosión de huevos (Wallace, 1968). A bajos niveles de oxígeno, el metabolismo, movimiento e infectividad de juveniles es reducido, pero su sobrevivencia se aumenta; el crecimiento y reproducción de hembras en las raíces también puede reducirse (Van Gundy y Stolzy, 1961; Van Gundy y Stolzy, 1963; Van Gundy *et al.*, 1967).

La eclosión de huevos de *Meloidogyne* pueden inhibirse, debido a los efectos osmóticos ocasionados por sustancias químicas disueltas en el agua. En suelos secos, los nematodos pueden experimentar altas presiones osmóticas, particularmente después de aplicaciones de fertilizantes. Cuando el potencial osmótico de la solución del suelo se incrementa, y puede haber alteraciones en la conducta de las especies de *Meloidogyne*. Wallace (1969) menciona que la eclosión de *M. javanica* se estimula a

altos niveles de nutrientes y se reduce a potenciales osmóticos cerca de 2.5 atmósferas (Wallace, 1966). Reversat (1981) encontró que *M. javanica* uso sus reservas alimenticias 7.5 veces más lento bajo condiciones salinas que en condiciones normales. Por su parte Edongali *et al.*, (1982), reportan que la infectividad por *Meloidogyne* se afecta conforme la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo aumenta de 0.08 a 1.5, 2.5, 3.5, y 5.0 mmhos/cm de NaCl o CaCl₂ en plantas de jitomate.

Potencial de Hidrógeno (pH). Los daños a cultivos agrícolas por especies de *Meloidogyne* son frecuentemente asociados con suelos alcalinos (Edongali y Ferris, 1982; Maggenti y Hardin, 1973). *Meloidogyne* spp. sobreviven, eclosionan y se reproducen en un amplio rango de pH, entre 4.0-8.0. Wallace (1966) menciona que la eclosión de huevos de *M. javanica* suele ser fue máxima a pH entre 6.4 y 7.0, y se inhibió a pH menores a 5.2.

4.5. Sintomatología

El agallamiento del sistema de raíces es el síntoma característico que ocasiona *Meloidogyne*, mismo que en interacción con otros microorganismos, puede incrementarse la incidencia o severidad (Dunn, 1996). La absorción de nutrimentos y agua son substancialmente reducidos debido al daño causado a las raíces (Abad *et al.*, 2003). Las raíces altamente infectadas son mucho más cortas que las raíces sanas, tienen menos raíces laterales y menos pelos radiculares. Las plantas infectadas por *Meloidogyne* crecen más lentamente y pueden tornarse cloróticas, marchitas o bien, desarrollar un bronceado o castaño marginal (Dunn, 1996). Cuando las plantas

susceptibles son infectadas en etapas tempranas de desarrollo, las pérdidas pueden ser considerables y pueden dar lugar a una pérdida total del cultivo. Si las infecciones suceden cuando las plantas son más adultas, los efectos sólo son ligeros (Sasser, 1979).

4.6. Importancia económica

Meloidogyne Goeldi (1887), es uno de los patógenos de plantas de mayor importancia económica. Las diferentes especies de *Meloidogyne* atacan casi cualquier tipo de cultivo, causando pérdidas considerables de rendimiento o afectando la calidad del producto. Las pérdidas de rendimiento ocasionadas son de 5% a 12% anualmente en varios cultivos (Barker y Koenning, 1998). Bonnemaison (1975) y Blancard *et al.*, (2000), señalan que *Meloidogyne* spp. puede permanecer en el suelo más de dos años en forma de huevo, protegido por la masa gelatinosa que secreta la hembra, mientras que los juveniles pueden sobrevivir varias semanas en suelos secos y varios meses en suelos húmedos. Por otra parte, la presencia de *Meloidogyne* en plantas hospedantes, con frecuencia aumenta la probabilidad de infección por otros patógenos tales como hongos (*Fusarium*, *Phytophthora*, *Verticillum*, *Rhizoctonia*, *Pythium*, etc) y bacterias (*Ralstonia solanacearum*, *Agrobacterium tumefaciens*, *Corynebacterium insidiosum*, etc.). (Porter y Powell, 1967; Powell y Batten, 1969; Melendez y Powell, 1967; Golden y Van Gundy, 1975; Orion y Krikun, 1976; Sasser *et al.*, 1955; Griffin y Hunt, 1972; Griffin y Thyr, 1988; Welty *et al.*, 1980; Johnson y Powell, 1969; Lucas *et al.*, 1955; Norton, 1969; Griffin *et al.*, 1968; Orion y Zutra, 1971). Por lo que las interacciones con

nematodos pueden ser un factor principal en las enfermedades causadas por bacterias y hongos, principalmente en pudriciones de raíz complejas (Powell, 1971).

4.7. Distribución mundial

Las partes del mundo entre los 35° de latitud sur y 35° de latitud norte están ampliamente infestadas por *M. javanica*, *M. incognita* y *M. arenaria*. En el hemisferio norte, a más de 35° de latitud, *M. hapla* es la más común. El género *Meloidogyne* incluye cerca de 80 especies y once razas. Las especies más comunes a nivel mundial por su amplia distribución geográfica y por el gran número de plantas que parasitan son: *Meloidogyne incognita*, razas 1, 2, 3 y 4; *M. arenaria*, razas 1 y 2; *M. javanica* y *M. hapla*, raza A y B (Guiran and Ritter, 1979; Eisenback *et al.*, 1981; Hartman y Sasser, 1985; Jones, 1981; Sasser, 1977; Karssen y Van Hoenselaar, 1998).

Meloidogyne hapla es una especie que existe en el Norte de Estados Unidos de Norteamérica y Sur de Canadá, Norte de Europa y de Asia; en América del Sur se encuentra distribuida a los 40° de latitud sur en las regiones montañosas del lado occidental del continente. En África se localiza en altitudes mayores a 1500 msnm; en Australia es común en Victoria (Taylor y Sasser, 1983). En México se le ha encontrado en el Estado de México y Tlaxcala (Cid del Prado *et al.*, 2001).

M. javanica es una especie común en zonas cálidas. En Norteamérica y América del Sur, *M. javanica* se encuentra muy escasamente sobre los 30° de latitud norte y 35° de latitud sur y se va haciendo más común a medida que se va aproximando al Ecuador. En muchas partes de la zona cálida de África, Australia, y Sur de Asia, probablemente *M. javanica* es la especie más común. *M. incognita* y *M. arenaria* son

comunes y se encuentran ampliamente distribuidas en las mismas regiones. El límite para una existencia permanente de *M. incognita* en los Estados Unidos está a unos 150 kilómetros al norte de la frontera de Canadá, de igual manera que *M. javanica* y *M. arenaria*.

4.8. Distribución y rango de hospedantes

En México, el nematodo agallador se ha reportado en Baja California, Sonora, Coahuila, Sinaloa, Durango, San Luis Potosí, Nuevo León, Tamaulipas, Nayarit, Michoacán, Tlaxcala, Zacatecas, Aguascalientes, Guanajuato, Puebla, Hidalgo, Morelos, Estado de México, Guerrero, Oaxaca, Veracruz, Chiapas y Tabasco, (Castro *et al.*, 1990; Cid del Prado *et al.*, 2001; Montes, 1988; Carrillo-Fasio *et al.*, 2000). Entre los cultivos que parásita de manera importante en México sobresalen: jitomate (*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-Arredondo *et al.*, 1995; Carrillo-Fasio *et al.*, 2000; Velásquez-Valle, 2001; Cid del Prado *et al.*, 2001; Guzmán-Plazola *et al.*, 2006). Las especies y razas de *Meloidogyne* que se han reportado en México parasitando jitomate son: *M. acrita*, *M. arenaria* raza 2, *M. hapla*, *M. incognita* raza 1 y 3, y *M. javanica* (Sosa- Moss, 1985; Cid del Prado *et al.*, 2001; Guzmán-Plazola *et al.*, 2006).

5. 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.
- Agrios, G. N. 1996. *Fitopatología*. Segunda edición. Ed. Limusa. México. pp: 696-697.
- Barker, K. R., and S. R. Koenning. 1998. Developing sustainable systems for nematode management. *Annual Review of Phytopathology* 36:165-205.
- 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.
- Bird, A. F. 1959. Development of the root-knot nematodes *Meloidogyne javanica* (Treub) and *Meloidogyne hapla* Chitwood in the tomato. *Nematologica* 4:31-42.
- Bird, A. F. 1972. Influence of temperature on embryogenesis in *Meloidogyne javanica*. *Journal of Nematology* 4:206-213.
- Bird, A. F. y H. R. Wallace. 1965. The influence of temperature on *Meloidogyne hapla* and *M. javanica*. *Nematologica* 11:581-589.
- Blancard, D., H. Lecoq y M. Pitrat. 2000. *Enfermedades de las Cucurbitáceas*. Observar, Identificar, Luchar. Mundi Prensa. Madrid, España. 576 p.
- Bonnemaison, L. 1975. *Enemigos Animales de las Plantas Cultivadas y Forestales*. Trad. por Francisca Guerrero. Ed. Oikos-tau, S.A. Villasar de Mar-Barcelona, España. 67 p.

- 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 *Tajetes erecta* L. para el manejo de *Meloidogyne incognita* (Kofoid & white) Chitwood en el cultivo de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en Tecamachalco, Puebla. *Revista Mexicana de Fitopatología* 8:173-180.
- Christie, J. R., and G. S. Cobb. 1941. Notes on the life history of the root-knot nematode *Heterodera marioni*. *Proc. Helminthol. Soc. Wash.* 8:24-26.
- Cid Del Prado, V. I., A. T. Soto, y J. A. Hernández. 2001. Distribución de especies y razas de *Meloidogyne* en México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 19:32-39.
- Dropkin, V. H. 1980. *Introduction to Plant Nematology*. Jhon Wiley. USA. 293 p.
- Dunn, R. A. 1996. *Nematode management for landscape ornamentals*. Florida Cooperative Extensión Service. IFAS. University of Florida, Nematology Pointer No. 42.
- Edongali, E. A, and H. Ferris. 1982. Varietals 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 Nématol.* 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, N.C, U.S.A.
- Eisenback, D.J., and H. H. Triantaphyllou. 1991. Root-knot nematodes: *Meloidogyne* species and races. Pp. 191-274. *In*: R.W. Nickle (ed.). Manual of Agricultural Nematology. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Elizabeth, M. J., 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.
- Garcia-Martinez, R. 1982. Post-infection development and morphology of *Meloidogyne cruciani*. *Journal of Nematology* 14:332-338.
- Goodell, P., and H. Ferris. 1980. Plant-parasitic nematode distributions in an alfalfa field. *Journal of Nematology* 12(2):136-141.
- Golden, J. K., and S. D. Van Gundy. 1975. A disease complex of okra and tomato involving the nematode, *Meloidogyne incognita*, and the soil-inhabiting fungus, *Rhizoctonia solani*. *Phytopathology* 65:265-273.
- Guiran, G. de., and M. Ritter. 1979. Life cycle of *Meloidogyne* species and factors influencing their development. Pp. 172-191. *In*: F. Lamberti and C. E. Taylor (eds.).

- Root-knot nematodes (*Meloidogyne* species) systematics, biology and control, Academic Press, New York.
- Guiran, G. de. 1980. Facteurs induisant chez *Meloidogyne incognita* un blocage du développement des oeufs considéré comme une diapause. Rev. Nematol. 3:61-69.
- Guiran, G. de y M. Villemin. 1980. Spécificité de la diapause embryonnaire des oeufs de *Meloidogyne* (Nematoda). Rev. Nematol. 3:115-121.
- Guiran, G. de y Y. Demeure. 1978. Influence du potentiel hydrique des soils sur les masses d'oeufs de *Meloidogyne incognita* (Nematoda:Meloidogynidae). Rev. Nematol. 1:119-134.
- Griffin, G.D., and O. J. Hunt. 1972. Effect of temperature and inoculation timing on the *Meloidogyne hapla*/*Corynebacterium insidiosum* complex on alfalfa. Journal of Nematology 4:70-71.
- Griffin, G. D., J. L. Anderson, and E. C. Jorgenson. 1968. Interaction of *Meloidogyne hapla* and *Agrobacterium tumefaciens* in relation to raspberry cultivars. Plant Dis. Repr. 52:492-493.
- Griffin, G.D., and B. D. Thy. 1988. Interaction of *Meloidogyne hapla* and *Fusarium oxysporum* f. sp. Medicaginis on alfalfa. Phytopathology 77:421-425.
- 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.
- Ishibashi, N. 1969. Studies on the propagation of the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White), Chitwood, 1949. Rev. Plant Prot. Res. 2:125-128.
- Jean-Claude, P., 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.
- Jepson, S. B. 1987. Identification of root-knot nematodes (*Meloidogyne* species). C.A.B. International. Wallingford, Oxon, U.K.
- Jones, M. G. K. 1981. The development and function of plant cell modified by endoparasitic nematodes. Pp. 225-279. In: B. M. Zukerman., W. F. Mai, and R. A. Rohde (eds.). Plant parasitic nematodes, Vol. III. New York, Academic Press.
- Johnson, H. A., and N. T. Powell. 1969. Influence of root-knot nematodes on bacterial wilt development in flu-cured tobacco. Phytopathology 59:486-491.
- Karssen, G., and T. Van Hoerselaar. 1998. Revision of the genus *Meloidogyne* Goeldi, 1982 (Nematoda: Heteroderidae) in Europe. Nematologica 44:713-788.
- Lucas, G. B., J. N. Sasser, and A. Kelman. 1955. The relationship of root-knot nematodes to Granville Wilt resistance in tobacco. Phytopathology 45:537-540.
- Maggenti, A. R., and A. Hardin. 1973. The effects of soil salinity and *Meloidogyne javanica* on tomato. Journal of Nematology 5:231-233.
- Magunacelaya, J., y E. Dagnino. 1999. Nematología Agrícola en Chile. Universidad de Chile, Serie Ciencias Agronómicas N°2, Santiago, Chile. 282 p.

- Melendez, P. L., and N. T. Powell. 1967. Histological aspects of the *Fusarium* wilt-root knot complex in flue-cured tobacco. *Phytopatology* 57:286-292.
- Montes, B. R. 1988. *Nematología vegetal en México*. Sociedad Mexicana de Fitopatología, México. 158 p.
- Norton, D. C. 1969. *Meloidogyne hapla* as a factor in alfalfa decline in Iowa. *Phytopathology* 59:1824-1824.
- O'Bannon, J. H., and H. W. Reynolds. 1961. Root-knot nematode damage and cotton yields in relation to certain soil properties. *Soil Sci.* 92:384-386.
- Orion, D., and D. Zutra. 1971. The effect of the root-knot nematode on the penetration of crown gall bacteria into almond roots. *Israel Jour. Agr. Res.* 21:27-29.
- Orion, D., and J. Krikun. 1976. Response of *Verticillium*-resistant and *Verticillium*-susceptible tomato varieties to inoculation with the nematode *Meloidogyne javanica* with *Verticillium dahliae*. *Phytoparasitica* 4:41-44.
- Orion, D., G. Kritzman., S. L. F. Meyer., E. F. Erbe, and D. J. Chitwood. 2001. A role of the gelatinous matrix in the resistance of root-knot nematode (*Meloidogyne* spp.) eggs to microorganisms. *Journal of Nematology* 33(4):203-207.
- Paul, E. A., and Clark, F. E. 1996. Components of the soil biota. Pp. 69-107 *In* Soil Microbiology and Biochemistry. 2^{da} ed. Academia Press, San Diego, CA.
- Peacock, F. C. 1957. Studies on root knot nematodes of the genus *Meloidogyne* in the Gold Coast. Part II. The effect of soil moisture content on survival of the organism. *Nematologica* 2:114-122.
- Porter, D. M., and N. T. Powell. 1967. Influence of certain *Meloidogyne* species in *Fusarium* wilt development in flue cured tobacco. *Phytopathology* 57:282-285.

- Powell, N.T., and C. K. Batten. 1969. Complexes in tobacco involving *Meloidogyne incognita*, *Fusarium oxysporum* f. sp. *nicotianae* and *Alternaria tenuis*. *Phytopathology* 59:1044.
- Powell, N. T. 1971. Interaction of plant parasitic nematodes with other disease-causing agents. Vol. II. Pp. 119-136. *In*: B. M. Zuckerman., W. F. Mai, and R. A. Rohde (eds.). *Plant parasitic nematodes*. Academic Press, New York.
- Prot, J. C., and Netscher, C. 1979. Influence of movement of juveniles on detection of fields infested with *Meloidogyne*. Pp. 193-203. *In* F. Lamberti and C. E. Taylor (eds.). *Root-knot Nematodes (Meloidogyne species) Systematic, Biology and control*. Academia press, London.
- Ramírez-Arredondo, J.A., Cid del Prado Vera, I., Teliz Ortiz, D. y Zavaleta Mejia, E. 1995. Progreso epidémico del desarrollo y reproducción de *Meloidogyne javanica* (Treub) Chitwood en vid basado en grados días. *Agric. Téc. Méx.* 21(2):117-126.
- Reversat, G. 1981. Consumption of food reserves by starved second-stage juveniles of *Meloidogyne javanica* under conditions inducing osmobiosis. *Nematologica* 27:207-214.
- Saigusa, T. 1957. On the egg development and its morphological observations of the root-knot nematode, *Meloidogyne* spp. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 1:238-243.
- Sasser, J. N., G. B. Lucas, and H. R. Power. 1955. The relationships of root-knot nematodes to black-shank resistance in tobacco. *Phytopathology* 45:459-461.
- Sasser, J. N. 1977. Worldwide dissemination and importance of the root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) *Journal of Nematology* 9:26-29.

- Sasser, J. N. 1979. Pathogenicity, host ranges and variability in *Meloidogyne* species. Pp. 257-268. In Lamberti, F., and C. Taylor (eds). Root-knot nematodes (*Meloidogyne* species) Systematics, Biology and Control. Academic Press. New York. U.S.A.
- Sasser, J. N., C. C. Carter, and A. L. Taylor. 1982. A guide to the development of a plant nematology program. Plant Pathology and Genetics, North Carolina State University and the United States Agency for International Development, Raleigh, NC, U.S.A.
- Santo, G. S. and J. H. O'Bannon. 1981. Effect of soil temperature on the pathogenicity and reproduction of *Meloidogyne Chitwoodi* and *M. hapla* on Russet Burbank potato. Journal of Nematology 13:483-486.
- Sayre, R. M. 1964. Cold-hardiness of nematodes. I. Effects of rapid freezing on the eggs and larvae of *Meloidogyne incognita* and *Meloidogyne hapla*. Nematologica 10:168-179.
- 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.
- Sosa- Moss, C. 1985. Report on the status of *Meloidogyne* research in Mexico, Central America and the Caribbean Countries (Region 1). 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, N.C, U.S.A.
- Sosa-Moss, C. 1990. Claves para géneros de nematodos fitoparasitos del suborden tylenchina. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

- Sleet, B., and H. W. Reynolds. 1955. Root-knot nematode infestation as influenced by soil texture. *Soil Sci.* 80:459-461.
- 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 (Supp.)* 25:895-899.
- Taylor, A. L., and J. N. Sasser. 1978. Biology, identification and control of root-knot nematodes (*Meloidogyne* species). North Carolina State University Graphics, Raleigh, N.C, U.S.A. 111 pp.
- Taylor, A. L., J. N. Sasser, and L. A. Nelson. 1982. Relationship of climate and soil characteristics to geographical distribution of *Meloidogyne* species in agricultural soils. North Carolina State University Graphics, Raleigh, N.C, U.S.A. 65 pp.
- Taylor, A. L., y J. N. Sasser. 1983. Biología, identificación y control de los nematodos de nódulo de la raíz (especies *Meloidogyne*). Proyecto Internacional *Meloidogyne*. North Carolina State University Graphics, Raleigh, N.C, U.S.A. 111 p.
- Triantaphyllou, A. C., and H. Hirschmann. 1960. Post infection development of *Meloidogyne incognita* Chitwood, 1949. *Ann. Inst. Phytopathol. Benaki* 3:1-11.
- Thomason, I. J. and B. Lear. 1961. Rate of reproduction of *Meloidogyne* spp. As influenced by soil temperature. *Phytopathology* 51:520-524.
- Thomason, I. J., S. D. Van Gundy, and J. D. Kirkpatrick. 1964. Motility and infectivity of *Meloidogyne javanica* as affected by storage time and temperature in water. *Phytopathology* 54:192-195.

- Van Gundy, S. D., and L. H. Stolzy. 1961. Influence of soil oxygen concentrations of 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* 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.
- Van Gundy, S. D. 1985. Ecology of *Meloidogyne* spp. emphasis on environmental factors affecting survival and pathogenicity. Pp. 177-182. *In*: J. N. Sasser and C. C. Carter (eds.). An advanced treatise on *Meloidogyne* Vol. 1. Biology and control. North Carolina State University Graphics, Raleigh, N.C, U.S.A.
- Velásquez-Valle, R. 2001. Nematodos agalladores afectando hortalizas y otros cultivos en el norte centro de México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 19:107-109.
- Wallace, H. R. 1966. The influence of moisture stress on the development, hatch and survival of eggs of *Meloidogyne javanica*. *Nematologica* 12:57-69.
- Wallace, H. R. 1968. The influence of aeration on survival and hatch of *Meloidogyne javanica*. *Nematologica* 14:223-230.
- Wallace, H. R. 1969. The influence of nematode numbers and of soil particle size, nutrients and temperature on the reproduction of *Meloidogyne javanica*. *Nematologica* 15:55-64.
- Wallace, H. R. 1971. Abiotic influences in the soil environment. Pp. 257-280. *In*: B. M. Zuckerman., W. F. Mai, and R. A. Rohde (eds.). Plant parasitic nematodes, Vol. 1, Academic Press, New York.

- Welty, R. E., K. R. Barker, and D. L. Lindsey. 1980. Effects of *Meloidogyne hapla* and *M. incognita* on *Phytophthora* root of alfalfa. *Plant Disease* 64:1097-1099.
- William W. C. 1975. Effects of soil texture on the interaction between *Rhizoctonia 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 incognita* on soybean. *Journal of Nematology* 18:331-338.
- Yeates, G. W., D. A. Caedle, and R. N. Watson. 1999. Responses of soil nematode populations, community structure, diversity and temporal variability to agricultural intensification over a seven-year period. *Soil Biol. Biochem.* 31:1721-1733.

**CAPITULO 1. NEMATODOS AGALLADORES EN LA VEGA DE METZTITLÁN,
HIDALGO, MÉXICO.**

Benjamín Hernández Flores, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2007

RESUMEN

Se determinaron las especies de *Meloidogyne* presentes en la Vega de Metztlán, Hidalgo, México, la cual constituye la principal área agrícola de la Reserva de la Biosfera de la Barranca de Metztlán. Se colectaron 106 muestras de suelo rizosférico de cultivos agrícolas. De cada muestra de suelo se cuantificaron variables fisicoquímicas y aproximadamente 2.3 kg de suelo se colocaron en una maceta de 2.5 litros de capacidad donde se trasplantó jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) híbrido Zuley. Las plantas se mantuvieron bajo condiciones de invernadero durante 70 días. Se extrajeron hembras adultas de raíces agalladas, previamente teñidas con fucsina ácida para cada sitio de muestreo. Se analizó el patrón perineal y el cuello. 59% de los suelos muestreados resultaron positivos para *Meloidogyne*. Se identificaron cuatro especies: *M. incognita*, *M. javanica*, *M. arenaria* y *M. hapla*. Del total de sitios positivos, en 85.4% se encontró *M. incognita*, en 5.3% *M. javanica*, en 5.3% *M. arenaria* y *M. hapla* en el 4%. En 11.3% de los campos de cultivo muestreados se encontraron especies mezcladas, de los cuales 8.5% fueron *M. incognita-M. javanica* y 2.8% a la mezcla *M. incognita-M. arenaria*.

Palabras clave: *M. incognita*, *M. arenaria*, *M. javanica* y *M. hapla*.

**CHAPTER 1. ROOT-KNOT NEMATODES IN THE VEGA OF METZTITLÁN,
HIDALGO, MÉXICO.**

Benjamín Hernández Flores, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2007

ABSTRACT

Species of root-knot nematodes were identified in the Vega de Metztlán, Hidalgo, México, which is the main agricultural area of the Biosphere Reserve of the Barranca of Metztlán. Rhizospheric soil of 106 crop fields distributed along the Vega was sampled. From each site, 2.3 kg of soil were collected and transferred to 2.5 liters pots where tomato seedlings (*Lycopersicon esculentum* Mill.) of Zuley hybrid were transplanted. Tomato plants were maintained in greenhouse conditions during seventy days. Adult females were extracted from galls, previously stained with acid fucsin for each sample site. From each female, the perineal pattern and neck were analyzed. 59% of the samples sites were found positive for *Meloidogyne*. Four species of this genus were found in the region: *M. incognita*, *M. javanica*, *M. arenaria* y *M. hapla*. *M. incognita* was positive in 85.4% of sites; *M. javanica* and *M. arenaria* were found in 5.3% of the sites, while *M. hapla* was found in 4% of them. In 11.3% of the fields mixed species were found, from which 8.5% were *M. incognita*-*M. javanica* and 2.8% *M. incognita*-*M. arenaria*.

Keywords: Meloidogyne incognita, M. arenaria, M. javanica and M. hapla.

1.1. Introducción

Uno de los problemas fitosanitarios más ampliamente distribuidos que limita la productividad agrícola mundial es el nematodo agallador *Meloidogyne* spp. (Taylor *et al.*, 1982). La mayoría de las especies vegetales usadas como alimento mundialmente son susceptibles a la infección por este nematodo (Sasser *et al.*, 1982; Taylor *et al.*, 1978 y Taylor *et al.*, 1982). En la república Mexicana los nematodos agalladores se encuentran ampliamente distribuidos, ya que se les ha reportado en al menos 23 de los 32 estados (Sosa- Moss, 1985; Montes, 1988; Castro *et al.*, 1990; Carrillo-Fasio *et al.*, 2000; Cid del Prado *et al.*, 2001; Guzmán-Plazola *et al.*, 2006). Entre los cultivos que parasita en México sobresalen: jitomate (*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-Arredondo, 1995; Carrillo-Fasio *et al.*, 2000; Velásquez-Valle, 2001; Cid del Prado *et al.*, 2001; Guzmán-Plazola *et al.*, 2006). El agallamiento del sistema de raíces es el síntoma primario de infección por *Meloidogyne*, pero las interacciones con otros microorganismos pueden incrementar la incidencia o severidad (Dunn, 1996). Las plantas infectadas por *Meloidogyne* crecen más lentamente y pueden tornarse cloróticas, marchitas, o desarrollar un bronceado o castaño marginal (Dunn, 1996).

En el municipio de Metztitlán la agricultura es la actividad económica más importante. Anualmente se cultivan cerca de 5 mil hectáreas. En esta zona se han detectado

problemas ocasionados por nematodos agalladores del genero *Meloidogyne*, en jitomate, calabacita, frijol y pepino. El objetivo de esta investigación fue conocer las especies de *Meloidogyne* presentes en la Vega de Metztlán; lo cual es necesario para diseñar medidas de control efectivas en el contexto de desarrollo sostenible y manejo integrado de cultivos.

1.2. Materiales y métodos

1.2.1. Zona de estudio

La Vega de Metztlán se ubica geográficamente entre los paralelos 20.7034° y 20.4677° de latitud norte, y 98.8889° y 98.6724° longitud oeste, a una altitud de 1270 msnm (Figura 1.1). El clima es seco semicálido (BSh), con una temperatura media anual que oscila entre 18 y 20°C, y una precipitación de media anual de 427.4 mm (SPP, 1992).

1.2.2. Muestreo y obtención de ejemplares de *Meloidogyne*

Se colectaron 106 muestras de suelo rizosferico de cultivos agrícolas en la Zona de estudio, durante el ciclo agrícola primavera-verano del año de 2006 (Figura 1.1). Los cultivos muestreados en orden de importancia fueron maíz, frijol, chile, sorgo, tomate de cascara, jitomate, calabacita, papa y alfalfa (Figura 1.2 y 1.3). Para la selección de los sitios de muestreo se trató de que la separación entre ellos fuese uniforme y se abarcara toda la zona de estudio. Cada muestra compuesta consistió de 2.8 kg y estuvo conformada 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 plantó jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) híbrido Zuley, de 26 días de edad. Las macetas se mantuvieron bajo condiciones de invernadero por 70 días. Posteriormente, se eliminó la parte foliar de la planta y se separaron cuidadosamente las raíces del suelo, mismas que se lavaron para eliminar resto de suelo y material orgánico adheridos a éstas. Se tomó una muestra de 1 g de raíz para teñirla con fucsina ácida (Daykin y Hussey, 1985) y posteriormente obtener hembras adultas.

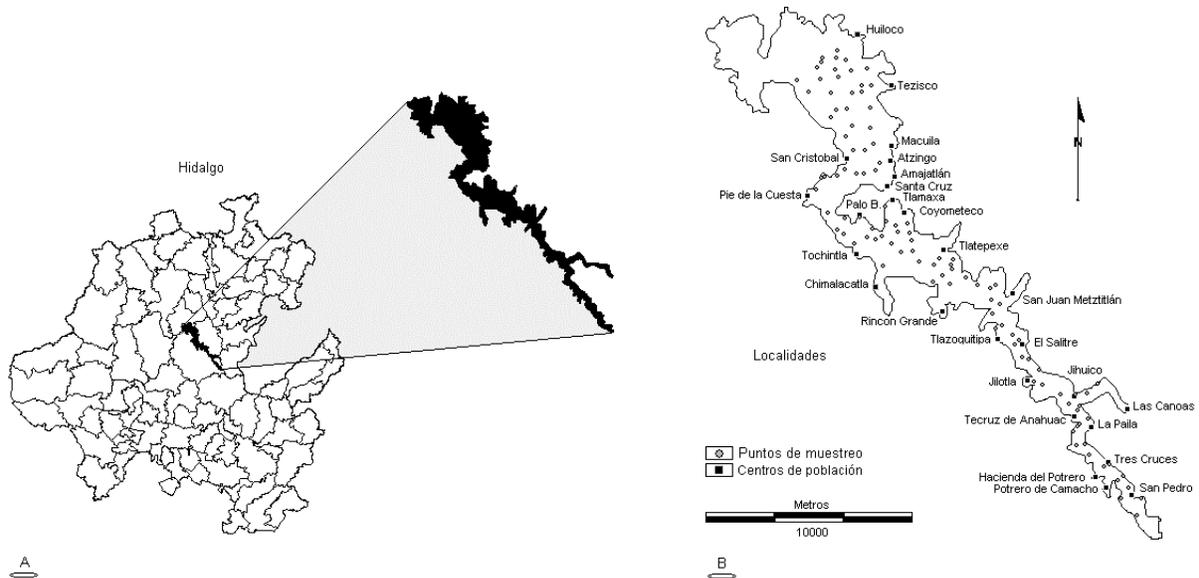


Figura 1.1. A. Ubicación geográfica de la Vega de Metztitlán, Hidalgo, México. B. Puntos de muestro dentro de la región de estudio realizado durante el ciclo de cultivo primavera-verano de 2006.

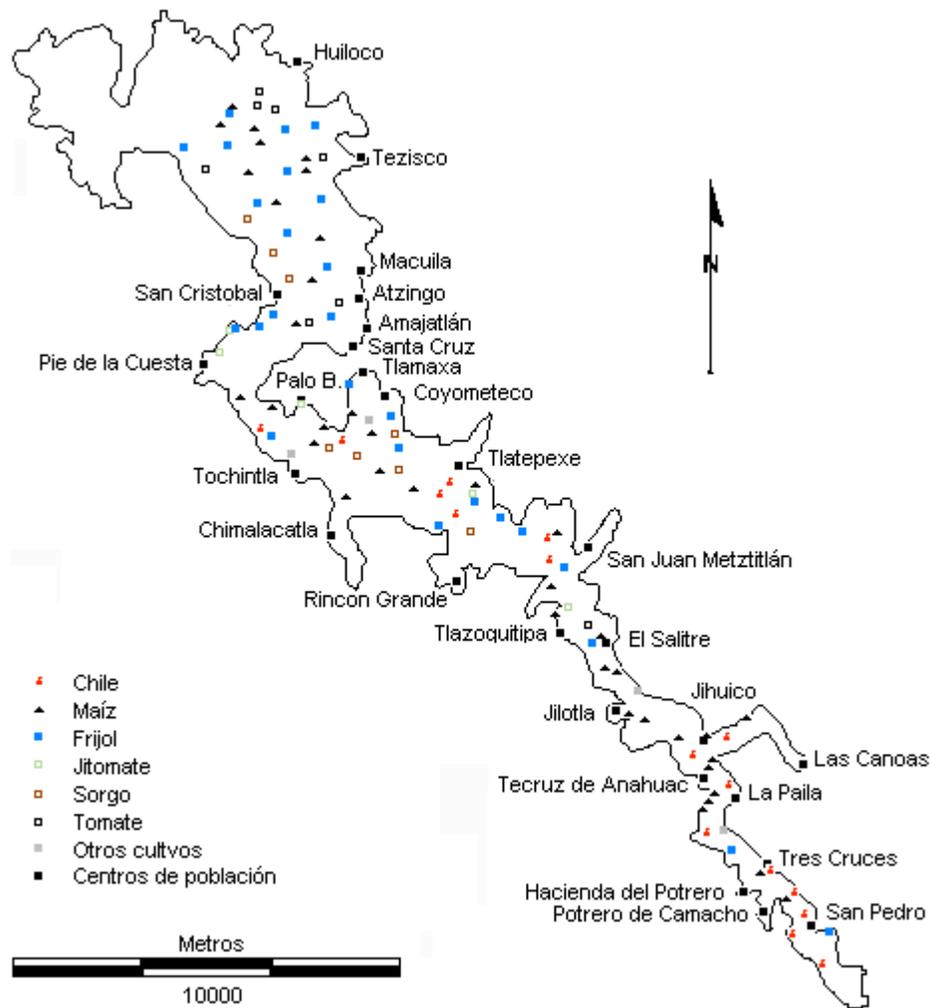


Figura 1.2. Cultivos muestreados y su ubicación geográfica dentro de la Vega de Metztitlán, Hidalgo, México. Ciclo primavera-verano, 2006.

Una vez extraídas las hembras de las raíces, se efectuaron seis a ocho cortes de la zona perineal (Jepson, 1987). Esto se realizó para cada sitio de muestreo donde se detectó presencia de *Meloidogyne*.

Los patrones perineales, junto con la región anterior, se montaron en glicerina y se revisaron bajo el microscopio óptico para su identificación mediante el uso de claves

(Eisenback, 1985; Hartman and Sasser, 1985). Además de la morfología de los cortes perineales, se tomaron medidas de longitud de la vulva, distancia de la vulva al ano y la distancia interfasmidias.

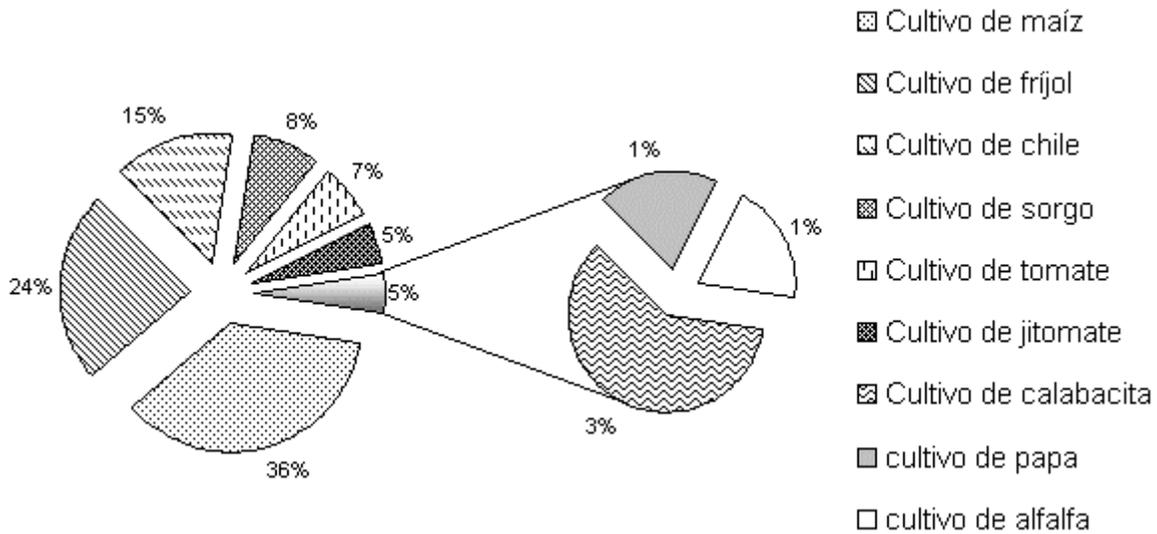


Figura 1.3. Proporción porcentual (%) de cultivos muestreados en la Vega de Metztlán, Hidalgo, México. Ciclo primavera-verano, 2006.

1.3. Resultados y discusión

Se identificaron cuatro especies de *Meloidogyne* asociadas al cultivo de jitomate en la Vega de Metztlán. Las especies fueron *M. incognita*, *M. arenaria*, *M. javanica* y *M. hapla* (Figura 1.4.), y se identificaron mediante la comparación de sus características con las descritas en la literatura (Eisenback *et al.*, 1981; Eisenback, 1985; Jepson, 1987). 59% de los sitios muestreados resultaron positivos para *Meloidogyne*. *Meloidogyne incognita* fue la especie más frecuente en los campos de cultivo de la región, con el 85.4% de sitios positivos. *Meloidogyne javanica*, al igual que *M. arenaria*, se presentaron en un 5.3% de los sitios y *M. hapla* solo ocurrió en un 4%. En 11.3% de

los campos de cultivo muestreados se encontraron especies mezcladas; de estas mexclas 8.5% fueron *M. incognita-M. javanica* y de 2.8% *M. incognita-M. arenaria*. Con respecto a la morfometría de los patrones perineales, los resultados se presentan en el cuadro 1.1.

Cuadro 1.1. Características morfológicas y morfometría del patrón perineal de aislamientos de *Meloidogyne* spp., colectados en la Vega de Metztlán, Hidalgo. México 2006.

Especie	Morfología patrón perineal				Morfometría patrón perineal			No. sitios positivos	
	Arco dorsal	Estrías	Lineas laterales	Punt. Subcut. en el término de la cola	Ala	Long. vulva (μ m)	Long. vulva- ano (μ m)		Dist. Interfasm. (μ m).
<i>M. incognita</i>	Alto y cuadrado	lisas a onduladas	No visible	No	No	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)	61
<i>M. javanica</i>	Redondeado a aplanado	lisas a onduladas	Visible	No	No	20.53 \pm 1.7 (14.7-27.5)	17.26 \pm 3.0 (10.5-21.87)	20.63 \pm 2.9 (16.0-24.0)	9
<i>M. arenaria</i>	Aplanado a redondeado	lisas a onduladas., con "hombreras"	No visible	No	No	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)	3
<i>M. hapla</i>	Aplanado	lisas a onduladas	No visible	Si	1 o 2	18.55 \pm 5.4 (14.7-26.0)	14.22 \pm 0.6 (13.0-14.58)	17.93 \pm 1.5 (16.0-19.5)	1

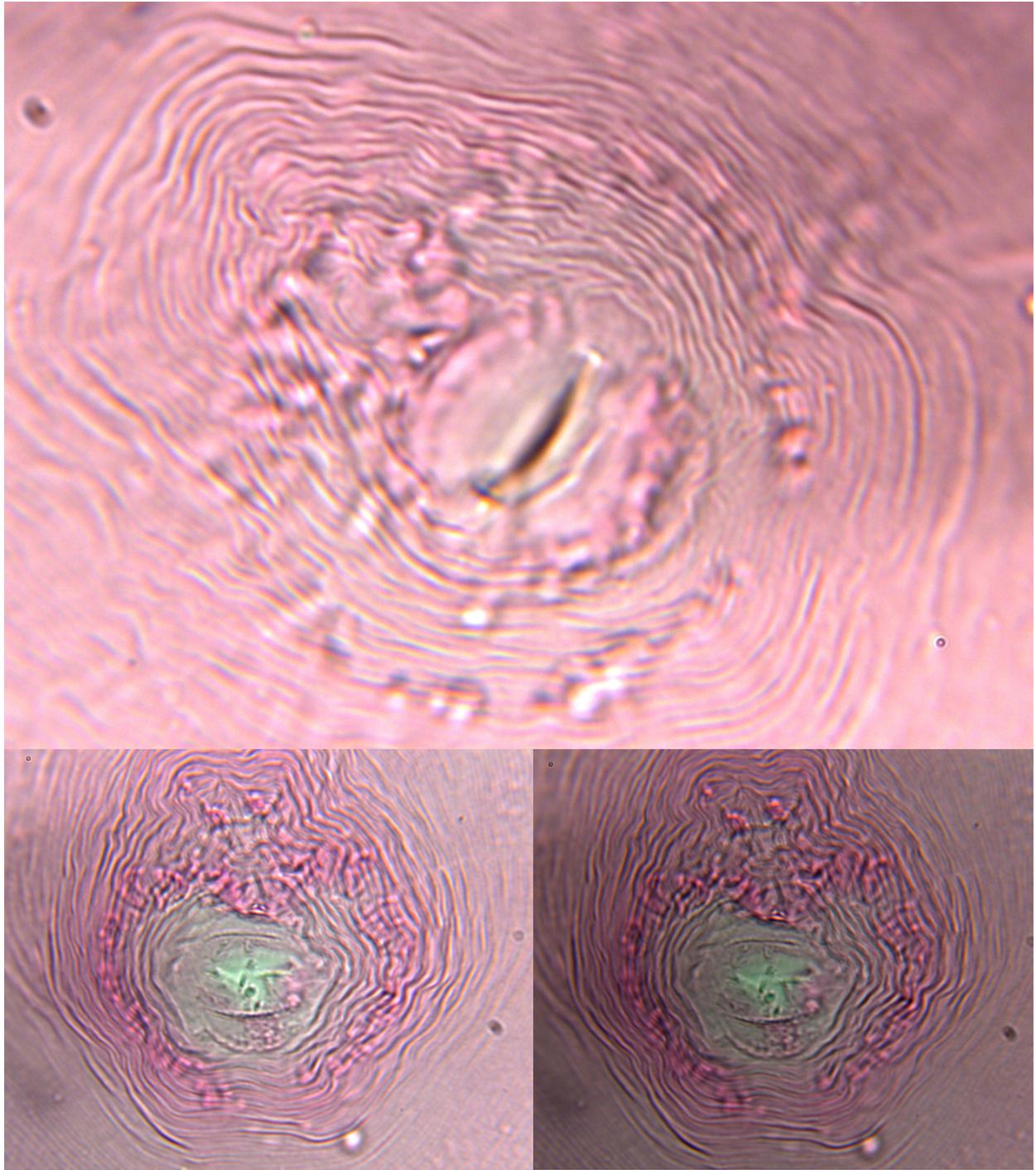


Figura 1.4. Microfotografías de patrones perineales de *Meloidogyne incognita*.

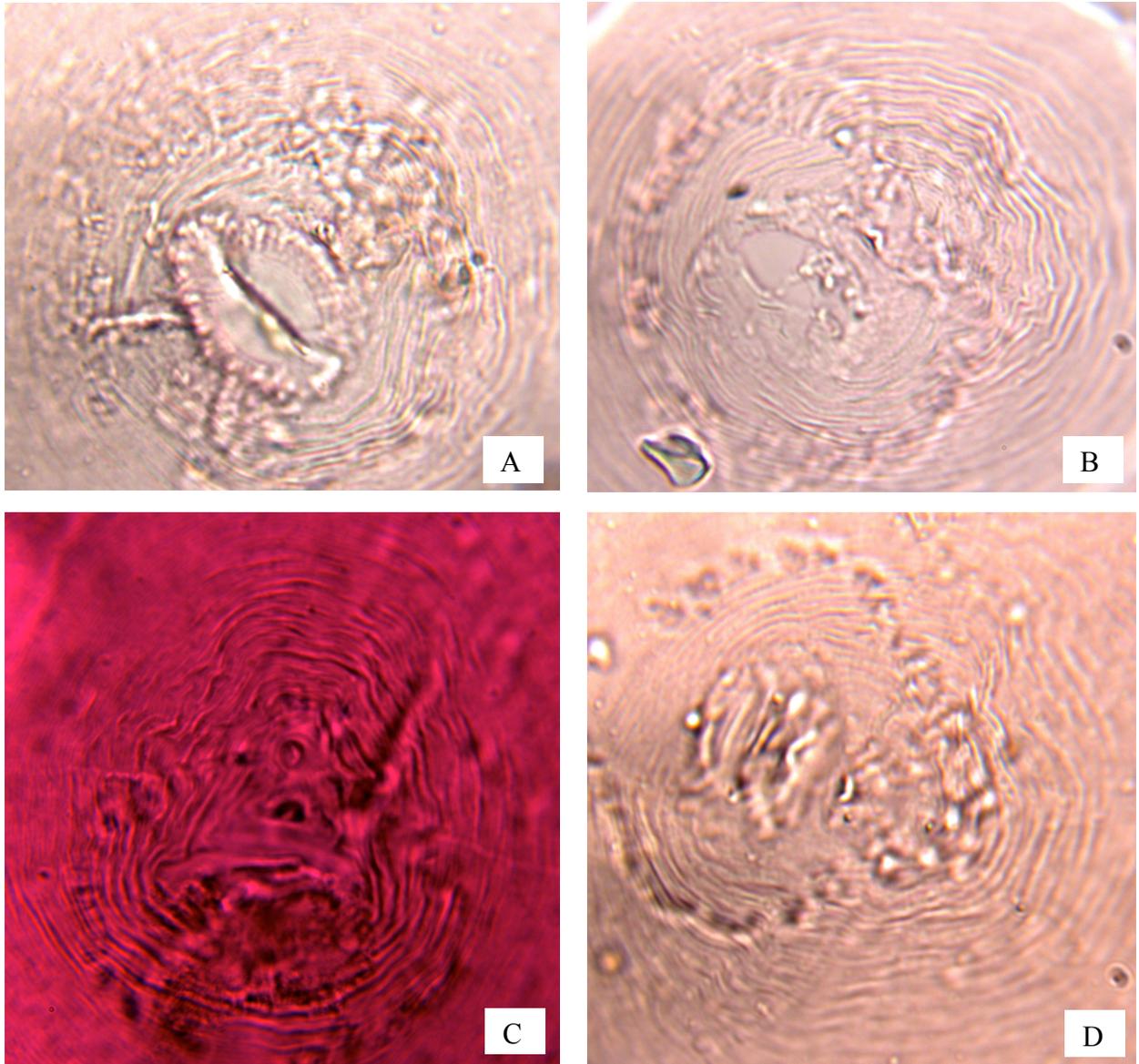


Figura 1.5. Microfotografía de patrones perineales. (A-B) *Meloidogyne arenaria*. (C-D) *M. javanica*.

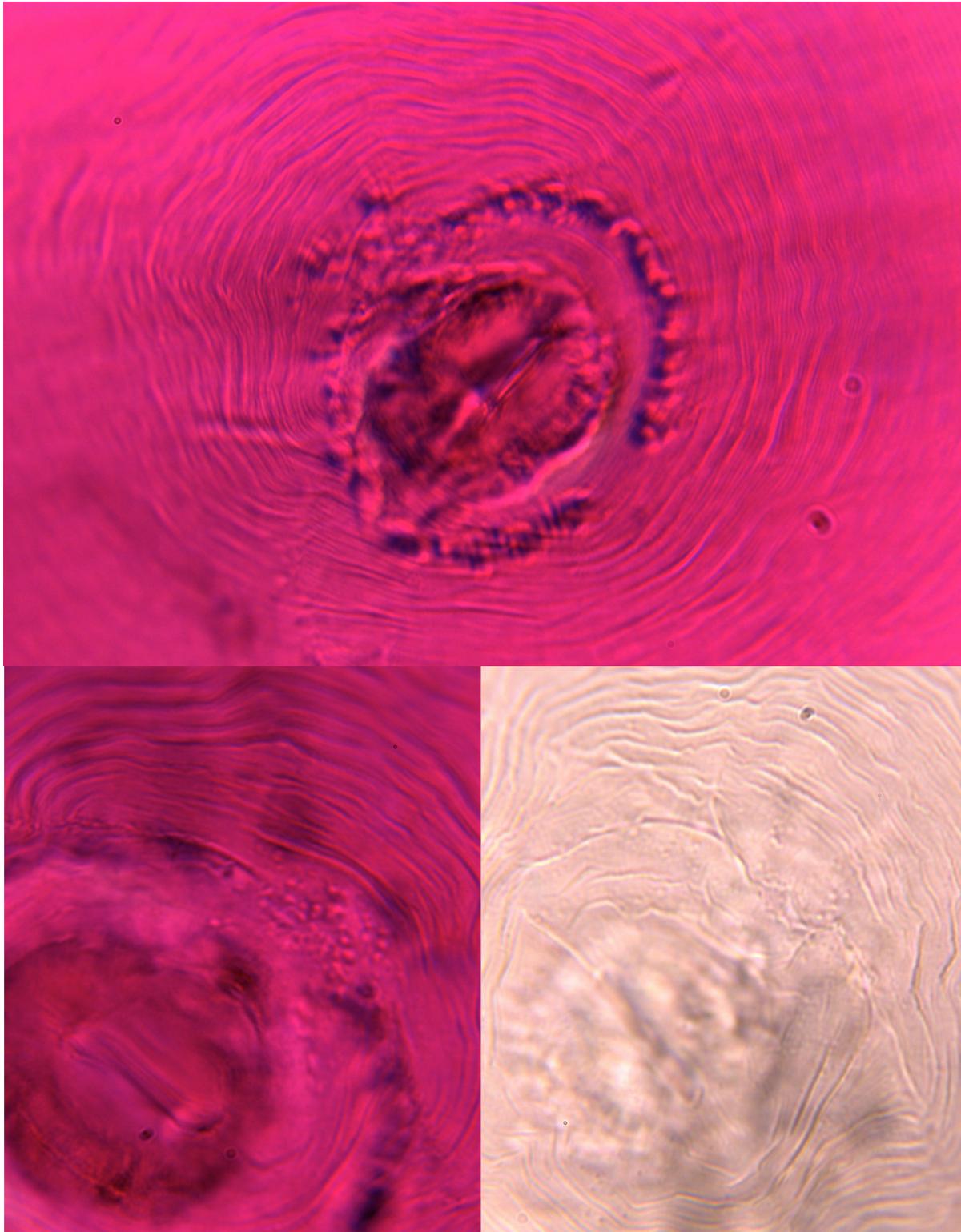


Figura 1.6. Microfotografía de patrones perineales de *Meloidogyne hapla*.

Los modelos perineales de las hembras, junto con la forma de la cabeza de los machos, parecen ser el carácter morfológico más útil en la identificación de especies de *Meloidogyne*. Debido a la variabilidad que ocurre dentro de una población en particular o entre especies, muchas identificaciones no son concluyentes (Eisenback, 1985). La identificación de especies de *Meloidogyne* por análisis de patrón perineal resulta ser una técnica conveniente cuando se analizan una cantidad considerable de muestras ya que el costo de análisis es bajo y rápido, como en el caso del presente estudio. Este es el primer reporte de las especies *M. javanica*, *M. arenaria* y *M. hapla*. En la región, *M. 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), donde reportan proporciones similares a las encontradas en el presente estudio. El hecho de haber encontrado poblaciones mezcladas en un mismo campo de cultivo no es nuevo y ya han sido reportadas en estudios anteriores (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 (Sasser, 1979; Taylor y Sasser, 1983).

1.4. Conclusiones

- 1) Se identificaron cuatro especies de *Meloidogyne* presentes en los campos de cultivo de la Vega de Metztlán: *M. incognita*, *M. javanica*, *M. arenaria* y *M. hapla*.
- 2) 59% de los suelos muestreados en la región resulto positiva para *Meloidogyne*.

3) Del total de sitios positivos a *Meloidogyne* la especie más frecuente fue *M. incognita*, seguida de *M. javanica*, *M. arenaria* y *M. Hapla*.

4) En el 11.3% de los campos de cultivo muestreados se encontraron especies mezcladas, 8.5% correspondieron a *M. incognita-M. javanica* y 2.8% a *M. incognita-M. arenaria*.

1.5. Literatura citada

Carrillo-Fasio, J.A., García-Estrada, R.S., Allende-Molar, R., Marquez-Zequera, I. y Cruz-Ortega, J.E. 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 *Tajetes erecta* L. para el manejo de *Meloidogyne incognita* (Kofoid & white) Chitwood en el cultivo de jitomate (*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.

- Dunn, R. A. 1996. Nematode management for landscape ornamentals. Florida Cooperative Extension Service. IFAS. University of Florida, Nematology Pointer No. 42.
- 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, N.C, U.S.A.
- 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.
- Jepson, S. B. 1987. Identification of root-knot nematodes (*Meloidogyne* species). C.A.B. International. Wallingford, Oxon, U.K.
- Montes, B. R. 1988. Nematología vegetal en México. Sociedad Mexicana de Fitopatología, México. 158 pp.

- Ramírez-Arredondo, J.A., Cid del Prado Vera, I., Teliz Ortiz, D. y Zavaleta Mejia, E. 1995. Progreso epidémico del desarrollo y reproducción de *Meloidogyne javanica* (Treub) Chitwood en vid basado en grados días. *Agric. Téc. Méx.* 21(2): 117-126.
- Sasser, J. N. 1979. Pathogenicity, host ranges and variability in *Meloidogyne* species. Pp. 257-268. *In* Lamberti, F., and C. Taylor (eds). *Root-knot nematodes (Meloidogyne species) Systematics, Biology and Control*. Academic Press. New York. U.S.A.
- Sasser, J. N., C. C. Carter, and A. L. Taylor. 1982. A guide to the development of a plant nematology program. *Plant Pathology and Genetics*, North Carolina State University and the United States Agency for International Development, Raleigh, NC, U.S.A.
- Secretaria de programación y presupuesto. 1992. Carta estatal. Climas. Estado de Hidalgo. Esc. 1: 500, 000. Secretaria de Programación y Presupuesto, INEGI.
- Sosa- Moss, C. 1985. Report on the status of *Meloidogyne* research in Mexico, Central America and the Caribbean Countries (Region 1). 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, N.C, U.S.A.
- Taylor, A. L., and J. N. Sasser. 1978. *Biology, identification and control of root-knot nematodes (Meloidogyne species)*. North Carolina State University Graphics, Raleigh, N.C, U.S.A. 111 pp.
- Taylor, A. L., J. N. Sasser, and L. A. Nelson. 1982. Relationship of climate and soil characteristics to geographical distribution of *Meloidogyne* species in agricultural soils. North Carolina State University Graphics, Raleigh, N.C, U.S.A. 65 pp.

Taylor, A. L., y J. N. Sasser. 1983. Biología, identificación y control de los nematodos de nódulo de la raíz (especies *Meloidogyne*). Proyecto Internacional *Meloidogyne*.

North Carolina State University Graphics, Raleigh, N.C, U.S.A.111 p.

Velásquez-Valle, R. 2001. Nematodos agalladores afectando hortalizas y otros cultivos en el norte centro de México. Revista Mexicana de Fitopatología 19:107-109.

CAPITULO 2. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE NEMATODOS AGALLADORES EN LA VEGA DE METZTITLÁN Y SU RELACIÓN CON FACTORES EDÁFICOS

Benjamín Hernández Flores, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2007

RESUMEN

Se evaluó la influencia de factores edáficos (textura, contenido de materia orgánica, conductividad eléctrica y pH) en la distribución espacial de especies del género *Meloidogyne* presentes en la Vega de Metztlán, Hidalgo, México, la cual constituye la principal área agrícola de la Reserva de la Biosfera de la Barranca de Metztlán. Se colectaron 106 muestras de suelo rizosférico de cultivos agrícolas. Aproximadamente 2.3 kg de suelo se colocaron en una maceta de 2.5 litros de capacidad donde se trasplantó jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Híbrido Zuley. Las plantas se mantuvieron bajo condiciones de invernadero durante 70 días. Se determinó el número de agallas por gramo de raíz para cada sitio de muestreo y se generaron mapas de distribución espacial de las especies de *Meloidogyne* y de las variables edáficas analizadas. 59% de los sitios muestreados resultaron positivos para *Meloidogyne*. La distribución las especies de *Meloidogyne* se correlacionó positivamente con la textura del suelo y negativamente con el contenido de materia orgánica. Se presentan mapas de la distribución de las especies de *Meloidogyne* y de las diferentes variables físico-químicas evaluadas.

Palabras clave: textura de suelo, materia orgánica, pH, conductividad eléctrica, *Meloidogyne* spp., distribución espacial.

CHAPTER 2. SPATIAL DISTRIBUTION OF ROOT-KNOT NEMATODES IN THE VEGA OF METZTITLÁN AS RELATED TO EDAPHIC FACTORS

Benjamín Hernández Flores, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2007

ABSTRACT

Spatial distribution and influence of soil factors (soil texture, organic matter content, electrical conductivity and pH) on root-knot nematodes was evaluated in the Vega de Metztitlán, Hidalgo, México, which is the main agricultural area of the Reserve of the Biosphere Barranca de Metztitlán. Rhizospheric soil of 106 crop fields distributed along the Vega was sampled. From each site, 2.3 kg of soil were collected and transferred to 2.5 liters pots were tomato seedlings (*Lycopersicon esculentum* Mill.) of Zuley hybrid were transplanted. Tomato plants were maintained under greenhouse during seventy days. After this time the number of galls g⁻¹ of roots was quantified and maps of spatial distribution of the *Meloidogyne* species and each soil variable were generated by geostatistical methods. Fifty nine percent of total soil sites were infested by *Meloidogyne*. Spatial distribution of *Meloidogyne* species was positively correlated with soil texture and negatively correlated with the organic matter content. Maps of spatial distribution of nematodes and soil variables are reported.

Keywords: Soil texture, organic matter, pH, electrical conductivity, *Meloidogyne* spp., spatial distribution.

2.1. Introducción

Los nematodos agalladores del género *Meloidogyne* son endoparásitos obligados y su rango de hospedantes abarca más de 3000 especies de plantas (Abad *et al.*, 2003). Las especies apomíticas *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) Chitwood, *Meloidogyne javanica* (Trueb) Chitwood y *Meloidogyne arenaria* (Neal) Chitwood, junto con la especie facultativamente partenogenética, *Meloidogyne hapla* Chitwood, son las especies 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, ya que se les ha reportado en al menos 23 de los 32 estados (Sosa-Moss, 1985; Castro *et al.*, 1990; Carrillo-Fasio *et al.*, 2000; Cid del Prado *et al.*, 2001; Guzmán-Plazola *et al.*, 2006). Entre los cultivos que parasita de manera importante en México sobresalen: jitomate (*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-Arredondo *et al.*, 1995; Carrillo-Fasio *et al.*, 2000; Velásquez-Valle, 2001; Cid del Prado *et al.*, 2001; Guzmán-Plazola *et al.*, 2006). La textura y la composición química de la solución del suelo pueden influir de forma importante en la migración (Tarjan, 1971), tasa de reproducción (Edongali *et al.*, 1982; Barker and Weeks, 1991; Koening, *et al.*,

1996), grado 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, 1981) de este grupo de fitopatógenos. Un buen entendimiento de estas interacciones es necesario para desarrollar programas de manejo de este grupo de nematodos. El objetivo de esta investigación fue estudiar el efecto de las diferencias locales en tipo de suelo en la distribución geográfica de *Meloidogyne* spp., en la Vega de Metztlán, Hidalgo.

2.2. Materiales y métodos

2.2.1. Zona de estudio

La Vega de Metztlán se ubica geográficamente entre los paralelos 20.7034° y 20.4677° de latitud norte, y 98.8889° y 98.6724° longitud oeste, a una altitud de 1270 msnm (Figura 2.1). El clima es seco semicálido (BSh), con una temperatura media anual que oscila entre 18 y 20°C, y una precipitación de media anual de 427.4 mm (SPP, 1992).

2.2.2. Muestreo

Se colectaron 106 muestras de suelo rizosférico de cultivos agrícolas diversos (maíz, frijol, chile, sorgo, tomate de cascara, jitomate, calabacita, papa y alfalfa) en la Vega de Metztlán, Hidalgo, México, durante el ciclo agrícola primavera-verano del año de 2006 (Figura 2.1). Para la selección de los sitios de muestreo se trató de que la separación entre ellos fuese uniforme y se abarcara toda la zona de estudio. Cada muestra compuesta consistió de 2.8 kg y estuvo conformada 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 de suelo se tomaron 2.3 kg y se colocaron en una maceta con capacidad de 2.5 litros, donde se plantó jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Híbrido Zuley de la marca Rogers de 26 días de edad. Las macetas se mantuvieron bajo condiciones de invernadero por 70 días; al final de este periodo se cuantificó el número de agallas totales y el volumen radical por planta, con la finalidad de determinar el número de agallas g^{-1} de raíz.

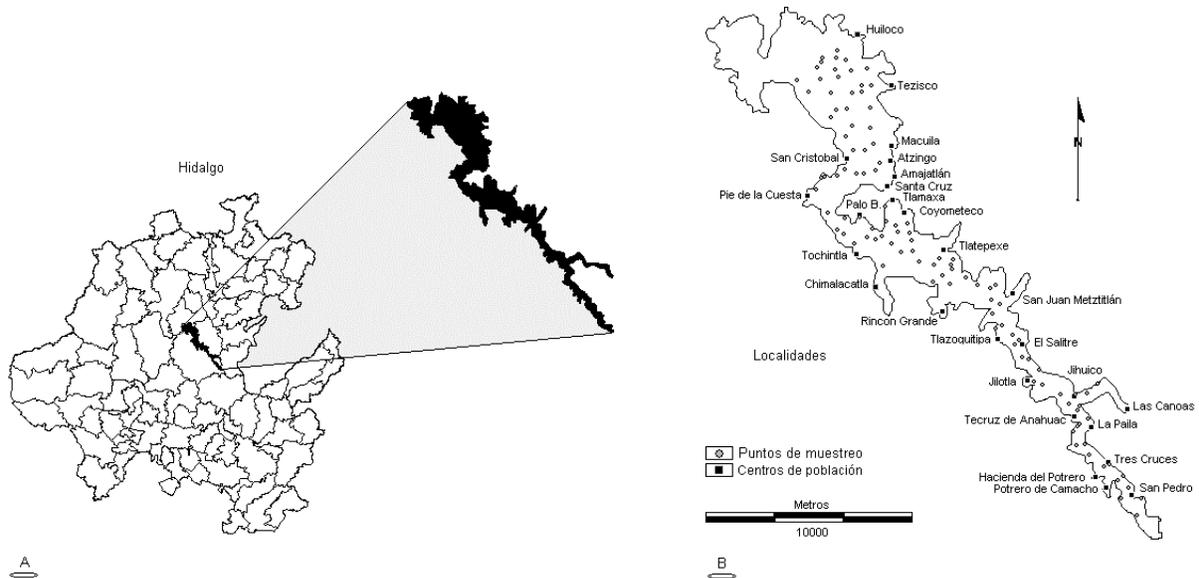


Figura 2.1. A. Ubicación geográfica de la Vega de Metztlán, Hidalgo, México. B. Puntos de muestro dentro de la región de estudio realizado durante el ciclo de cultivo primavera-verano de 2006.

2.2.3. Análisis de características físico-químicas de suelo

De cada muestra compuesta correspondiente a los diferentes sitios muestreados, se tomaron aproximadamente 500 g de suelo para llevar a cabo determinaciones de textura, contenido de materia orgánica, conductividad eléctrica y 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 del extracto de saturación del suelo a una relación 1:5 de suelo: agua desionizada y destilada (Richards, 1990), y el pH del suelo se midió en suspensión de suelo y agua (1:2).

2.2.4. 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 de *spatial dependence modeler*, *model fitting* y *kriging and simulation* (Eastman, 2006). Estos módulos se emplearon para construir semivariogramas, y para elegir y ajustar el modelo que mejor describiera el patrón espacial de cada variable de interés y realizar a su vez la interpolación por kriging ordinario (Isaaks and Srivastava, 1989).

2.2.5. Análisis de componentes principales

Se evaluó la similaridad 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. En la salida del ACP se analizó la matriz de correlaciones, se seleccionaron los factores que recogieron la mayor proporción de la variabilidad original, se hizo un análisis de la matriz factorial y se realizó la interpretación respectiva de los factores.

2.3. Resultados y discusión

2.3.1. Análisis de características físico-químicas de suelo

Se encontraron ocho clases de textura de suelo en la Vega de Metztlán, las cuales por orden de importancia son: migajón, migajón arcilloso, arcilla, migajón arcillo limoso, arcilla limosa, migajón limoso, migajón arenoso y migajón arcillo arenoso. Los suelos en la zona son ligeramente alcalinos, no salinos (generalmente) y con contenidos de materia orgánica de muy pobres a pobres.

2.3.2. Análisis geoestadístico

La distribución espacial del contenido de arena, limo, arcilla, materia orgánica y pH fue descrita mejor por un modelo lineal, con una orientación de 165-180 grados. Con respecto a la variable conductividad eléctrica, el modelo gaussiano con orientación 165-180 grados fue el que mejor describió la estructura espacial de los datos. Los mapas de distribución espacial para las características antes mencionadas, estimados por kriging ordinario (Figura 2.2 y 2.3), mostraron un patrón de distribución con discontinuidad, de la parte sureste a la noroeste de la Vega de Metztlán. Con base en esta discontinuidad espacial, se dividió la zona en tres regiones con características edáficas similares: la zona noroeste, zona centro y zona sureste. La zona sureste presenta

suelos con altos contenidos de arena (clase migajón y migajón arenoso), con un promedio de contenido de arena del 45.2%, 19.7% de arcilla y 35.1% de limo (Figura 2.2; Cuadro 2.1). El contenido de materia orgánica en esta zona es muy pobre (0.33%) (Figura 2.2 D; Cuadro 2.1), el pH de los suelos es ligeramente alcalino (7.7), y su conductividad de eléctrica fue de 0.5 dS/m (Figura 2.3: Cuadro 2.1). La zona centro es de transición entre suelos de textura arenosa y textura arcillosa. En dicha zona es común encontrar casi todo tipo de clases de textura (migajón, migajón arcillo limoso, migajón arcilloso, migajón limoso, arcilla, arcilla limosa), aunque es más frecuente encontrar suelos de textura migajón y migajón arcilloso (Cuadro 2.1), los cuales representan más del 50% del total. En términos generales estos suelos presentan en promedio, un 25% de arena, 43.8% de limo y 31.2% de arcilla (Figura 2.2 A-C; Cuadro 2.1); el contenido de materia orgánica es de 0.68% un poco mayor que en la zona sureste e inferior al de la zona noreste. El pH de los suelos es ligeramente alcalino (7.7) y la conductividad eléctrica es de 0.63 dS/m (Figura 2.3; Cuadro 2.1). Respecto a la zona noroeste, en ella predominan 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 (Figura 2.2 A-C, Cuadro 2.1); el contenido de materia orgánica fue de 0.83%, el pH es ligeramente alcalino (7.6) y la conductividad eléctrica de 0.87 dS/m. En la vega de Metztlán se observan claramente dos zonas contrastantes en relación a la clase de textura de suelo y al contenido de materia orgánica (Figura 2.2); la zona sureste se caracteriza por presentar suelos muy arenosos, con poco contenido de materia orgánica, mientras que la zona noroeste presenta suelos arcillosos con contenidos de materia orgánica más elevados.

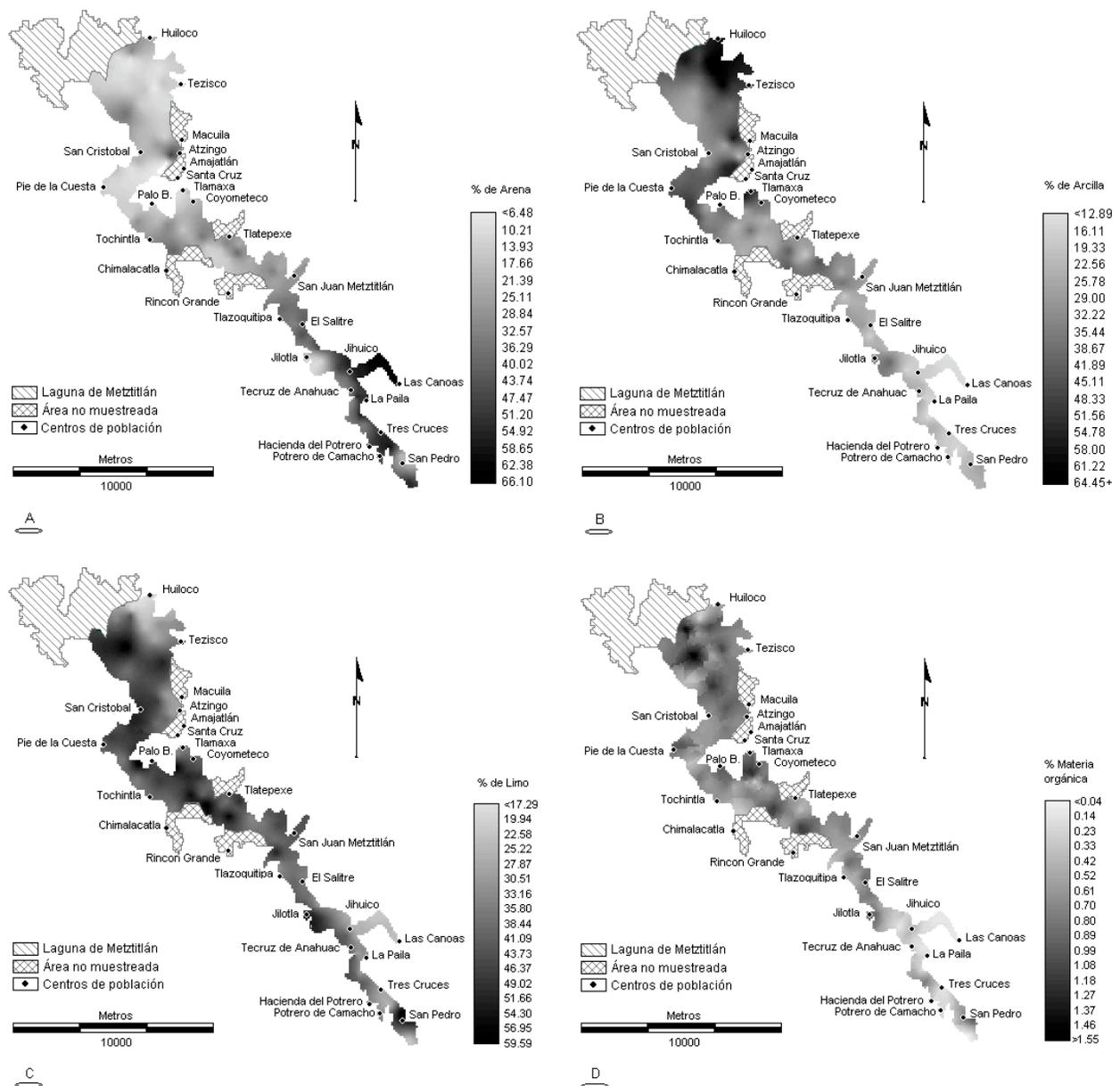


Figura 2.2. Mapas de la textura de suelo y materia orgánica, generados mediante kriging ordinario (Isaaks and Srivastava, 1989) a partir de 106 puntos de muestreo tomados en la Vega de Metztitlán, Hidalgo. México, 2006. A. Porcentaje de arena. B. Porcentaje de arcilla. C. Porcentaje de limo. D. Porcentaje de materia orgánica.

Este patrón de distribución ha sido determinado por la ocurrencia de las inundaciones periódicas que deja grandes volúmenes de arena en la parte alta (sureste) y al arrastre toda cantidad de materia orgánica de esta zona, que se deposita finalmente en la parte baja (noroeste) de la Vega de Metztlitlán.

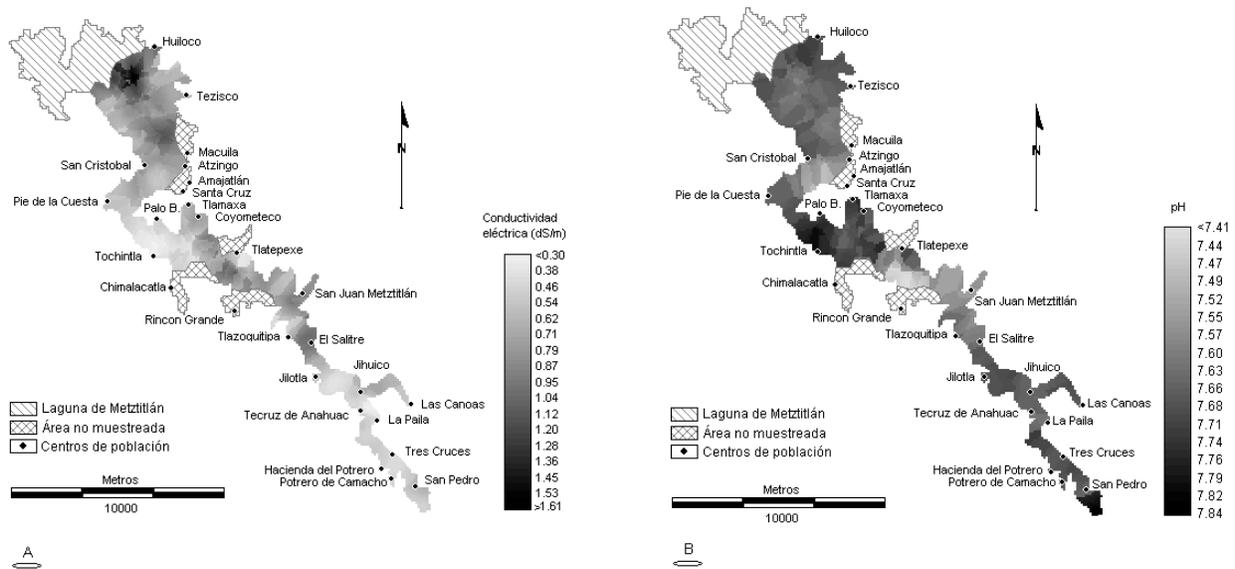


Figura 2.3. Mapas de conductividad eléctrica (A) y de pH (B), generados mediante kriging ordinario (Isaaks and Srivastava, 1989), a partir de 106 puntos de muestreo tomados en la Vega de Metztlitlán, Hidalgo, México, 2006.

2.3.3. Distribución espacial de especies de *Meloidogyne* y su relación con factores edáficos

El 58.5% de los campos de cultivo de la Vega de Metztlitlán se encontraron infestados por nematodos agalladores (Cuadro 2.2). 41.5% de los sitios muestreados se encontraron libres, ya que no se observó presencia de agallamiento en el sistema radical, ni se encontraron estadios juveniles y/o adultos machos dentro del tejido del

sistema radical. Las especies de *Meloidogyne* ocurrieron con un grado de severidad de 17.8 agallas g⁻¹ de raíz en campos donde fueron detectadas.

Cuadro 2.1. Características físico-químicas de suelos muestreados en la Vega de Metztlán, Hidalgo, Méx.

Región	Clase de textura	Frecuencia de sitios	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	M. O (%)	pH	C.E (dS/m)
Sureste	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)
Centro	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)
Noroeste	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)

En las muestras provenientes de la región sureste se presentó la mayor incidencia de especies de *Meloidogyne* de toda la región (Cuadro 2.2; Figura 2.4 y 2.5), ya que más del 95% de los campos de cultivo muestreados se encontraron infestados; además, en ellos se presentó el mayor grado de severidad, ya que en promedio se contabilizaron 22 agallas g^{-1} de raíz. De la región centro, 33 de 51 campos de cultivos muestreados se encontró la presencia de *Meloidogyne* y la severidad en invernadero fue de 16.8 agallas g^{-1} de raíz (Cuadro 2.2; Figura 2.4 y 2.5). La región noroeste tuvo el menor porcentaje de suelos infestados por especies de *Meloidogyne* (26.5%) y una menor severidad en invernadero, promediando 2.4 agallas g^{-1} de raíz (Cuadro 2.2; Figura 2.4 y 2.5). El número de agallas g^{-1} de raíz tuvo una correlación positiva con el contenido de arena en el suelo y una correlación negativa con el contenido de materia orgánica (Cuadro 2.3). Derivado del análisis de componentes principales, se observó que los primeros tres componentes acumulan el 80.7% de la varianza de las variables originales y los demás componentes acumulan el 19.3% restante de la varianza total (Cuadro 2.4, Figura 2.6). 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 (Cuadro 2.5-2.7). 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, mientras que 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.

Cuadro 2.2. Incidencia de especies de *Meloidogyne* y densidad poblacional (número de agallas g⁻¹ de raíz) en las regiones sureste, centro y noroeste, de la Vega de Metztlán, Hidalgo. Méx.

Región	No. de muestras	No. muestras positivas para <i>Meloidogyne</i> spp.	% muestras positivas para <i>Meloidogyne</i> spp.	No. de agallas g ⁻¹ de raíz
Sureste	21	20	95.3	22.2 ± 38.7 (0.56-179.8)
Centro	51	33	64.7	16.8 ± 22.3 (0.09-111.8)
Noroeste	34	9	26.5	2.4 ± 12.7 (0.19-73.3)
Total	106	62	58.5	17.8 ± 30.2 (0.09-179.8)

En el gráfico de dispersión de los campos de cultivo realizado con F1 vs F2 (Figura 2.7), se observan 6 grupos con cierta similaridad edáfica, donde el grupo uno 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 grupo dos 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 grupo tres 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 grupo cuatro lo conforman campos que presentan suelos principalmente de textura tipo migajón arcilloso y migajón arcillo 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).

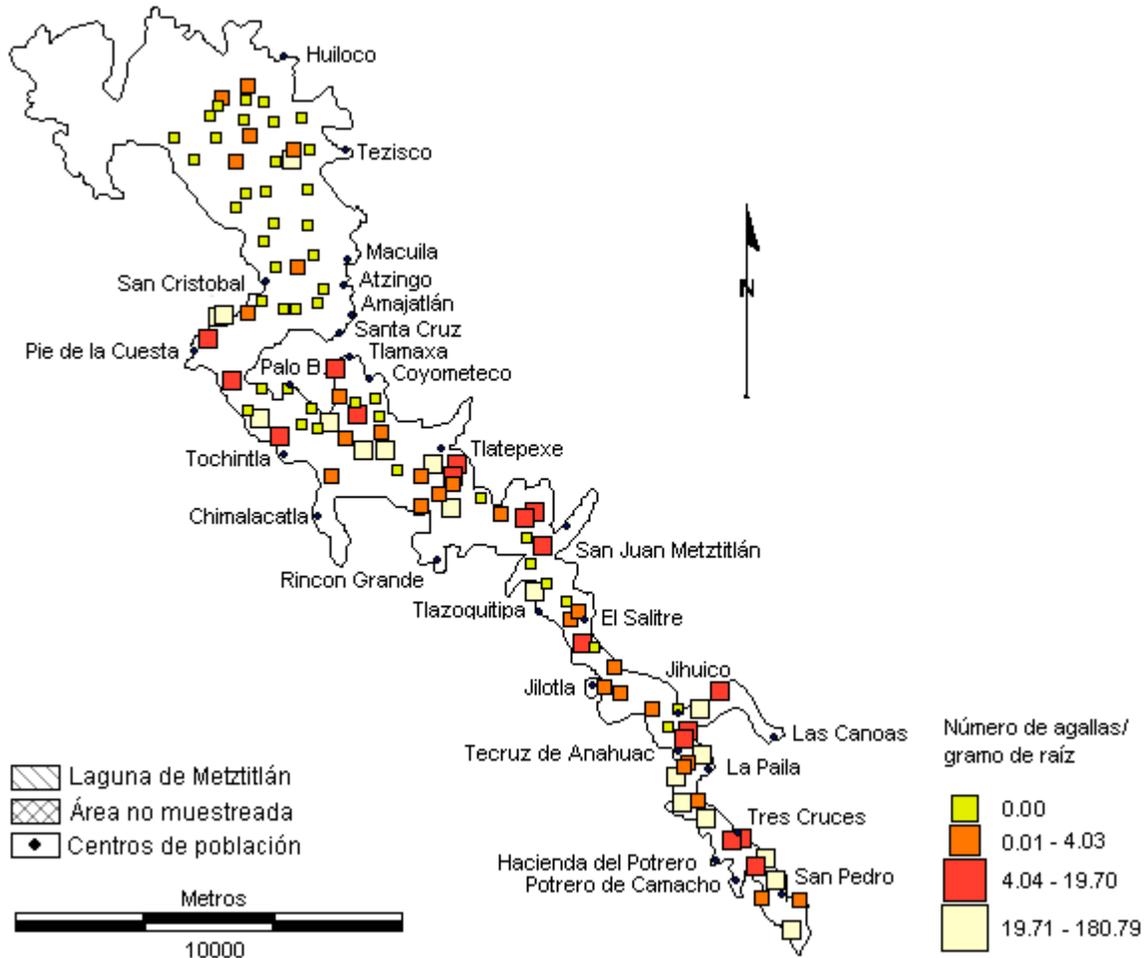


Figura 2.4. Mapa de distribución espacial de *Meloidogyne* spp (número de agallas por gramo de raíz), en la Vega de Metztitlán, Hidalgo. Ciclo primavera-verano, 2006.

materia orgánica de muy pobre a pobre (0.71%), pH ligeramente alcalino (7.7) y conductividad eléctrica baja (0.74 dS/m). En el grupo uno, *Meloidogyne* estuvo presente en 15 de 16 campos de cultivo (93.8%). En el grupo dos, el 63.7% de los campos de cultivo fueron positivos a *Meloidogyne*; para el grupo tres, el 75% de los campos fueron positivos, en el grupo cuatro el 42.9%, en el grupo cinco el 25% y en el grupo 6 el 46.4% (Figura 2.7).

Cuadro 2.3. Matriz de correlación (Pearson) entre las diferentes variables de estudio.

Variables	M.O	pH	C.E	Arena	Limo	Arcilla	Agallas planta ⁻¹
M.O		-0.18	0.25*	-0.67*	0.40*	0.50*	-0.24*
PH			-0.22*	0.20*	-0.18	-0.10	0.15
C.E				-0.28*	0.10	0.26*	-0.18
Arena					-0.53*	-0.80*	0.23*
Limo						-0.10	-0.15
Arcilla							-0.16

* Valores significativamente diferentes de 0, con $P \leq 0.05$.

Cuadro 2.4. Valores propios, proporción de varianza explicada y varianza explicada acumulada por componente principal.

	F1	F2	F3	F4	F5
Valor propio	2.70	1.14	1.01	0.74	0.42
Variabilidad (%)	44.93	18.96	16.77	12.34	7.01
% acumulado	44.93	63.89	80.65	92.99	100.00

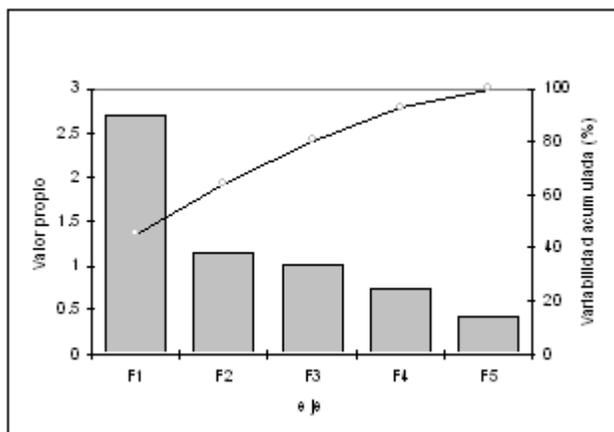


Figura 2.6. Varianza explicada acumulada por cada componente principal adicionado.

Cuadro 2.5. Correlaciones entre las variables edáficas y factores.

Variables	F1	F2	F3	F4	F5
M.O	-0.81	0.04	0.18	0.01	0.55
pH	0.35	-0.40	0.67	0.54	-0.00
C.E	-0.46	-0.06	-0.63	0.62	-0.03
Arena	0.94	0.07	-0.21	0.06	0.24
Limo	-0.51	0.76	0.32	0.17	-0.18
Arcilla	-0.74	-0.63	0.20	-0.19	-0.16

La mayor severidad (número de agallas g^{-1} de raíz) ocurrió en suelos con textura migajón arcillo arenoso y migajón arenoso (Figura 2.8 A); 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 promedio de 7.0-14.0 agallas por gramo de raíz (Figura 2.8B).

Cuadro 2.6. Contribuciones de las variables edáficas (%) por factor.

Variabales	F1	F2	F3	F4	F5
M.O	24.61	0.12	3.18	0.01	72.08
pH	4.64	13.95	42.76	38.65	0.00
C.E	7.90	0.32	39.34	52.30	0.15
Arena	32.93	0.43	4.46	0.42	14.16
Limo	9.53	50.87	10.21	3.91	7.78
Arcilla	20.40	34.32	0.04	4.72	5.83

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 contenidos de materia orgánica más bajos (0.06-0.50%) fueron más favorables a las especies de *Meloidogyne* que los suelos con contenidos de materia orgánica más altos, ya que en este tipo de suelos la severidad promedio fue de 17.7 agallas por gramo de raíz (Figura 2.9).

Los suelos con contenidos de materia orgánica del rango de 0.51 a 0.80% fueron medianamente favorables al desarrollo de *Meloidogyne*, ya que se tuvo una severidad promedio de 11.5 agallas g^{-1} de raíz.

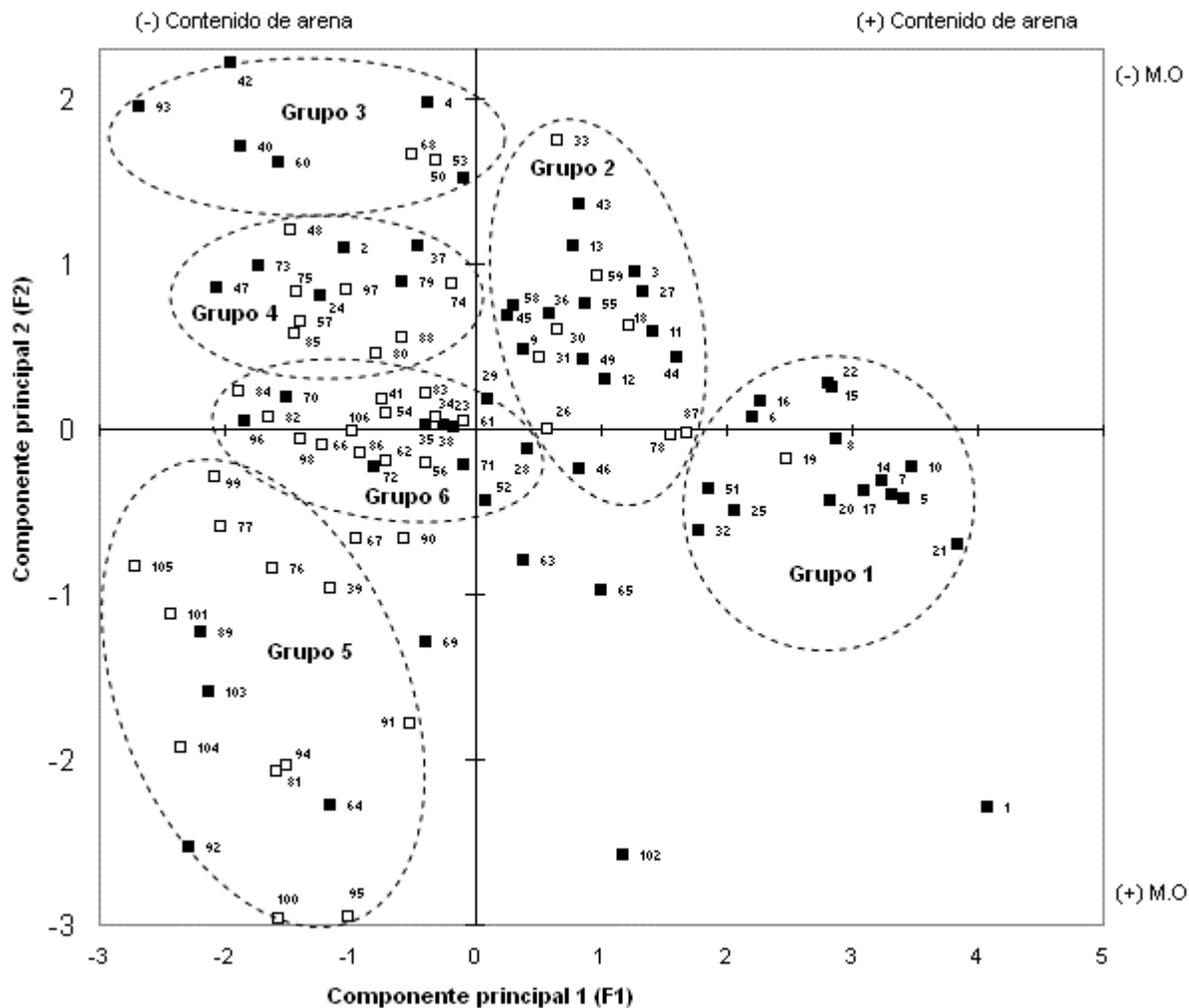


Figura 2.7. Gráfico de dispersión de 106 campos de cultivo muestreados en la Vega de Metztlán, Hidalgo. El primer componente principal está correlacionado positivamente con el contenido de arena en el suelo. El segundo componente principal se correlaciona positivamente con el contenido de limo en el suelo. ■ = campos infestados con *Meloidogyne*, □ = campos no infestados con *Meloidogyne*.

Finalmente, los suelos con contenidos de materia orgánica más elevados (0.81-1.62%), fueron los que menos favorecieron el desarrollo de *Meloidogyne* spp., al promediarse 2.7 agallas por gramo de raíz.

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 materia orgánica. Los suelos con textura tipo migajón arenoso y migajón arcillo arenoso fueron los que presentaron las más altas infestaciones por especies de *Meloidogyne*; esta 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). Los suelos de textura arcilla, arcilloso limoso y migajón arcillo limoso fueron poco favorables 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 provocan 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 en 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 con reportes previos en donde el tamaño de las partículas de suelo es una 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 Jean-Claude y Van Gundy (1981), reportaron que la migración vertical de juveniles de *M. incognita* se

favorece en los suelos más arenosos. Asimismo, hay varios reportes 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 Weets, 1981; Shane and Barker, 1986; Windham and Barker, 1986; Elizabeth *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. Se encontró una mayor incidencia y severidad de especies de *Meloidogyne* en suelos de textura gruesa; sin embargo, hubo excepciones en algunos sitios de muestreo que pueden ser explicadas 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 y viceversa. Una explicación probable es que a mayor contenido de materia orgánica, se incrementa la concentración de organismos que son parásitos o depredadores de nematodos parásitos de plantas.

El pH del suelo presentó poca variabilidad en el área de estudio de 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 aparente 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 ligeramente una mayor distribución y severidad

en suelos con conductividad eléctrica menor (0.15-0.45 dS/m), comparados con suelos con una conductividad eléctrica mayor (0.71-2.44 dS/m).

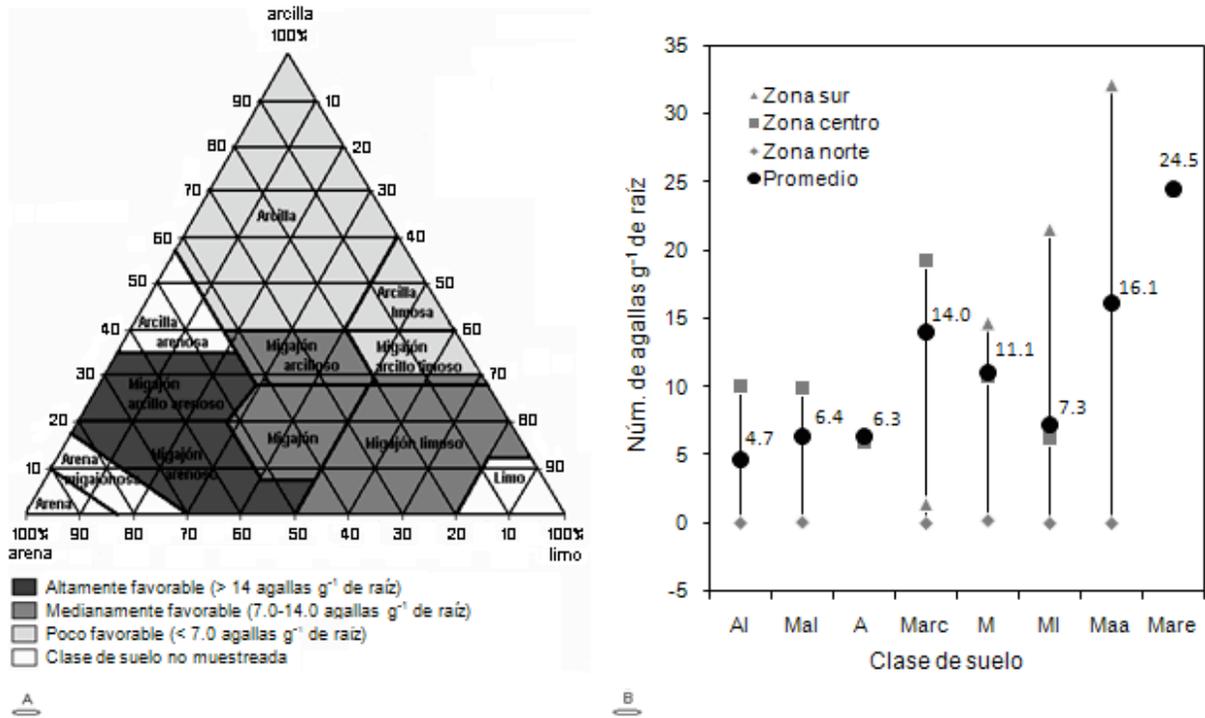


Figura 2.8. A. Conductividad de clases de textura de suelo a *Meloidogyne* spp., expresada en relación al número de agallas inducidas g^{-1} de raíz en jitomate. B. Conductividad de clases de suelo a *Meloidogyne* spp. bajo diferentes condiciones edáficas (zona noroeste, centro y sureste), expresada en relación al número de agallas inducidas g^{-1} de raíz en jitomate. Vega de Metztitlán, Hidalgo. México, 2006. AI=arcilla limosa, Mal=migajón arcillo limoso, A=arcilla, Marc=migajón arcilloso, M=migajón, MI=migajón limoso, Mare=migajón arenoso, Maa=migajón arcilla arenosa.

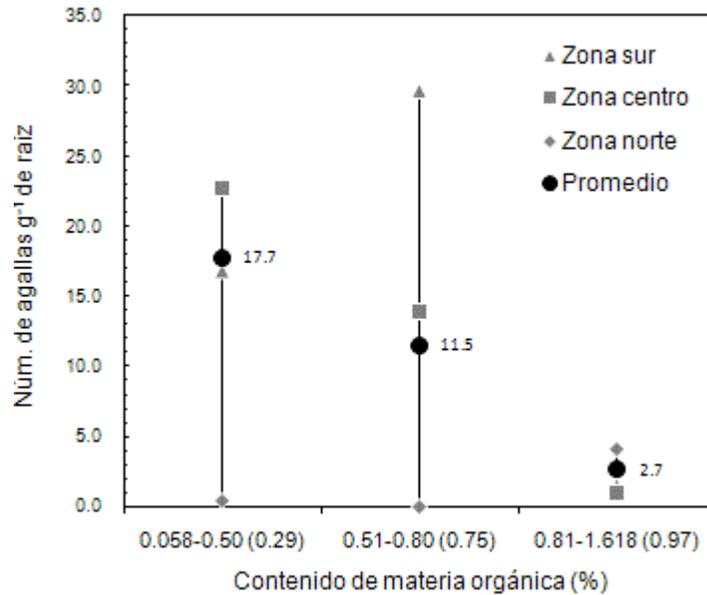


Figura 2.9. Conducividad del contenido de materia orgánica a *Meloidogyne* spp. bajo diferentes condiciones edáficas (zona noroeste, centro y sureste), expresada en relación al número de agallas inducidas por gramo de raíz en jitomate. Vega de Metztitlán, Hidalgo. México, 2006.

El efecto negativo de elevados niveles de salinidad también ha sido observado por Edongali y Ferris (1982), quienes reportaron un menor número de juveniles infectivos de *M. incognita*, en suelos con 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 espacial de especies de *Meloidogyne* en la Vega de Metztitlán 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 la labranza de cultivos susceptibles a *M. incognita*,

M. javanica, *M. arenaria* y *M. hapla* (especies presentes), y/o en su caso ejecutar las medidas necesarias para la producción en las áreas menos favorables.

2.4. Conclusiones

1) Los campos de cultivo de la Vega de Metztlán en su gran mayoría se encuentran infestados por el nematodo agallador (*Meloidogyne* spp.), dado que en el 58.5% de los campos de cultivo muestreados se encontró la presencia de este patógeno.

2) El mayor grado de severidad (número de agallas g⁻¹ de raíz) por *Meloidogyne* spp., estuvo correlacionado positivamente con el contenido de arena en el suelo y negativamente con el contenido de materia orgánica.

3) La zona sureste de la Vega de Metztlán fue la más afectada por el nematodo agallador (*Meloidogyne* spp.), lo cual es explicable dado que presenta las condiciones más favorables (suelos con altos contenidos de arena y pobre contenido de materia orgánica).

4) La zona noroeste fue la menor afectada por el nematodo agallador, ya que presenta las características menos favorables (suelos arcillosos con mayor contenido de materia orgánica).

5) La zona centro fue definida como de transición y en ella se observaron campos altamente infestados, así como también libres de nematodos agalladores.

2.5. 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.
- 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 *Tajetes 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.

- 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 Nématol. 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.
- Elizabeth, M. J., 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.
- 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.
- Isaaks, E. H., and R. M. Srivastava. 1989. An introduction to applied geostatistics. Oxford University Press. Inc.

- Jean-Claude, P., 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.
- 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 Sci.* 92:384-386.
- Ramírez-Arredondo, J.A., I. Cid del Prado V., I., 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. *Agric. Téc. Méx.* 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.
- Secretaria de programación y presupuesto 1992. Carta estatal. Climas. Estado de Hidalgo. Esc. 1: 500, 000. Secretaria de Programación y Presupuesto, INEGI.
- 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 infestación as influenced by soil texture. *Soil Sci.* 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, N.C, 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 soil. *Soil Crop Sci. Soc. Fla. Proc.* 31:253-255.
- Trudgill, D.L., and Blok, V.C. 2001. Apomictic, polyphagous root-knot nematodes: exceptionally successful and damaging biotrophic root pathogens. *Annu. Rev. Phytopathol.* 39:53–77.
- Van Gundy, S. D., and L. H. Stolzy. 1961. Influence of soil oxygen concentrations of 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* 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 *Rhizoctonia 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 incognita* on soybean. *Journal of Nematology* 18:331-338.

CONCLUSIONES GENERALES

En la zona agrícola de la Vega de Metztlán, perteneciente a la Reserva de la Biosfera de la Barranca de Metztlán, se identificaron cuatro especies del nematodo agallador: *M. incognita*, *M. javanica*, *M. arenaria* y *M. hapla*.

La especie más frecuente fue *Meloidogyne incognita* en 85.4%, seguida por *M. javanica* en 5.3%, en 5.3% *M. arenaria* y *M. hapla* en el 4%.

La mayoría (59%) de los campos agrícolas muestreados en la Vega de Metztlán se encontraron infestados por especies de *Meloidogyne*, donde su distribución geográfica está determinada en gran medida por las características intrínsecas del suelo, principalmente por el contenido de arena y materia orgánica.