

# RESEARCH/INVESTIGACIÓN

## OCURRENCIA DE *NACOBBUS ABERRANS* EN CULTIVOS HORTÍCOLAS DEL NOROESTE DE MICHOACÁN, MÉXICO

A. J. Cabrera Hidalgo<sup>1</sup>, G. Valdovinos Ponce\*<sup>1</sup>, G. Mora Aguilera<sup>1</sup>, A. Rebollar Alviter<sup>2</sup>, y N. Marbán Mendoza<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Postgrado en Fitosanidad-Fitopatología. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Estado de México, C.P. 56230. <sup>2</sup>Programa de Protección Vegetal, Universidad Autónoma Chapingo, km 38.5 Carretera México-Texcoco, Estado de México, C.P. 56230. \*Corresponding author: gvapon@colpos.mx

---

### ABSTRACT

Cabrera Hidalgo, A. J., G. Valdovinos Ponce, G. Mora Aguilera, A. Rebollar Alviter, and N. Marbán Mendoza. 2014. Occurrence of *Nacobbus aberrans* in horticultural crops in northwestern Michoacan, Mexico. *Nematropica* 44:107-117.

*Nacobbus aberrans* sensu Sher occurrence and distribution, as well as its association with soil physicochemical characteristics, were analyzed in the northwest region of Michoacan. Root and soil samples from commercial horticultural crops were collected in 16 counties. Nematode extraction and physicochemical characterization of the soil as well as percentage of galled root were assessed. *Nacobbus aberrans* was found in Tanhuato, Yurécuaro, and Pajacuarán associated with zucchini (*Cucurbita pepo*), cucumber (*Cucumis sativus*), and tomato (*Solanum lycopersicum*), which had a root gall percentage ranging from 10 to 100%. The most favorable conditions for *N. aberrans* occurrence were those with a low to medium organic matter content, 20 to 54% of lime, and 18 to 62% of sand. According to the interpolative map, Tanhuato and Yurécuaro constitute the most inductive regions for the occurrence of *N. aberrans*. Chavinda, Jacona, Tangamandapio, Tangancicuaro, Marcos Castellanos, Chilchota, and Purépero are the counties with the lowest potential occurrence of this pathogen.

*Key words:* interpolative maps, principal components, soil characteristics.

---

### RESUMEN

Cabrera Hidalgo, A. J., G. Valdovinos Ponce, G. Mora Aguilera, A. Rebollar Alviter, y N. Marbán Mendoza. 2014. Ocurrencia de *Nacobbus aberrans* en cultivos hortícolas del noroeste de Michoacán. *Nematropica* 44:107-117.

Se analizaron la ocurrencia y abundancia de *Nacobbus aberrans* sensu Sher, así como su asociación con las características físico-químicas del suelo en el noroeste de Michoacán. Se recolectaron muestras edáficas y raíces de cultivos hortícolas comerciales en 16 municipios. Del suelo se hizo la extracción de nematodos y se determinaron sus propiedades físico-químicas. Del material vegetal se evaluó el porcentaje de raíces agalladas. *N. aberrans* se encontró en los municipios de Tanhuato, Yurécuaro y Pajacuarán asociado a los cultivos de calabacita (*Cucurbita pepo*), pepino (*Cucumis sativus*) y jitomate (*Solanum lycopersicum*), los cuales presentaron un porcentaje de agallamiento del 10 al 100%. Las condiciones más favorables para la ocurrencia de *N. aberrans* fueron contenido bajo a medio de materia orgánica, proporción de limo del 20-54%, y 18-62% de arena. El mapa interpolativo mostró la región de Tanhuato y Yurécuaro como la más inductiva para la ocurrencia de *N. aberrans*. Los municipios con menor potencial de ocurrencia para este nematodo fueron Chavinda, Jacona, Tangamandapio, Tangancicuaro, Marcos Castellanos, Chilchota y Purépero.

*Palabras clave:* características edáficas, componentes principales y mapas interpolativos.

## INTRODUCCIÓN

El género *Nacobbus* Thorne y Allen, incluye especies endoparásitas sedentarias que son endémicas de Norte y Suramérica. Las hembras maduras establecen sitios permanentes de alimentación e inducen agallas en las raíces de sus hospedantes. Se ha reportado predominantemente en ambientes secos y semiáridos, y en altitudes altas (Manzanilla-López *et al.*, 2002). Este patógeno tiene una alta capacidad reproductiva y una gama de hospedantes que incluye 84 especies cultivadas y no cultivadas pertenecientes a 18 familias botánicas, lo que lo convierte en un patógeno importante y de difícil manejo, ya que bajo condiciones ambientales favorables una sola hembra puede producir cientos de huevos (Sher, 1970; Manzanilla-López *et al.*, 2002).

*N. aberrans* se adapta a una amplia variedad de características edafoclimáticas, pero la temperatura influye en gran medida en su ciclo de vida (Manzanilla-López *et al.*, 2002); su distribución espacial en un área geográfica determinada genera problemas en el muestreo debido a que puede estar agrupado con otras especies de nematodos. Tal agregación está en función del patrón de la distribución espacial del hospedante actual o previo, de la morfología y distribución de las raíces, de la presencia de microclimas en el suelo, de cambios ambientales, de las prácticas de manejo del cultivo (siembra en hilera y labranza mínima), y de la biología misma del nematodo (hábitos alimenticios, estrategias reproductivas).

En México, Brunner de Magar (1967) hizo el primer reporte de *Nacobbus aberrans* en plantas de chile (*Capsicum annuum*) en Chapingo, Texcoco, Estado de México, identificándolo entonces como *N. serendipiticus*. Actualmente, este nematodo se presenta en los estados de Coahuila, Distrito Federal, Guanajuato, Hidalgo, Estado de México, Michoacán, Morelos, Puebla, Oaxaca, San Luis Potosí, Tlaxcala y Zacatecas, asociado principalmente a los cultivos de chile (*Capsicum annuum*), tomate (*Physalis ixocarpa*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*) (Montes-Belmont, 2000; Manzanilla-López *et al.*, 2002). En 1992, se reportó en el estado de Michoacán asociado a jitomate (*Solanum lycopersicum*) (Sosa-Moss y Muñoz, 1973; Montes-Belmont, 2000), representando un serio problema fitosanitario por la importancia de este cultivo en la región, por su alta capacidad reproductiva y gama de hospedantes. En este mismo cultivo, Cristóbal-Alejo *et al.*, (2006) demostraron pérdidas entre 12-83%, dependiendo del nivel tecnológico, estimadas con criterios epidemiológicos.

En general, las características físico-químicas del suelo pueden influir de forma importante en la movilidad (Tarjan, 1971), tasa reproductiva (Barker y Weeks, 1991; Koenning *et al.*, 1996), nivel de infestación (Starr *et al.*, 1993) y en el nivel de daño que los nematodos inducen al cultivo (Barker y Weeks, 1991). Sin embargo, la complejidad del medio edáfico

y la necesidad de estudios destructivos para estimar el daño, obliga al uso de una adecuada planeación experimental en estudios estadísticos convencionales a nivel parcelario (Cristóbal-Alejo *et al.*, 2006) o el empleo de mapas geoestadísticos interpolativos para inferir el estatus poblacional a nivel espacial a partir de áreas específicas de muestreo en campo con el propósito de diseñar sistemas de muestreo, o para la aplicación de medidas de control de precisión (Dinardo-Miranda y Vilela 2009; Farias *et al.*, 2002). Una extensión de este enfoque es el empleo de mapas interpolativos a nivel regional (Guzmán-Plazola *et al.*, 2006) en combinación con métodos multivariados con el fin de subsanar el empleo de una sola variable como criterio explicativo de la ocurrencia y estimación de riesgos del establecimiento de un fitopatógeno (Mora-Aguilera *et al.*, 2013). *N. aberrans* y otras especies de nematodos son influenciados por un conjunto de factores tales como suelos arenosos y limo arenosos con temperaturas de 15-23°C y con humedad del 19% (Ferris, 1999) por lo que el uso de enfoques multivariados puede representar importantes ventajas analíticas. Adicionalmente, se desconoce del efecto de otros factores físico-químicos edáficos en este patógeno, por lo que es importante conocer y entender las interacciones que se establecen entre este nematodo y las características edáficas para desarrollar programas de manejo más eficientes y redituables para los productores.

Con base en estos antecedentes, los objetivos de la presente investigación fueron determinar la ocurrencia de *N. aberrans* en la región hortícola del noroeste del estado de Michoacán, analizar su distribución regional y determinar su asociación con las características físico-químicas del suelo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Muestreo

Se realizó un muestreo en 16 municipios de las regiones Bajío y Lerma-Chapala del estado de Michoacán, lo cual representa el 88 y 12% del total de los municipios presentes en dichas regiones, respectivamente. Se seleccionaron los principales municipios productores de hortalizas con base en la superficie destinada a la siembra de estos cultivos y al historial nematológico de las parcelas. Se muestrearon parcelas con diferentes especies hortícolas establecidas en etapas avanzadas de desarrollo (floración y amarre de frutos) en el ciclo agrícola 2011. Los sitios de muestreo de cada región se seleccionaron al azar. Las muestras se recolectaron a intervalos uniformes siguiendo un patrón en forma de V a través del campo.

Las muestras de suelo se recolectaron de la rizosfera a una profundidad de 15-20 cm. Se tomaron 10 submuestras por sitio de muestreo de 100-150 g cada una para obtener una muestra compuesta de 1-1.5 kg, las cuales se llevaron al laboratorio de nematodos

fitopatógenos de la Universidad Autónoma Chapingo. También se recolectaron las raíces de 10 plantas para evaluar la presencia de agallas y hacer la extracción de nematodos. El número de raíces agalladas se contó en cada sistema radical y se obtuvo el porcentaje de agallamiento mediante la relación número de raíces agalladas/número total de raíces multiplicado por 100.

Se determinaron las coordenadas geográficas en el centro de cada parcela muestreada con un geoposicionador marca Garmin modelo GPSmap® 60CSx.

#### *Extracción de nematodos*

La extracción de nematodos J2 de las muestras edáficas se hizo mediante la técnica de tamizado de Cobb con 100 cm<sup>3</sup> de suelo (Cobb, 1918). Los nematodos se identificaron con base en las características morfológicas descritas por Sher (1970) y se cuantificaron en cámaras contadoras de 1 cm<sup>3</sup> de capacidad en un microscopio compuesto marca Olympus (modelo CX31) a 10x.

Para confirmar la presencia de *N. aberrans*, se hizo la extracción de los especímenes de las raíces vegetales. Se pesaron 10g de raíces y se colocaron en una cámara nebulizadora por 72 hr, programada para generar una nebulización de 5 segundos cada 5 minutos. Los nematodos recuperados se identificaron como se indicó anteriormente.

Los suelos en donde se encontró a *N. aberrans* se mantuvieron en un invernadero a 25°C ± 5°C para incrementar su población en plantas de jitomate cv. Río Grande de 30 días de edad.

#### *Características físico-químicas del suelo*

Las muestras de suelo se prepararon de acuerdo con las especificaciones establecidas en la norma oficial mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 (e.g., registro, secado, molienda, tamizado, homogeneización y pesaje) (SEMARNAT, 2002).

El pH y la conductividad eléctrica (CE) se determinaron en una suspensión de suelo en agua (1:2) con un potenciómetro Oakton benchtop pH 510 y un conductímetro Orion modelo 150, respectivamente. Los valores de CE se ajustaron de acuerdo a su equivalencia con la CE del extracto de saturación (Castellanos *et al.*, 2000). La textura del suelo y el contenido de materia orgánica (MO) se determinaron, respectivamente, por los métodos del hidrómetro de Bouyoucos (Método AS-09-1998) y el de combustión húmeda propuesta por Walkley y Black (Método AS-07-1998). Los parámetros anteriores así como la clasificación del pH, CE y contenido de MO en el suelo se hicieron de acuerdo con la norma oficial mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2002). La textura del suelo se determinó con los porcentajes de limo, arena y arcilla correspondientes con el triángulo de texturas (USDA, 1999).

#### *Análisis estadístico*

##### *Análisis de componentes principales*

La matriz de datos se construyó con 48 sitios de muestreo utilizando variables descriptivas del suelo (arcilla, arena, limo, pH, MO y CE), cultivo, y nematodo (porcentaje de agallamiento y juveniles J2). Posteriormente, se redujo el número de estas variables mediante el análisis de componentes principales (ACP), de acuerdo con la metodología propuesta por Mora-Aguilera y Campbell (1997). Con este nuevo conjunto de variables se caracterizaron los datos originales, sin perder su capacidad explicatoria, mediante la eliminación de variables con un peso relativamente alto de correlación (Hawkins y Fatti, 1984; Jolliffe, 2002).

Inicialmente, se analizó la matriz de correlación del conjunto original de datos y la estructura de componentes principales (CPs), estimada con el procedimiento PROC PRINCOMP, para detectar el grado de colinearidad entre las variables. Mediante el ACP se determinó el número de CPs a seleccionar usando el criterio de varianzas parciales altas ( $\lambda \geq 0.7$ ,  $\lambda = \text{eigenvalue}$ ) (Jolliffe, 2002) y el porcentaje acumulado de varianza total explicada por los CPs (70-90%). La selección preliminar de las variables asociadas a los CPs que se eligieron se hizo mediante el criterio de CPs mayores ( $\lambda \geq 0.7$ ) y menores ( $\lambda \leq 0.7$ ) analizando los eigenvectores de la matriz de correlación (Hawkins y Fatti, 1984). Las variables asociadas a CPs menores se eliminaron por correlacionarse con otras variables o por ser irrelevantes en la caracterización de la estructura de los datos. Posteriormente, se hizo la rotación de CPs mediante el procedimiento PROC FACTOR seleccionando las variables con pesos absolutos altos asociadas a los factores (SAS Institute, 2011a).

##### *Análisis de conglomerados para clasificar los sitios de muestreo*

Los sitios de muestreo se clasificaron en función de las características físico-químicas del suelo y la incidencia de *N. aberrans* mediante el análisis clúster (AC) de los componentes principales asociados a las variables seleccionadas en el ACP. Dicho análisis se llevó a cabo mediante el método de agrupamiento AVERAGE del procedimiento CLUSTER, seguido del procedimiento TREE y PLOT de SAS para generar el diagrama de agrupamiento (dendrograma). Los dendrogramas se cortaron en el rango más alto del índice de similaridad para conseguir la mejor definición del grupo (Mora-Aguilera *et al.*, 1996). Se usaron los criterios estadísticos de conglomerado cúbico (CCC), pseudo F estadística (PFE) y pseudo t2 (PT2) para seleccionar el número de conglomerados (SAS Institute, 2011b).

### Determinación del índice multivariado

El índice multivariado se utilizó para generar los mapas interpolativos de la potencial ocurrencia de *N. aberrans* con base en las características edáficas y la presencia del nematodo. Se aplicaron las ecuaciones 1 y 2 con los valores del análisis de factores obtenidos mediante el procedimiento PROC FACTOR de las variables que se seleccionaron a partir del análisis de CPs (Mora-Aguilera *et al.*, 2013):

$$\text{Ecuación 1: } IM = NCPs [(Factor\ 1)\ (VpCp\ 1) + \dots + (Factor\ n)\ (VpCp\ n)]$$

$$\text{Ecuación 2: } IR = 1/IM$$

Donde: *IM* = Índice multivariado.

*NCPs* = Número de componentes principales.

*VpCp* = Varianza proporcional del componente principal *I, ...n*.

*IR* = Índice relativo.

*Factor 1, Factor 2, Factor n* = es el vector asociado al Factor-*i*

La generación de los mapas interpolativos se hizo con el software ArcGis® 9.2 (ESRI, 2003) mediante la interpolación espacial de la variable Índice Multivariado Relativo (IMR) por el método de proyección geoestadística Inverso de la Distancia al Cuadrado (IDW). Para ello se emplearon puntos de referencia con fines de ajustar la proyección al total del área muestreada.

## RESULTADOS

### Muestreo y características físico-químicas del suelo

Se recolectaron 48 muestras edáficas y vegetales en 16 municipios del estado de Michoacán. Los principales cultivos muestreados forman parte de las familias Solanaceae [jitomate, chile, papa (*Solanum tuberosum*)], Cucurbitaceae (calabaza, pepino), Brassicaceae [brócoli (*Brassica oleracea*)], coliflor (*B. oleracea* var. *Botrytis*), Fabaceae [chícharo (*Pisum sativum*), frijol], Apiaceae [cilantro (*Coriandrum sativum*)] y Asteraceae [lechuga (*Lactuca sativa*)]. Más del 70% de los campos evaluados fueron de jitomate y chile, principalmente en los municipios de Tanhuato y Yurécuaro.

El análisis edáfico mostró que el 52 y 42% de los sitios evaluados presentaron contenido medio y bajo de MO (1.6-3.5%), y el 2 y 4% contenido muy bajo (< 0.5%) y alto (3.6-6%), respectivamente. El 19% de las muestras presentaron pH neutro (6.6-7.3) y el 46%

medianamente alcalino (7.4-8.5).

La CE fue relativamente variable (0.60-6.74 mmhos.cm<sup>-1</sup>). El 62.5% de los sitios presentaron condiciones de salinidad muy ligera (< 2 mmhos.cm<sup>-1</sup>) y el 35.4% salinidad moderada. La muestra Yurécuaro 47, obtenida de una parcela cultivada con jitomate, presentó la condición de salinidad más alta con 6.74 mmhos.cm<sup>-1</sup>.

El 40% de las muestras presentaron textura arcillosa con una proporción de arcilla del 43-62%, y el 40% una proporción arcilla-limo superior al 29%. La proporción de arena fluctuó entre 2.2-68.2%, y la de limo del 18-54%. El valor promedio de la proporción arena, arcilla y limo fue del 29.45, 38.38 y 31.97% respectivamente.

### Ocurrencia de *N. aberrans*

De los 16 municipios evaluados, solamente en Tanhuato, Yurécuaro y Pajacuarán se encontró a *N. aberrans* en las raíces de calabacita, jitomate y pepino (Cuadros 1 y 2).

Los campos con jitomate presentaron los niveles poblacionales de juveniles J2 más altos (hasta 38 individuos), mientras que en los cultivos de pepino y calabacita fueron de 3 y 2 individuos en 100 cm<sup>3</sup> de suelo, respectivamente. En el sitio de muestreo Tanhuato 85, las plantas de jitomate mostraron 100% de agallamiento inducido por *N. aberrans* y *Meloidogyne* spp. (Cuadro 2).

En los campos infestados con *N. aberrans* se observaron áreas o manchones de plantas con escaso crecimiento y desarrollo. Las plantas enfermas mostraron poco desarrollo foliar, achaparramiento, clorosis y marchitez. En la raíz se indujeron agallas menores a 0.5 mm, las cuales se presentaron individualmente o fusionadas, dependiendo del grado de daño. Las agallas mostraron proliferación de raíces laterales con heridas y lesiones necróticas. Generalmente se encontró una sola hembra por agalla, pero en el sitio de muestreo Tanhuato 85, las raíces de jitomate presentaron agallas con más de una hembra.

El porcentaje de agallamiento en las plantas en etapa de floración-fructificación fue contrastante entre los cultivos (Cuadro 2). Las raíces de calabacita y pepino presentaron porcentajes de agallamiento del 13 y 10%, respectivamente; las agallas fueron pequeñas, poco numerosas (< 10 agallas por sistema radical) e individualmente distribuidas. En jitomate, el porcentaje de raíces agalladas fue del 15-100%. Algunas raíces presentaron no más de 10 agallas menores a 0.5 mm y distribuidas individualmente; en otras hubo colapso y agrietamiento, y las agallas se desarrollaron de manera aislada y fusionadas formando conglomerados. En estas muestras, *N. aberrans* se encontró asociado con *Meloidogyne* spp.

Cuadro 1. Localización geográfica y características físico-químicas de parcelas agrícolas infestadas con *Nacobbus aberrans* en tres municipios del noroeste de Michoacán, México 2011.

Municipio	Ubicación geográfica			Cultivo	SUP (ha)	Proporción (%)				pH	Textura	CE	MO (%)
	LN	LO	LO			Arena	Arcilla	Limo	Textura				
Tanhuatío 42	20°16.273	102°24.060	Calabacita	2	30.8	34.6	34.7	Fr-Ar	8.15	2.14	2.29		
Tanhuatío 52	20°18.695	102°18.409	Jitomate	2	62.2	17.8	20	Fr-Are	8.47	1.78	1.34		
Tanhuatío 81	20°16.936	102°17.606	Jitomate	4	36.2	31.8	32	Fr-Ar	7.6	2.75	1.88		
Tanhuatío 85	20°18.806	102°20.672	Jitomate <sup>z</sup>	4	18.2	49.8	32	Ar	7.63	2.28	1.34		
Tanhuatío 86	20°18.731	102°20.559	Jitomate	4	28.2	17.8	54	Fr-Li	8.16	1.35	0.67		
Tanhuatío 87	20°18.586	102°20.476	Jitomate	3	26.2	23.8	50	Fr-Li	8.49	1.4	2.29		
Yurécuaro 47	20°18.729	102°15.799	Jitomate	4	35.7	40.6	23.7	Ar	8	6.74	1.75		
Pajacuacán 64	20°10.224	102°37.996	Pepino	3	28.2	39.8	32	Fr-Ar	8.83	2.13	1.75		

SUP = Superficie muestreada (ha); pH = potencial de Hidrógeno; CE = Conductividad eléctrica (mmhos. cm<sup>-1</sup>); MO = Materia orgánica. Ar = Arcillosa; Fr = Franca; Fr-Ar = Franco arcillosa; Fr-Ar-Li = Franco arcillo limosa; Fr-Ar-Are = Franco arcillo arenosa; Are-Fr = Arena francosa; Fr-Are = Franco arenosa; Fr-Li = Franco limosa; LN = Latitud norte; LO = Longitud oeste.  
<sup>z</sup>Agallamiento asociado a *Meloidogyne* spp. y *Nacobbus aberrans*.

Cuadro 2. Número de juveniles J2 de *Nacobbus aberrans* y porcentaje de raíces agalladas en calabacita, jitomate, y pepino. Michoacán, México. Ciclo agrícola 2011.

Municipio	Cultivo	Porcentaje de raíces agalladas (%) <sup>x</sup>		Textura
		Juveniles J2 <sup>y</sup>	Juveniles J2 <sup>y</sup>	
Tanhuatío 42	Calabacita	13	2	Fr-Ar
Tanhuatío 52	Jitomate	15	2	Fr-Are
Tanhuatío 81	Jitomate	95	38	Fr-Ar
Tanhuatío 85	Jitomate	100 <sup>z</sup>	29	Ar
Tanhuatío 86	Jitomate	70	12	Fr-Li
Tanhuatío 87	Jitomate	40	7	Fr-Li
Yurécuaro 47	Jitomate	80	5	Fr-Ar
Pajacuacán 64	Pepino	10	3	Fr-Ar

<sup>x</sup>Porcentaje del promedio de raíces agalladas de 10 plantas, mediante conteo directo.

<sup>y</sup>Número de juveniles J2 en 100 cm<sup>3</sup> de suelo.

<sup>z</sup>Agallamiento asociado a *Meloidogyne* spp. y *Nacobbus aberrans*.

Ar = Arcillosa; Fr-Ar = Franco arcillosa; Fr-Are = Franco arenosa; Fr-Li = Franco limosa. Número de muestras = 6, excepto en Yurécuaro 47 y Pajacuacán 64 (n = 1)

Cuadro 3. Coeficientes de correlación y niveles de significancia de nueve variables descriptivas estimadas en 48 parcelas agrícolas en el noroeste de Michoacán, México. Ciclo agrícola 2011.

VARIABLES	Cultivo	Agalla	Juveniles	Arena	Arcilla	Limo	pH	CE	MO
Cultivo		-0.1408	-0.1410	-0.2188	0.1865	-0.0062	-0.3646	-0.1873	0.3504
Agalla			0.8386**	0.0143	-0.1051	0.1646	0.1907	0.2993*	-0.1716
Juveniles				-0.0029	-0.0643	0.1177	0.0953	0.1523	-0.0773
Arena					-0.8244**	-0.0206	0.1001	-0.0294	-0.3684*
Arcilla						-0.5489**	-0.1511	0.1465	0.3285*
Limo							0.1193	-0.2152	-0.0360
pH								0.1125	-0.3784
CE									-0.2034
MO									

Coeficientes de correlación de Pearson de 48 muestras:  $0.70 \leq r \leq 1.0$  representa correlación alta y  $0.30 \leq r < 0.70$  correlación media entre las variables involucradas. Nivel de significancia de la matriz de correlación de Pearson: \* =  $p < 0.05$  y \*\* =  $p < 0.001$ .  
 CE = Conductividad eléctrica; MO = Materia orgánica.

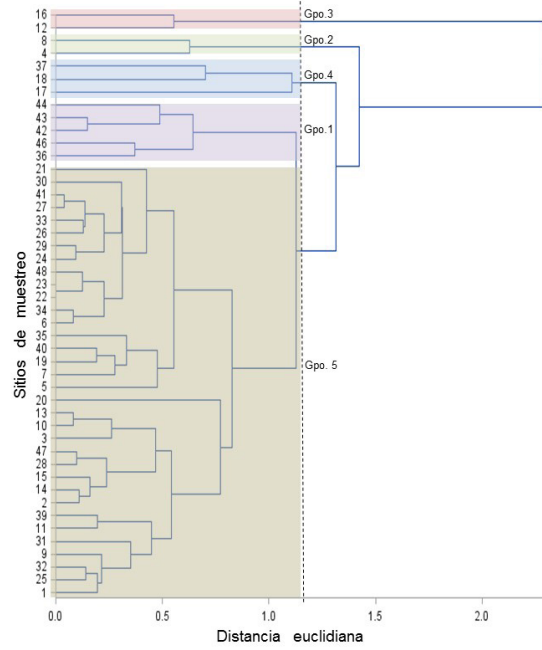


Fig. 1. Clasificación de los sitios de muestreo de un total de 16 municipios con base en 7 variables descriptivas, incluyendo presencia de juveniles J2 de *Nacobbus aberrans* y características físico-químicas del suelo. Los grupos se definieron a una distancia euclidiana de 1.5. Noroeste de Michoacán, México. Ciclo agrícola 2011.

*N. aberrans* y su asociación con las características físico-químicas del suelo

De las 48 parcelas agrícolas muestreadas en los 16 municipios del noroeste del estado de Michoacán, solamente ocho estuvieron infestadas con *N. aberrans*, y de éstas siete se presentaron en suelos con una proporción de arcilla-limo mayor al 63%. Particularmente, una población se encontró en suelos que contenían más del 62% de arena, cinco en suelos con porcentajes de arcilla del 31-49% y dos en suelos con más del 50% de limo (Cuadro 1).

Siete de las ocho poblaciones se encontraron en suelos medianamente alcalinos con 38 juveniles J2 y causando el mayor porcentaje de agallamiento en el sistema radical de los cultivos. El contenido de MO en las parcelas infestadas estuvo en el rango de 0.7 a 2.3, en las cuales cinco poblaciones se presentaron entre el 1.3-1.7%. Tres poblaciones se encontraron en suelos ligeramente salinos (1.1-2.0 mmhos.cm-

1), cuatro en suelos moderadamente salinos (2.1-4.0 mmhos.cm<sup>-1</sup>) y una en suelo salino (4.1-8.0 mmhos.cm<sup>-1</sup>). El mayor porcentaje de raíces agalladas y las poblaciones más altas ocurrieron principalmente en suelos con condiciones de salinidad moderada y en suelos con proporción de arcilla del 31-49%.

*Clasificación de los sitios de muestreo*

En los sitios analizados, el porcentaje de agallamiento y el número de juveniles de *N. aberrans* tuvieron una correlación positiva de 0.84 ( $P < 0.0001$ ) y no hubo correlación con las variables edáficas (Cuadro 3). El contenido de arena se asoció negativamente (-0.82) con la proporción de arcilla ( $P < 0.0001$ ), la cual también se correlacionó negativamente (-0.55) con el contenido de limo ( $P < 0.0001$ ).

A partir del análisis de componentes principales se seleccionaron cuatro componentes que explican en total el 80.95% de la varianza (27.51, 21.28, 18.25 y

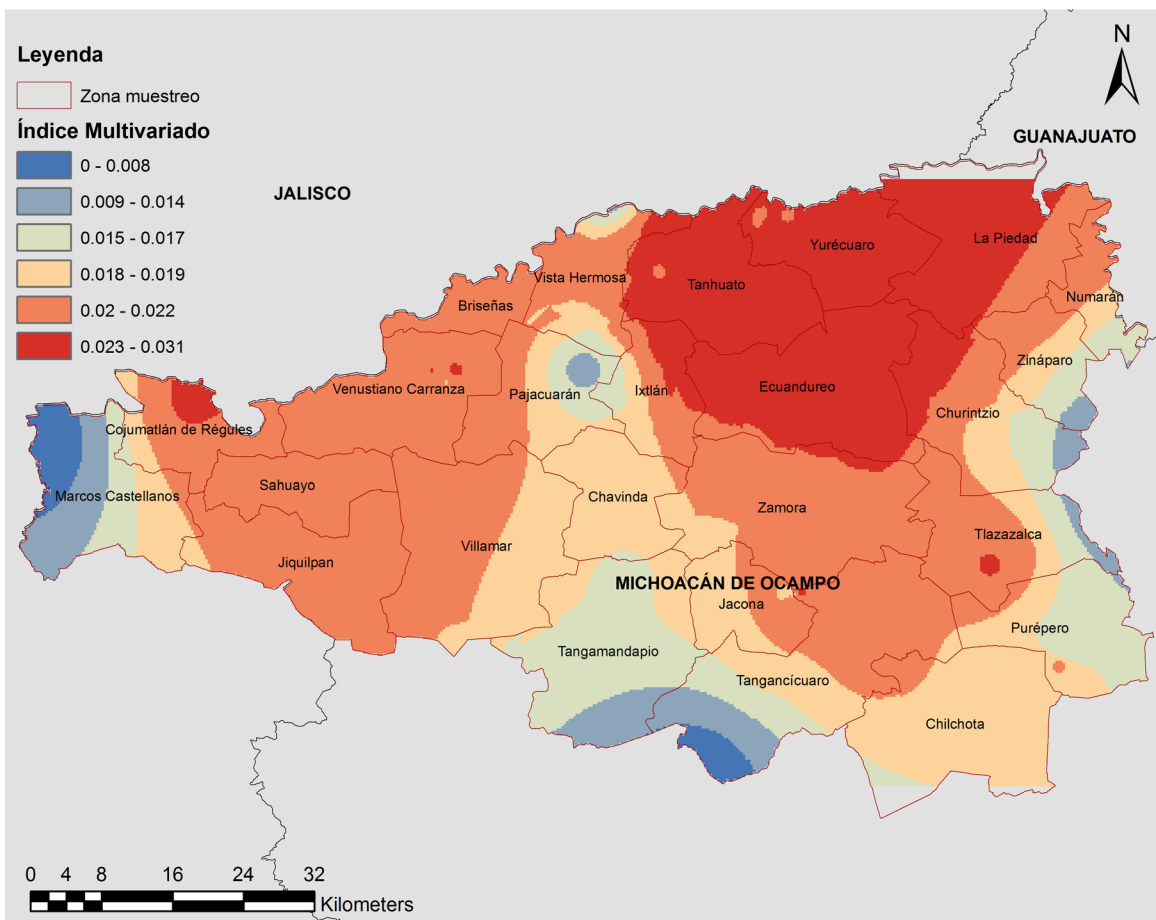


Fig. 2. Mapa interpolativo del inverso de la distancia del índice multivariado asociado a tres factores principales concomitantes a 7 variables físico-químicas del suelo y a la presencia de juveniles J2 de *Nacobbus aberrans*. La escala a color denota el potencial de ocurrencia o nivel de riesgo del nematodo en el estado; color rojo indica mayor nivel de riesgo. Noroeste de Michoacán, México. Ciclo agrícola 2011.

13.91%). Las variables asociadas a estos componentes fueron MO, limo, arena y juveniles J2 con distinto peso según el componente. Con estos componentes se generaron cinco grupos (Fig. 1). *N. aberrans*, se presentó en cuatro de los cinco grupos.

El grupo uno, no tuvo poblaciones de *N. aberrans*, y estuvo conformado por las parcelas de Purépero 70, Jacona 76, Tangamandapio, Chavinda 78 e Ixtlán; se caracterizó por presentar suelos con textura arcillosa (>55% de arcilla), pH fuertemente ácido a medianamente alcalino (4.58-7.06), contenido medio a alto de MO (2.02-4.71%) y suelos no salinos a moderadamente salinos (0.6-3.25 mmhos.cm<sup>-1</sup>). En el grupo dos se presentaron dos poblaciones de *N. aberrans*, y lo constituyeron las parcelas de Tanhuato 81 y Tanhuato 85, caracterizadas por presentar suelos de textura arcillosa y franco arcillosa (> 31% de arcilla), medianamente alcalinos (7.6-7.63), contenido bajo a medio de MO (1.34-1.88%), y moderadamente salinos (2.28-2.75 mmhos.cm<sup>-1</sup>). El grupo tres tuvo una población del nematodo y lo constituyeron las parcelas de Tanhuato 45 y Tanhuato 52. Los suelos fueron de textura franco arenosa (< 17% de arcilla y > 60% de arena), con pH neutro a medianamente alcalino (6.92-8.47), bajo contenido de MO (0.67-1.34%) y baja CE (0.93-1.78 mmhos.cm<sup>-1</sup>). El grupo cuatro, con dos poblaciones, estuvo definido por las parcelas Tanhuato 86, Tanhuato 87 y Purépero 71; se caracterizó por presentar suelos con textura franco limosa a franco arcillosa (> 46% de limo), pH fuertemente ácido y medianamente alcalino (4.96-8.49), con bajo a medio contenido de MO (0.67-3.36%), y CE baja (0.95-1.4 mmhos.cm<sup>-1</sup>). En el grupo cinco se encontraron tres poblaciones del patógeno, y lo integraron el mayor número de parcelas (33) con suelos de textura arcillosa, franca, franco arcillosa, franco limosa y franco arenosa (7.8-71.8% de arcilla y 10.2-68.2% de arena), pH fuertemente ácido a fuertemente alcalino (4.71-9.26), contenido bajo a alto de MO (1.34-3.36%), y suelos no salinos a salinos (0.90-6.74 mmhos.cm<sup>-1</sup>) (Fig. 1).

#### *Mapas interpolativos del potencial de ocurrencia de N. aberrans*

Los valores del índice multivariado se generaron con tres factores (Factor 1 - Factor 3), los cuales explicaron el 32.91, 27.48 y el 22.31% de la varianza total, respectivamente. El mapa interpolativo mostró la región de Tanhuato y Yurécuaro como la más inductiva a la ocurrencia de *N. aberrans*, con siete poblaciones, debido a las condiciones físico-químicas del suelo, y al sistema productivo hortícola (Fig. 2). Una segunda región de riesgo, contigua a la región de mayor inductividad, incluye la mayoría de los municipios, donde se detectó una población del nematodo (Pajacuarán 64); sin embargo, posee condiciones físico-químicas de suelo inductivas. Los municipios con menor potencial a la ocurrencia del nematodo incluyen Chavinda, Jacona,

Tangamandapio, Tangancicuaro, Marcos Castellanos, Chilchota y Purépero (Fig. 2).

## DISCUSIÓN

Las características morfológicas de los juveniles y las hembras adultas de los nematodos recolectados en el noroeste de Michoacán correspondieron a *N. aberrans sensu* Sher. Las hembras maduras recolectadas en Tanhuato 85 fueron más alargadas y delgadas en comparación con el resto de las poblaciones.

Las plantas de jitomate, pepino y calabacita infectadas con *N. aberrans* presentaron síntomas típicos a los inducidos por nematodos agalladores (OEPP/EPPO, 2009), con algunas diferencias en severidad posiblemente determinadas por el nivel poblacional del nematodo y por la especie vegetal cultivada (Cid del Prado, 1993).

Los daños más severos se presentaron en plantas de jitomate encontradas en los sitios de muestreo Tanhuato 81, 85 y 86, y en Yurécuaro 47.

De manera contrastante, y aun cuando las plantas de jitomate de Tanhuato 85 estuvieron coinfectadas con *M. incognita*, las agallas inducidas por *N. aberrans* fueron más alargadas y con al menos dos hembras. Estas observaciones concuerdan con lo demostrado por Inserra *et al.* (1984) al inocular *Heterodera schachtii*, *M. hapla* y *N. aberrans*, individualmente y en combinación, en plántulas de remolacha.

De acuerdo con Manzanilla-López *et al.*, (2002) y Bravo-Baldeón (1977), los cultivares de una misma especie vegetal pueden reaccionar de manera diferente a una población de una especie de nematodos, y las poblaciones de nematodos de una misma región geográfica pueden diferir en hospedantes y preferencia de cultivares, provocando más daño en algunos hospedantes que otros; por lo que es posible que las diferencias en el tamaño de las agallas y en el número de hembras presentes por agalla en los cultivos evaluados se hayan debido a que los hospedantes correspondieron a diferentes especies y genotipos, y a que las poblaciones de *N. aberrans* y las condiciones edafoclimáticas no fueron las mismas.

El primer registro de *N. aberrans* en el estado de Michoacán fue en 1992, en el municipio de Yurécuaro, asociado al cultivo de jitomate (Montes-Belmont, 2000). En esta investigación, se encontró en Yurécuaro, Tanhuato y Pajacuarán (18.75% de los municipios evaluados), afectando calabacita, pepino y jitomate. Es claro que se mantiene la presencia del nematodo en Michoacán, pero con distribución restringida. Sin embargo, este estudio se enfocó a las principales regiones hortícolas, por lo que no se descarta infestación en otros municipios.

Con relación a las características físico-químicas del suelo, las poblaciones de *N. aberrans* se encontraron en suelos de textura fina (arcillosa) y media (franco arcillosa, franco arenosa y franco limosa), con contenido bajo a medio de MO, proporción de limo



del 20-54% y 17-49% de arcilla.

De acuerdo con Barker y Weeks (1991), el suelo puede tener un efecto ligero a moderado en la reproducción de nematodos agalladores; sin embargo, la proporción de arena, limo y arcilla del suelo en las áreas de estudio parece no ser una determinante importante en la movilidad, desarrollo, reproducción y patogenicidad de *N. aberrans*, como ocurre con especies de *Meloidogyne*, donde la predominancia de microporos con niveles bajos de oxígeno afectan el metabolismo, movimiento y patogenicidad de los juveniles (Shane y Barker, 1986; Guzmán-Plazola et al., 2006, 2008), generando también un efecto negativo sobre el crecimiento y reproducción de las hembras de *M. incognita* (Shane y Barker, 1986; Barker y Weeks, 1991; Koening et al., 1996). De manera contraria, la reproducción de las hembras de *Rotylenchulus reniformis* es favorecida por niveles moderados de limo más arcilla (28%) (Koening et al., 1996) y comúnmente se encuentra en suelos de textura fina (Starr et al., 1993). Lo anterior, sugiere que *N. aberrans* posee una amplia adaptación a diferentes tipos de suelo, lo que posiblemente le confieren una mayor ventaja competitiva sobre *M. incognita*, ya que aparentemente *N. aberrans* puede desarrollarse y reproducirse en niveles más altos de limo y arcilla, pero se requiere de estudios posteriores para corroborar esta hipótesis.

La presencia de *N. aberrans* en Michoacán se asoció principalmente a suelos con contenido bajo a medio de materia orgánica, coincidiendo con lo reportado por Costilla (1985) y Manzanilla-López et al., (2002). Dicha asociación probablemente se deba a que estos suelos presentan una menor densidad de microorganismos supresivos (parásitos y/o depredadores) a fitonematodos (Muller y Gooch, 1982), lo que favorece su distribución, desarrollo y reproducción.

Tomando en cuenta lo anterior, una práctica recomendable para el manejo de fitonematodos es la incorporación de materia orgánica, lo cual, de acuerdo con Rodríguez-Kábana (1991) y Cristóbal-Alejo et al., (2006), estimula cierto grado de tolerancia en las plantas y favorece la liberación de compuestos nematocidas o nemastáticos, así como la aparición e incremento de organismos antagonistas del nematodo.

Los mapas interpolativos mostraron que las zonas hortícolas presentaron diferentes grados de riesgo a la ocurrencia de *N. aberrans*, de manera análoga a lo que se ha demostrado con otros patosistemas con nematodos (Farias et al., 2002; Guzmán-Plazola et al., 2006, 2008; Dinardo-Miranda y Vilela, 2009). Las zonas agrícolas intensivas tuvieron índices muy elevados, contrario a las zonas de agricultura de temporal. En esta región predomina el cultivo de jitomate, frecuentemente reportado infectado con *N. aberrans* (Manzanilla et al., 2002; Cristóbal-Alejo et al., 2006; Guzmán-Plazola et al., 2006). La agricultura es predominantemente de riego (riego por gravedad) y la maquila de tierras es

una actividad común, lo cual incrementa los riesgos de diseminación de este nematodo dentro de la región y hacia regiones vecinas. La segunda región de riesgo tuvo una mayor diversidad de cultivos raramente reportados como hospedantes de este nematodo (e.g., brócoli, chícharo, frijol y pepino). En el resto de regiones integradas espacialmente en condición de bajo riesgo, no se descarta la eventual ocurrencia de *N. aberrans*, ya que los agricultores cuentan con pequeñas superficies de terreno y rentan maquinaria agrícola. Sin embargo, las condiciones edáficas aparentemente son menos inductivas. Adicionalmente, no existen prácticas de manejo dirigidas a este tipo de patógenos, debido posiblemente a su baja ocurrencia; sin embargo, debido a la predisposición diferencial a la infestación de *N. aberrans*, es deseable aplicar estrategias preventivas como evitar el movimiento de plantas infectadas, capacitación para el uso correcto de la maquinaria agrícola y la inducción de agricultura protegida. Se pretende evitar el efecto de *N. aberrans*, ya que en regiones altamente infestadas los impactos productivos llegan a ser del 83% y su control es altamente complejo (Cristóbal-Alejo et al., 2006). Los municipios Tanhuato y Yurécuaro representan el mayor riesgo por lo que es prioritario el desarrollo de estrategias de manejo regionales que permitan mantener la productividad con bajos niveles poblacionales de *N. aberrans*; ésto implicaría un manejo regional de precisión, como se ha sugerido para otros nematodos (Farias et al., 2002).

En la región noreste de Michoacán, *N. aberrans* se encontró restringido en tres de los 16 municipios con producción hortícola. Los cultivos afectados fueron calabacita, pepino y jitomate, este último con mayor frecuencia y porcentaje de agallamiento (15-100%).

El análisis de componentes principales de las variables físico-químicas del suelo y de la ocurrencia del nematodo discriminó entres suelos no favorables y favorables a la infestación de este patógeno predominando Tanhuato y Yurécuaro.

Diez municipios se categorizaron con un potencial medio para la ocurrencia de *N. aberrans*. Los mapas interpolativos del potencial de ocurrencia de este nematodo pueden contribuir a la toma de decisiones para la implementación de programas de manejo integrado.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo otorgado para la realización de esta investigación a través de la beca No. 206249 y por los fondos de investigación al Colegio de Postgraduados. Igualmente, se agradece al Centro Regional Universitario Centro-Occidente de la Universidad Autónoma Chapingo por el apoyo técnico y logístico.

## LITERATURA CITADA

- Barker, K. R., and W. W. Weeks. 1991. Relationships between soil and levels of *Meloidogyne incognita* and tobacco yield and quality. *Journal of Nematology* 23:82-90.
- Bravo-Baldeon, J. 1977. Diferenciación patogénica de *Nacobbus* spp. de dos procedencias (Puno y Valle del Mantaro) en dos hospederos. *Nematropica* 7:3.
- Brunner de Magar, P. 1967. "Jicamilla" del Chile causado por un nuevo nematodo y obtención de fuentes de resistencia. *Agrociencia* 1:76-91.
- Castellanos, J. Z., B. J. X. Uvalle, y S. A. Aguilar. 2000. Manual de interpretación de suelos y aguas. 2ª ed. Colección INCAPA. México, D.F.
- Cid del Prado, V. I. 1993. Variación morfológica y prueba de hospedantes a poblaciones mexicanas de *Nacobbus aberrans*. *Nematropica* 23:113.
- Cobb, N. A. 1918. Estimating the nema population of the soil. USDA Agricultural Technology Circular I. Bureau of Plant Industry, Office of Technology. US Department of Agriculture.
- Costilla, M. A. 1985. El falso nematodo del nudo *Nacobbus aberrans* (Thorne, 1935) Thorne y Allen, 1944 y su relación con el cultivo de papa en el noreste argentino. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán* 62:79-97.
- Cristóbal-Alejo, J., G. Mora-Aguilera, R. H. Manzanilla-López, N. Marbán-Mendoza, P. Sánchez-García, I. Cid del Prado Vera, and K. Evans. 2006. Epidemiology and integrated control of *Nacobbus aberrans* on tomato in Mexico. *Nematology* 8:727-737.
- Dinardo-Miranda L. L., and J. Vilela. 2009. Spatial distribution of plant parasitic nematodes in sugarcane fields. *Scientia Agrícola* 66:188-194.
- ESRI, 2003. ArcGIS 9: Using ArcGIS Geostatistical Analyst. ESRI Press, Redlands, CA.
- Farias, P. R. S., X. Sanchez-Vila, J. C. Barbosa, S. R. Vieira, L. C. C. B. Ferraz, and J. Solís-Delfín. 2002. Using geostatistical analysis to evaluate the presence of *Rotylenchus reniformis* in cotton crops in Brazil: Economical implications. *Journal of Nematology* 34:232-238.
- Ferris, H. 1999. *Nacobbus aberrans*. University of California. UC Davis, California. Online: <http://plpnemweb.ucdavis.edu>. Consultada el 12 de marzo de 2011.
- Guzmán-Plazola, R. A., B. Hernández-Flores, F. Franco-Navarro, y M. Cadena-Hinojosa. 2008. Nematodos agalladores en la Vega de Metztlán, Hidalgo: Identificación, distribución espacial y relación con factores edáficos. *Nematropica* 38:47-61.
- Guzmán-Plazola, R. A., N. J. Jaraba, E. Caswell-Chen, E. Zavaleta-Mejía, and I. Cid del Prado-Vera. 2006. Spatial distribution of *Meloidogyne* species and races in the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) producing region of Morelos, Mexico. *Nematropica* 36:215-229.
- Hawkins, D. M., and L. P. Fatti. 1984. Exploring multivariate data using the minor principal components. *Statistician* 33:325-338.
- Inserra, N. R., G. D. Griffin, N. Vovlas, J. L. Anderson, and E. D. Kerr. 1984. Relationship between *Heterodera schachtii*, *Meloidogyne hapla*, and *Nacobbus aberrans* on Sugar beet. *Journal of Nematology* 16:135-140.
- Jolliffe, I. T. 2002. Principal component analysis. 2nd edition. Springer. Series in Statistics. New York, USA: Springer-Verlag.
- 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* 28:527-536.
- Manzanilla-López, R. H., M. A. Costilla, M. Doucet, J. Franco, R. N. Inserra, P. S. Lehman, I. V. Cid Del Prado, R. M. Souza, and K. Evans. 2002. The genus *Nacobbus* Thorne and Allen, 1944 (Nematoda: Pratylenchidae): systematics, distribution, biology and management. *Nematropica* 32:149-227.
- Montes-Belmont, R. 2000. Nematología Vegetal en México. Investigación documental. Sociedad Mexicana de Fitopatología. Cd. Obregón, Sonora, México.
- Mora-Aguilera, G. and C. L. Campbell. 1997. Multivariate techniques for selection of epidemiological variables. Pp 51-58 in L. Franci and D. A. Neher (eds.), Exercises in plant disease epidemiology. St. Paul, MN: American Phytopathological Society.
- Mora-Aguilera, G., D. Nieto-Angel, C. L. Campbell, D. Téliz, and E. García. 1996. Multivariate comparison of papaya ringspot epidemics. *Phytopathology* 86:70-78.
- Mora-Aguilera, G., G. Acevedo-Sánchez, J. Flores-Sánchez, R. González-Gomez, and P. Robles-García. 2013. Applied epidemiology to plant disease risk analyses. Pp. 27-29 in Proceedings IV Brazilian Workshop of Plant Disease Epidemiology. Curitiba, Brasil. Dec. 2-4.
- Muller, R., and P. S. Gooch. 1982. Organic amendments in nematode control: an examination of the literature. *Nematropica* 12:319-326.
- OEPP/EPPO. 2009. *Nacobbus aberrans* sensu lato. Bulletin OEPP/EPPO. PM 7/5 (2). Bulletin 39:376-381.
- Rodríguez-Kábana, R. 1991. Control biológico de nematodos parásitos de plantas. *Nematropica* 21:111-122.
- SAS Institute Inc. 2011a. The PRINCOMP Procedure. Pp. 6057-6106 in SAS/STAT®9.3 User's Guide. Cary, NC, USA.
- SAS Institute Inc. 2011b. The CLUSTER Procedure. P p. 1820-1908 in SAS/STAT®9.3 User's Guide.

- Cary, NC, USA.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación, Segunda Sección. Publicado el 23 de abril de 2003.
- 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* 18:320-327.
- Sher, S. A. 1970. Revision of the Genus *Nacobbus* Thorne and Allen, 1944 (Nematoda: Tylenchoidea). *Journal on Nematology* 2:228-235.
- Sosa-Moss, C., y V. Muñoz, G. 1973. Respuesta de dos variedades de tomate (*L. esculentum* Mill.) a siete niveles de población de *Nacobbus serendipiticus* (Nematoda: Nacobbidae). *Nematropica* 3:16-17.
- Starr, J. L., C. M. Heald, A. F. Robinson, R. G. Smith, and J. P. Krausz. 1993. *Meloidogyne incognita* and *Rotylenchulus reniformis* and associated soil textures from some cotton production areas of Texas. Supplement to *Journal of Nematology* 25:895-899.
- Tarjan, A. C. 1971. Migration of three pathogenic citrus nematodes through two Florida citrus soils. *Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings* 31:253-255.
- USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos). 1999. Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. Departamento de Agricultura-Instituto de Calidad de suelos. USA Pp. 305-311 in *Proceedings of the Beltwide Cotton Conferences*, 4-7 January, 2007; New Orleans, LA. Cordova, TN: National Cotton Council.
- Pettigrew, W. T., W. R. Meredith, Jr., and L. D. Ypung. 2005. Potassium fertilization effects on cotton lint yield, yield components, and reniform nematode populations. *Agronomy Journal* 97:1245-1251.
- Robinson, A. F., R. N. Inserra, E. P. Caswell-Chen, N. Vovlas, and A. Troccoli. 1997. *Rotylenchulus* species: Identification, distribution, host ranges, and crop resistance. *Nematropica* 27:127-180.
- Rodriguez-Kabana, R., and P. S. King. 1980. Use of mixtures of urea and blackstrap molasses for control of root-knot nematodes in soil. *Nematropica* 10:38-44.
- Smith, G. S., and D. T. Kaplan. 1988. Influence of mycorrhizal fungus, phosphorus, and burrowing nematode interactions on growth of rough lemon citrus seedlings. *Journal of Nematology* 20:539-544.
- Waceke, J. W., S. W. Waudu, and R. Sikora. 2002. Effect of inorganic phosphatic fertilizers on the efficacy of an arbuscular mycorrhiza fungus against a root-knot nematode on pyrethrum. *International Journal of Pest Management* 48:307-313.
- Wolcott, M., E. Burris, E. C. McGawley, C. Overstreet, and B. Padgett. 2008. Site-specific nematode management - nutrient and texture dynamics. Pp. 210-218 in *Proceedings of the Beltwide Cotton Conferences*, Nashville, TN, 8-11 January 2008. Memphis, TN: National Cotton Council.
- Yin, X., O. Gwathmey, C. Main and A. Jonson. 2011. Effects of sulfur application rates and foliar zinc fertilization on cotton lint yields and quality. *Agronomy Journal* 103:1794-1803.

---

Received:

31/VII/2013

Accepted for publication:

21/III/2014

Recibido:

Aceptado para publicación: