

CONTROL DE *NACOBBUS ABERRANS* EN CHILE ANCHO (*CAPSICUM ANNUUM* L.) MEDIANTE EL USO COMBINADO DE ENMIENDAS ORGÁNICAS, HONGOS NEMATÓFAGOS Y NEMATICIDAS

I. Pérez-Rodríguez; F. Franco-Navarro*; I. Cid del Prado-Vera¹; E. Zavaleta-Mejía

Programa de Fitopatología, Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. Montecillo, Estado de México, C. P. 56230. MEXICO. *Correspondencia: ffranco@colpos.mx

ABSTRACT

Pérez-Rodríguez, I., F. Franco-Navarro, I. Cid del Prado-Vera, E. Zavaleta-Mejía. 2010. Control of *Nacobbus aberrans* in chili pepper (*Capsicum annuum* L.) by the combination of organic amendments, nematophagous fungi and nematicides. *Nematropica* 41:122-129.

Four tactics, alone or in combination were tested against *Nacobbus aberrans* on chili pepper (*Capsicum annuum* L.) in greenhouse conditions: a) Carbofuran, b) incorporation of vermicompost, c) incorporation of cabbage fragments, and d) inoculation of the nematophagous fungus, *Pochonia chlamydosporia* var. *chlamydosporia*. Treatments showing the best results in the greenhouse test were tested in field conditions. In the greenhouse experiment, the incorporation either of vermicompost alone or combined with other tactics reduced the numbers of juveniles (J_3 and J_4) and mature females g^{-1} roots, as well as the gall index, and increased the dry top weight of plants (Tukey, $P = 0.05$) as compared to those treatments without vermicompost. In the field, at 100 days after planting (dap) the incorporation of cabbage fragments or vermicompost, the inoculation of the fungus, as well as the combination of cabbage fragments+vermicompost, increased the foliage dry weight by 57%, 60%, 65% and 62%, respectively, and reduced the gall indices by 48%, 50%, 75% and 69%, respectively, in comparison with absolute control. At 60, 80 and 100 dap, the number of juveniles and mature females g^{-1} roots were significantly lower (Tukey, $P = 0.05$) in the same treatments as compared to the control. Colonization of the eggs masses by *Pochonia chlamydosporia* var. *chlamydosporia* was 23% at 60 dap, 27% at 80 dap and 23% at 100 dap. Higher yield of chili pepper was obtained in the fungus+vermicompost (793 kg ha⁻¹), vermicompost+cabbage fragments (778 kg ha⁻¹) and vermicompost alone (733 kg ha⁻¹) treatments.

Key words: Carbofuran, cruciferous, false root-knot nematode, *Pochonia chlamydosporia*, vermicompost.

RESUMEN

Pérez-Rodríguez, I., F. Franco-Navarro, I. Cid del Prado-Vera, E. Zavaleta-Mejía. 2011. Control de *Nacobbus aberrans* en chile ancho (*Capsicum annuum* L.) mediante el uso combinado de enmiendas orgánicas, hongos nematófagos y nematicidas. *Nematropica* 41:122-129.

En condiciones de invernadero se probaron por separado y en combinación, cuatro tácticas de control contra *Nacobbus aberrans* en chile ancho (*Capsicum annuum* L.): a) Carbofuran, b) incorporación de vermicomposta, c) incorporación de fragmentos de col, y d) inoculación del hongo nematófago, *Pochonia chlamydosporia* var. *chlamydosporia*. De los resultados obtenidos se seleccionaron los mejores tratamientos y se aplicaron en campo. En invernadero, las plantas a las que se les incorporó vermicomposta sola o en combinación con cualquier otra táctica, presentaron las menores poblaciones de juveniles (J_3 y J_4) y hembras maduras g^{-1} de raíz, así como mayor biomasa y menor índice de agallamiento (Tukey, $P = 0.05$) en comparación con los tratamientos sin vermicomposta. En campo, a los 100 días posteriores al trasplante (dpt), la incorporación sólo de fragmentos de col o de vermicomposta, la inoculación del hongo, así como la combinación de fragmentos de col+vermicomposta, incrementaron el peso seco de follaje en un 57%, 60%, 65% y 62%, y redujeron el índice de agallamiento en un 48%, 50%, 75% y 69%, respectivamente, comparados con el testigo absoluto. A los 60, 80 y 100 dpt, el número de juveniles y hembras maduras g^{-1} de raíces fueron significativamente menores (Tukey, $P = 0.05$) en los cuatro tratamientos mencionados comparados con el testigo. La colonización de masas de huevos por *Pochonia chlamydosporia* fue del 23% a los 60 dpt, 27% a los 80 dpt y 23% a los 100 dpt. Los mayores rendimientos de chile se obtuvieron con la aplicación del hongo+vermicomposta (793 kg ha⁻¹), vermicomposta+fragmentos de col (778 kg ha⁻¹) y sólo vermicomposta (733 kg ha⁻¹).

Palabras clave: Carbofuran, crucíferas, nematodo falso nodulador, *Pochonia chlamydosporia*, vermicomposta.

INTRODUCCIÓN

Nacobbus aberrans es un nematodo fitopatógeno muy importante en México, debido a las pérdidas que ocasiona principalmente en hortalizas como chile (*Capsicum annuum* L.), tomate (*Solanum lycopersicon* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) (Manzanilla *et al.*, 2002; Flores-Camacho *et al.*, 2008). De las diferentes estrategias utilizadas en el control de nematodos, la aplicación de nematicidas es la más frecuente por su rápido efecto y mayor difusión en la agricultura convencional; no obstante, su uso conlleva un costo elevado tanto económico como ambiental y social. En la actualidad, la tendencia en el control de éste y otros nematodos fitopatógenos es no depender solamente del control químico sino contar con tácticas que lo complementen, de ahí que la integración de diferentes tácticas de control se plantea como la alternativa. Para reducir los daños en las plantas y la consecuente pérdida en producción de las mismas por el nematodo falso nodulador, los intentos para integrar diferentes métodos de control han sido escasos (Yáñez-Juárez *et al.*, 2001), y generalmente se ha recurrido a tácticas de manera aislada como el uso de variedades resistentes, el control físico mediante la solarización del suelo, el control cultural a través del acolchado o la aplicación de enmiendas orgánicas, así como el uso de microorganismos antagonistas (Franco-Navarro *et al.*, 2002; Manzanilla-López *et al.*, 2002; Franco-Navarro *et al.* 2006; Pérez-Rodríguez *et al.*, 2007; Flores-Camacho *et al.*, 2008; Villa-Briones *et al.*, 2008). Sin embargo, a pesar de que algunas de estas tácticas han mostrado ser eficaces para el control de este nematodo por sí solas, se plantea la suma de varias de ellas en un esquema integrado, como la alternativa más viable en el mediano y largo plazo. Por lo anterior, en el presente trabajo se evaluaron varias tácticas de control por separado y combinadas en condiciones de invernadero y de campo, con el fin de definir el mejor esquema de control que ayude a reducir pérdidas de producción por el nematodo en chile ancho (*Capsicum annuum* L.).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ensayo en invernadero. Se evaluaron las siguientes tácticas de control: a) aplicación de Carbofuran 48%, haciendo dos aplicaciones a dosis de 4 L ha⁻¹ cada una, b) incorporación de vermicomposta a dosis de 15 T ha⁻¹, c) incorporación de fragmentos de col (*Brassica oleracea* L.) a dosis de 11.3 T ha⁻¹) y d) inoculación de 15000 clamidosporas g⁻¹ de suelo de un aislamiento mexicano del hongo nematófago *Pochonia chlamydosporia* var. *chlamydosporia*, y utilizando vermicomposta como vehículo de aplicación. Cada táctica se aplicó de manera independiente y en combinación, dando lugar a un total de 13 tratamientos más un testigo absoluto (suelo sólo con el nematodo) (Cuadro 1). Cabe mencionar que dos tratamientos no fueron evaluados, la inoculación sólo

del hongo y la inoculación de éste en combinación con vermicomposta. Se prescindió de ambos tratamientos, debido a que el hongo no suele aplicarse solo al suelo y requiere de un vehículo de aplicación para su eficacia como agente de control biológico (Atkins *et al.*, 2003; Kerry e Hidalgo-Díaz, 2004); por otro lado, la combinación de hongo+vermicomposta ha sido probado con anterioridad en este mismo patosistema y dicha información se utilizó como referente para su posterior selección (Hernández-Pérez, 2005; Franco-Navarro *et al.*, 2006, Franco-Navarro *et al.*, 2007; Pérez-Rodríguez *et al.*, 2007).

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño experimental completamente al azar; cada tratamiento constó de cinco repeticiones, teniendo un total de 70 unidades experimentales.

El suelo utilizado provino de un predio naturalmente infestado con *N. aberrans*, ubicado en terrenos experimentales del Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo y sembrado previamente con chile; este sitio se ubica a 19° 26' 60" lat N y 98° 54' 00" long O, a un altitud de 2254 msnm. El suelo una vez homogeneizado se repartió en macetas de plástico con capacidad de 1.6 kg, en cada una de las cuales se trasplantaron tres plantas de chile ancho cv. San Luis de cuatro semanas de edad como hospedante susceptible al nematodo.

Con el fin de que la aplicación de Carbofuran fuera más efectiva, se colocaron 18 macetas con suelo naturalmente infestado previo al experimento y dos plantas en cada una de ellas con el fin de monitorear en qué momento ocurría la reactivación de *N. aberrans*, dado su capacidad de entrar en diapausa en suelo en descanso (Cristóbal Alejo *et al.*, 2001). Se hicieron muestreos destructivos de plantas de chile cada 3 días después del trasplante, y se detectaron estadios infectivos activos (J₃ y J₄) en raíces y suelo 15 días posteriores al trasplante. En el experimento, el nematicida se aplicó al cuello de las plantas y la primera aplicación se hizo a los 15 días posteriores al trasplante; la segunda aplicación fue 15 días después para reforzar el efecto del mismo.

Las enmiendas orgánicas utilizadas fueron vermicomposta, a base de estiércol de cabra y producida en el Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo, así como fragmentos pequeños de col, ambas aplicadas al momento del trasplante. La dosis de vermicomposta fue de 15 T ha⁻¹, mientras que la dosis de fragmentos de col fue de 11.3 T ha⁻¹; esta dosis se estableció calculando la cantidad de residuos de cosecha que quedaría en un terreno sembrado con esta hortaliza no hospedante del nematodo, y que equivale aproximadamente a 0.25 kg de residuo por planta de col. Tanto la vermicomposta como los fragmentos de col se incorporaron al suelo mezclando cada enmienda con todo el suelo de la maceta.

El aislamiento de *P. c.* var. *chlamydosporia* registrado como SC1, ha sido probado con anterioridad y se aisló por primera vez de un suelo naturalmente infestado con *N. aberrans* (Flores-Camacho *et al.*, 2008;

Hernández-Pérez, 2005; Pérez-Rodríguez *et al.*, 2007; Romero-Tejeda, 2009), se propagó en maíz quebrado y se aplicó en los tratamientos correspondientes a una dosis de 15000 clamidosporas g^{-1} de suelo (Pérez-Rodríguez *et al.*, 2007). Todos los tratamientos, a excepción del nematicida, se aplicaron al momento del trasplante.

A los 50 días posteriores al trasplante, se evaluó el peso seco del follaje de las plantas y el índice de agallamiento. Para obtener el peso seco del follaje se cortó la parte aérea de cada planta, se colocaron en bolsas de papel debidamente etiquetadas dentro de una estufa a 40°C durante 72, y posteriormente se pesaron en una balanza. El índice de agallamiento se calculó mediante el cociente entre el número de agallas y el peso fresco de raíces con la finalidad de tener una medida más precisa del daño del nematodo en las raíces. También se contó el número de individuos de los estadios filiformes (J_3 y J_4), así como de hembras maduras g^{-1} de raíces haciendo licuado de éstas y disección de raíces teñidas con fucsina ácida, respectivamente (Pérez-Rodríguez, 2008). Finalmente, se cuantificaron las Unidades Formadoras de Colonias (UFC) del hongo tanto en raíces como en suelo al final del experimento, siguiendo el protocolo propuesto por Kerry (1997).

Ensayo en campo. El ensayo se estableció en un terreno naturalmente infestado con *N. aberrans* ubicado en campos experimentales del Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo, en el Estado de México; el terreno se preparó mediante un barbecho y rastreo doble cruzado con el fin de homogeneizar la distribución espacial del nematodo. Con base en los resultados obtenidos en invernadero, se seleccionaron los mejores tratamientos y se aplicaron con algunas modificaciones; los tratamientos evaluados en este ensayo fueron: 1) Testigo absoluto (parcelas experimentales con suelo infestado naturalmente con el nematodo) (TA); 2) Testigo químico (aplicando a los 15 y 30 días posteriores al trasplante, Carbofuran 48% en dosis de 4 L ha^{-1} cada una) (F); 3) Vermicomposta+aplicación del aislamiento mexicano de *P. c.* var. *chlamydosporia* a una concentración de 15000 clamidosporas g^{-1} de suelo una semana antes del trasplante (VP); 4) Vermicomposta al trasplante (V); 5) Vermicomposta+fragmentos de col al trasplante (VC); y 6) Fragmentos de col al trasplante (C). En todos los casos, las dosis de vermicomposta y de fragmentos de col fueron de 15 T ha^{-1} y 11.3 T ha^{-1} , respectivamente. Los tratamientos se distribuyeron en un diseño experimental de bloques al azar con seis repeticiones. Las unidades experimentales fueron parcelas de 4.3 x 3.2 m, cada una de las cuales consistió de tres surcos de 4 m de largo con distanciamiento de 0.9 m entre ellos; en cada parcela elemental (repetición) se trasplantaron aproximadamente 36 plantas, a una distancia de 30 cm entre cada una. Como hospedante susceptible, se trasplantaron plantas de chile ancho cv. San Luis. El nematicida se aplicó al cuello de las plantas, mientras que el resto de los tratamientos se aplicaron mediante

la incorporación e inoculación de las enmiendas y del hongo al suelo de cada surco, respectivamente.

Se realizaron cinco muestreos a lo largo del experimento, uno cada 20 días posteriores al trasplante (dpt); en cada muestreo se tomaron tres plantas y registró el peso seco del follaje, el índice de agallamiento, el número de individuos de los estadios filiformes J_3 y J_4 y el número de hembras maduras g^{-1} de raíces; el rendimiento se evaluó en el último muestreo (a los 100 dpt), realizando un solo corte y recolectando todos los frutos independientemente de su tamaño. Del hongo se monitorearon las UFC g^{-1} de suelo y de raíz, además del porcentaje de colonización de masas de huevos del nematodo siguiendo el protocolo propuesto por Kerry (1997) y modificado por Pérez-Rodríguez (2008).

Análisis estadístico. Con los datos obtenidos en invernadero y campo se realizaron análisis de varianza y cuando se detectó diferencias significativas entre tratamientos, se hizo la comparación de medias con la prueba de Tukey ($P = 0.05$). Para tal fin se utilizó el programa Statistical Analysis System® para Windows V8 (SAS, 1999).

RESULTADOS

Ensayo en invernadero. Hubo diferencias significativas ($P = 0.05$) entre tratamientos tanto en el peso seco de follaje como en el índice de agallamiento. En los tratamientos que incluyeron sólo vermicomposta (V), vermicomposta+fragmentos de col (VC) y vermicomposta+nematicida (VN), el peso seco del follaje fue 34%, 27% y 21% mayor que el de las plantas testigo absoluto, respectivamente. El índice de agallamiento se redujo en 65%, 49% y 46% con la aplicación de vermicomposta+nematicida+*P. c.* var. *chlamydosporia* (VNP), sólo vermicomposta (V) y vermicomposta+nematicida+fragmentos de col+*p. c.* var. *chlamydosporia* (VNCP), respectivamente (Cuadro 1). También aquéllos tratamientos en los que se aplicó vermicomposta sola o en combinación con otros tratamientos, fueron los que presentaron una reducción significativa ($P = 0.05$) en el número de juveniles g^{-1} de raíces; en promedio la reducción fue de 93% en comparación con las plantas del testigo. Asimismo, el número de hembras maduras g^{-1} de raíces fue significativamente menor ($P = 0.05$) en los tratamientos en los que se incorporó vermicomposta sola o en combinación (Cuadro 1).

Pochonia chlamydosporia var. *chlamydosporia* se reaisló tanto de suelo como de raíces en cada uno de los tratamientos donde fue aplicado; su densidad fue mayor en aquéllos en los que el hongo se combinó con vermicomposta en lugar de nematicida o fragmentos de col. El número de UFC en suelo fue mayor en el tratamiento donde se aplicó el hongo en combinación con ambas enmiendas orgánicas y el nematicida. Se reaisló un número mayor de UFC de las raíces que del suelo, y los valores más altos de colonias g^{-1} de raíces se observaron en las plantas a las que se les incorporó

Cuadro 1. Efecto de los tratamientos aplicados sobre plantas de chile ancho (*Capsicum annuum* L.) var. San Luis crecidas en suelo naturalmente infestado con *Nacobbus aberrans* en un invernadero 50 días después del trasplante.

Clave del tratamiento	Descripción	PSF ^a (g)	IA ^r	JUV ^s (g ⁻¹ raíz)	HM ^t (g ⁻¹ raíz)	UFCR ^u (g ⁻¹ raíz)	UFCS ^v (g ⁻¹ suelo)
V	Vermicomposta	5.0 d ^w	6.0 ab	20 a	7 ab	0 a	0 a
VN	Vermicomposta + Nematicida ^x	4.2 cd	7.5 b	3 a	5 a	0 a	0 a
VNP	Vermicomposta + Nematicida + Pochonia ^y	3.5 bc	4.0 a	8 a	6 ab	4700 c	600 b
VC	Vermicomposta + Fragmentos de col	4.5 cd	7.6 b	3 a	5 a	0 a	0 a
VCP	Vermicomposta + Fragmentos de col + Pochonia	3.8 bc	6.8 ab	8 a	6 ab	7000 c	1000 bc
VNC	Vermicomposta + Nematicida + Fragmentos de col	3.7 bc	6.6 ab	3 a	7 ab	0 a	0 a
VNCP	Vermicomposta + Nematicida + Fragmentos de col + Pochonia	2.9 ab	6.3 ab	3 a	5 a	10500 d	1400 c
TA	Testigo absoluto –suelo infestado con el nematodo–	3.2 bc	11.7 c	50 b	12 c	0 a	0 a
N	Nematicida	3.3 bc	7.9 b	13 a	8 b	0 a	0 a
NP	Nematicida + Pochonia	1.9 a	8.5 bc	8 a	7 ab	2600 b	550 b
C	Fragmentos de col	3.1 b	9.2 bc	10 a	7 ab	0 a	0 a
CP	Fragmentos de col + Pochonia	2.2 ab	8.6 bc	12 a	7 ab	3200 b	700 b
NC	Nematicida + Fragmentos de col	2.9 ab	8.1 b	10 a	7 ab	0 a	0 a
NCP	Nematicida + Fragmentos de col + Pochonia	2.5 ab	6.6 ab	10 a	6 ab	3700 bc	1100 bc
DMS ^z		0.5	1.7	10	0.9	1200	200

^aPeso Seco de Follaje.^rÍndice de agallamiento.^sJuveniles del tercer y cuarto estadios.^tHembras maduras.^uUnidades Formadoras de Colonias en Raíces.^vUnidades Formadoras de Colonias en Suelo.^wLos valores son el promedio de cinco repeticiones. En cada columna promedios con letras similares no son diferentes significativamente (Tukey $P = 0.05$).^xCarbofuran 48%^yAislamiento mexicano de *Pochonia chlamydosporia* var. *chlamydosporia*^zDiferencia Mínima Significativa

el hongo+vermicomposta+fragmentos de col, con o sin nematicida (Cuadro 1).

Ensayo en campo. El mayor índice de agallamiento se presentó en el tratamiento testigo a partir de los 40 dpt y hasta el final del experimento. Las aplicaciones del nematicida fueron relativamente efectivas al inicio del experimento, ya que el índice de agallamiento fue incrementando con el tiempo, principalmente a los 80 y 100 dpt. El daño en raíces fue de moderado a bajo donde se adicionó sólo vermicomposta o fragmentos de col, partir de los 60 dpt; cuando ambas enmiendas se combinaron (VC), y cuando se aplicó la vermicomposta con el hongo (VP), el índice de agallamiento a los 100 dpt se redujo en un 70% y 73%, respectivamente, en

comparación con el testigo (Fig. 1).

En relación al peso seco de follaje, las plantas de los tratamientos V, C, VC y VP presentaron los mayores valores a partir de los 60 dpt, condición que se mantuvo hasta el final del experimento (100 dpt). La aplicación del hongo junto con vermicomposta proporcionó una biomasa aproximadamente 65% mayor en comparación a las plantas del testigo e incluso a las que se les aplicó el nematicida a los 100 dpt (Fig. 2).

El número de J_3 y J_4 , y de hembras g⁻¹ de raíces fue significativamente mayor ($P = 0.05$) en las raíces del testigo y en los tratamientos con nematicida (Fig. 3). En todos los muestreos se observó que las plantas de los tratamientos VC y VP principalmente, presentaron

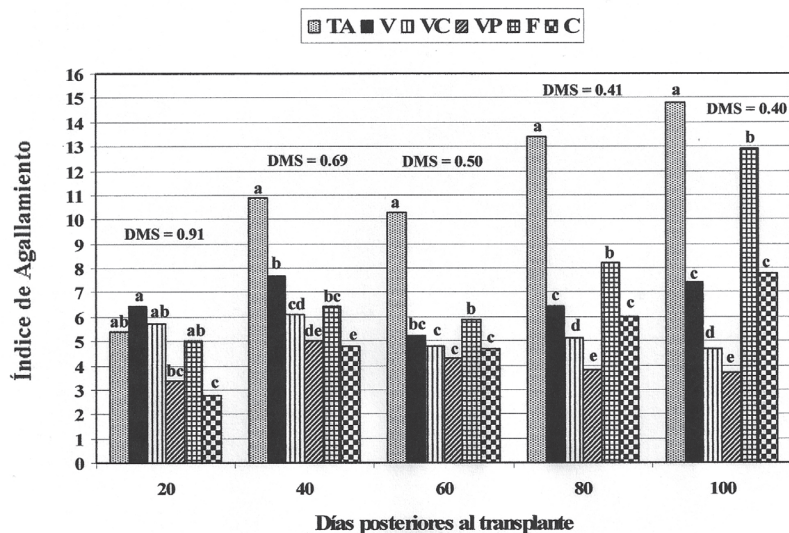


Fig. 1. Efecto de la aplicación de varios tratamientos sobre el índice de agallamiento inducido por *Nacobbus aberrans* en plantas de chile ancho (*Capsicum annuum* L.) cv. San Luis en condiciones de campo. Tratamientos: TA= Testigo Absoluto, V= Vermicomposta (15 T ha⁻¹), F= Carbofuran 48% (4 L ha⁻¹), C= Fragmentos de col (11.3 T ha⁻¹), P= *P. c. var. chlamydosporia* (15,000 clamidosporas g⁻¹ de suelo). Barras con la misma letra en la misma fecha son estadísticamente iguales (P = 0.05). DMS = Diferencia Mínima Significativa.

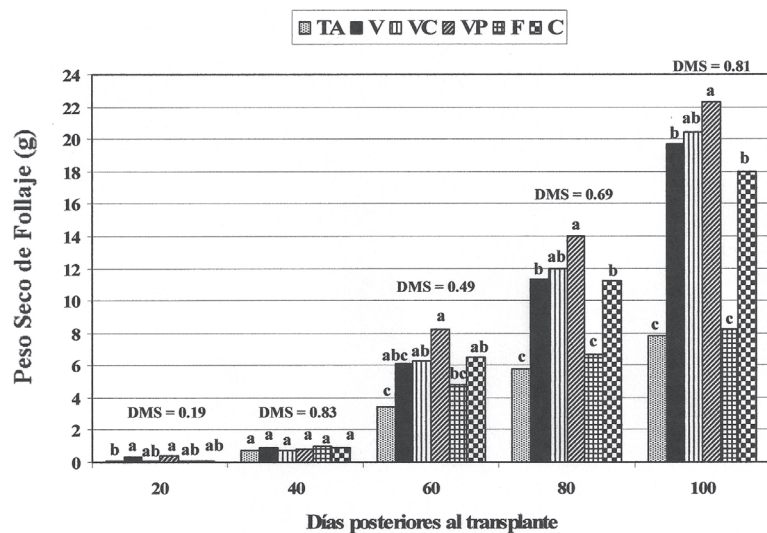


Fig. 2. Efecto de la aplicación de varios tratamientos sobre el peso seco de follaje de plantas de chile ancho (*Capsicum annuum* L.) cv. San Luis crecidas en suelo naturalmente infestado con *Nacobbus aberrans*. Tratamientos: TA = Testigo Absoluto, V = Vermicomposta (15 T ha⁻¹), F = Carbofuran 48% (4 L ha⁻¹), C = Fragmentos de col (11.3 T ha⁻¹), P = *p. c. var. chlamydosporia* (15,000 clamidosporas g⁻¹ de suelo). Barras con la misma letra en la misma fecha son estadísticamente iguales (P = 0.05). DMS = Diferencia Mínima Significativa.

una reducción promedio del 56% en el número de juveniles en la raíz en comparación con el testigo; aunque en menor grado, también en campo se observó la reducción de juveniles al aplicar sólo vermicomposta o fragmentos de col (Fig. 3). En comparación con las plantas del tratamiento testigo, la reducción de hembras maduras fue más acentuada a los 100 dpt en la raíz de plantas tratadas sólo con fragmentos de col, o la combinación de éstos con vermicomposta (26% y 25%, respectivamente) (Fig. 4).

El rendimiento fue significativamente mayor ($P = 0.05$) en los tratamientos V, VC y VP (733, 778 y 793 kg ha⁻¹, respectivamente) en comparación con el obtenido en las plantas a las cuales se les aplicó nematicida (239 kg ha⁻¹) y las del testigo absoluto (156 kg ha⁻¹); entre estos dos tratamientos no se presentaron diferencias significativas.

En el ensayo de campo, *P. c. var. chlamydosporia* se reaisló tanto de suelo como de raíces en la mayoría de las fechas de muestreo. En suelo, el mayor número de UFC se registró a los 60 y 80 dpt (233 y 230 UFC g⁻¹ de suelo, respectivamente), mientras que en raíces, el hongo se reaisló a los 40 dpt, pero la mayor cantidad de colonias (420 UFC g⁻¹ de raíz) se reaisló a los 80 dpt. En comparación con los resultados obtenidos en invernadero, la cantidad de UFC reaisladas fue menor en campo. La colonización de masas de huevos por el hongo se registró a los 60, 80 y 100 dpt, con un porcentaje de colonización del 23%, 27% y 23%, respectivamente.

DISCUSIÓN

En general, las plantas tratadas con la vermicomposta sola o en combinación con otras tácticas de control en la prueba en invernadero, presentaron mayor biomasa y menor daño en raíces, lo cual coincide con los resultados previamente reportados en plantas de tomate crecidas en

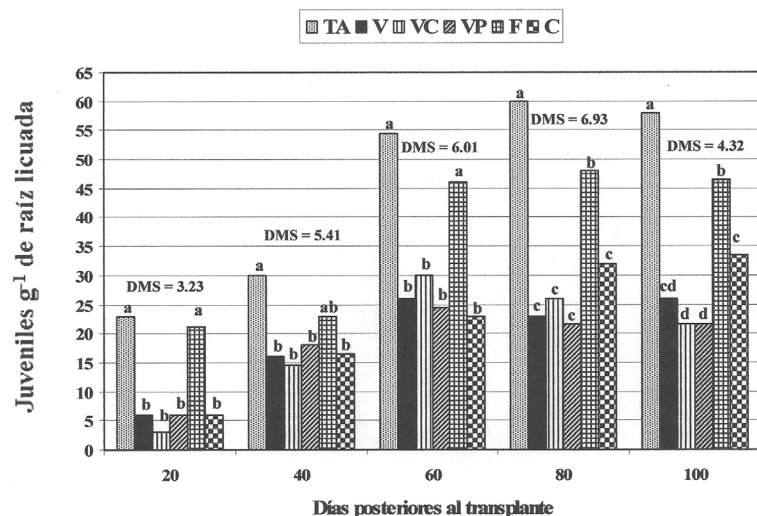


Fig. 3. Efecto de la aplicación de varios tratamientos sobre el número de Juveniles J_3 y J_4 en raíces licuadas de plantas de chile ancho (*Capsicum annuum* L.) cv. San Luis crecidas en suelo naturalmente infestado con *Nacobbus aberrans*. Tratamientos: TA = Testigo Absoluto, V= Vermicomposta (15 T ha^{-1}), F= Carbofuran 48% (4 L ha^{-1}), C= Fragmentos de col (11.3 T ha^{-1}), P= *P. c. var. chlamydosporia* ($15,000$ clamidosporas g^{-1} de suelo). Barras con la misma letra en la misma fecha son estadísticamente iguales ($P = 0.05$). DMS = Diferencia Mínima Significativa.

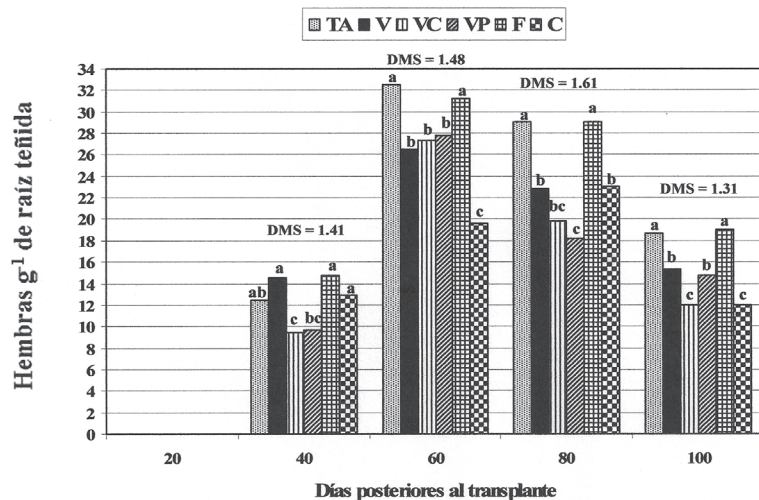


Fig. 4. Efecto de la aplicación de varios tratamientos sobre el número de Hembras Maduras en raíces teñidas de plantas de chile ancho (*Capsicum annuum* L.) cv. San Luis crecidas en suelo naturalmente infestado con *Nacobbus aberrans*. Tratamientos: TA= Testigo Absoluto, V= Vermicomposta (15 T ha^{-1}), F= Carbofuran 48% (4 L ha^{-1}), C= Fragmentos de col (11.3 T ha^{-1}), P= *P. c. var. chlamydosporia* ($15,000$ clamidosporas g^{-1} de suelo). Barras con la misma letra en la misma fecha son estadísticamente iguales ($P = 0.05$). DMS = Diferencia Mínima Significativa.

suelo infestado con *N. aberrans* y tratadas con vermicomposta (Zavaleta-Mejía *et al.*, 2004; Villa-Briones *et al.*, 2008). Asimismo, en los tratamientos donde se combinó la vermicomposta con cualquier otra táctica de control, la cantidad de juveniles y hembras g^{-1} de raíces fue menor en comparación con los tratamientos donde no se utilizó esta enmienda. En invernadero, aunque la integración de todas las tácticas redujo de manera significativa el índice de agallamiento y el número de nematodos dentro de la raíz, no se reflejó en un incremento de la biomasa de las plantas; de hecho, dicha biomasa fue menor a la registrada en las plantas del tratamiento testigo, aún a pesar de que éstas presentaron el mayor daño en raíces y el mayor número de nematodos dentro de ellas. Lo anterior pudiera deberse a que combinación de tácticas probablemente modificó las condiciones del suelo y las hizo menos favorables para el desarrollo de las plantas a pesar de que la suma de todas ellas pudo controlar eficazmente al nematodo y reducir el grado de agallamiento de las raíces.

Es interesante destacar que con la sola adición de vermicomposta al suelo se obtuvo el mayor incremento en el peso seco de follaje, aunque no resultó en la mayor reducción del índice de agallamiento, ni mucho menos en el menor número de juveniles dentro de las raíces. Si bien es cierto que la incorporación de enmiendas puede lograr reducciones considerables en las poblaciones de nematodos fitopatógenos (González y Canto, 1993; Riegel y Noe, 2000), el mayor beneficio son las modificaciones físicas, químicas y biológicas que ocurren en el suelo al ser utilizadas (Zavaleta-Mejía, 2007). Para Villa-Briones *et al.* (2008), las enmiendas por sí mismas pueden favorecer un mejor desarrollo del cultivo, independiente de que los nematodos fitopatógenos estén presentes o ausentes en suelo.

Aunque en el presente trabajo la vermicomposta por sí sola no redujo las poblaciones del nematodo en la misma magnitud como aquellos tratamientos donde se combinó con otras tácticas de control, esta enmienda pudo haber mejorado las condiciones del suelo para que las plantas se desarrollaran exitosamente aún en presencia de una elevada cantidad de individuos de *N. aberrans* en las raíces.

Pochonia chlamydosporia, pudo sobrevivir y ser reislado a partir de suelo y raíces de todos los tratamientos donde se aplicó, confirmando resultados de estudios previos bajo condiciones de invernadero tanto con *Meloidogyne* (De Leij y Kerry, 1991; Verdejo-Lucas *et al.*, 2003) como con *N. aberrans* (Hernández-Pérez, 2005; Pérez-Rodríguez *et al.*, 2007). Los tratamientos donde se cuantificó la mayor cantidad de UFC en suelo y raíces, fueron aquéllos en los que se incorporó alguna enmienda orgánica al suelo (vermicomposta y/o fragmentos de col), favoreciendo así tanto el establecimiento del antagonista en suelo y en la rizósfera de las plantas como su sobrevivencia; este hecho ha sido sugerido en estudios previos por Kerry y Bourne (1996) y Atkins *et al.* (2003). Para Kerry y Bourne (1996), los exudados de la raíz de la planta, que a su vez están influenciados por los estímulos físicos, químicos y biológicos del suelo, también tienen un efecto importante en el crecimiento del hongo, ya que funcionan como estimulante para que el hongo pase del estado saprofítico al parasítico.

En campo, al igual que invernadero, las plantas tratadas con vermicomposta mostraron un mayor peso seco de follaje, menor daño en las raíces, y en general, una menor cantidad de nematodos dentro de las mismas en comparación con las plantas testigo e inclusive con las que se les aplicó nematicida en dos ocasiones. El efecto del nematicida en campo fue notorio hasta los 60 dpt, ya que después de esta fecha el índice de agallamiento y el número de nematodos en las raíces incrementaron y por consecuencia la biomasa de las plantas no aumentó. Los resultados observados con el Carbofuran en este experimento, más que reflejar ineficacia del nematicida, evidencia la dependencia que implica el uso del control químico cuando éste se convierte en la única opción para el control de nematodos fitopatógenos; esto significaría que si dos aplicaciones del nematicida permitieron que la población del nematodo se mantuviera en baja cantidad, hubiese sido necesario seguir aplicando dicho químico para que al final del experimento los niveles de daño y la biomasa de las plantas fueran similares, resultado que sí se pudo obtener mediante el uso de una o más opciones de tipo cultural y/o biológico (enmiendas, hongo nematófago, etc.).

Por otro lado, con la incorporación de fragmentos de col, tanto el peso seco como el índice de agallamiento fueron muy similares a los obtenidos en algunos de los tratamientos donde se aplicó vermicomposta, con el efecto adicional de haber reducido, a los 100 dpt, el número de juveniles y hembras maduras g⁻¹ de raíces. Trabajos previos (Franco-Navarro *et al.*, 2002), refieren

que al aplicar residuos de col al momento del trasplante, en concentraciones incluso mayores a las utilizadas en el presente estudio, es posible reducir el daño en raíces y las poblaciones del nematodo falso nodulador en el cultivo de tomate.

Cuando se aplicó de manera combinada vermicomposta+fragmentos de col, se observó menor daño en raíces, una mayor biomasa, menor cantidad de nematodos y un rendimiento mayor al final del experimento, en comparación al uso de ambas enmiendas por separado. En el tratamiento donde se combinó la aplicación de vermicomposta con *P. c. var. chlamydosporia*, el índice de agallamiento y el número de nematodos en las raíces de las plantas se redujo y el peso seco del follaje se incrementó, en comparación con las plantas del testigo absoluto. Estos resultados son consistentes con los obtenidos en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicon* L.) en un estudio previo (Pérez-Rodríguez *et al.*, 2007). Los resultados del reislamiento del hongo de suelo y de raíces a lo largo del experimento, confirman la capacidad de este hongo para establecerse en el sistema donde se incorpora y no depender de sucesivas aplicaciones (Franco-Navarro *et al.*, 2007). Esta cualidad lo convierte en un agente de control biológico eficiente y con alto potencial de aplicación práctica contra *Meloidogyne* spp. (Atkins *et al.*, 2003; Kerry e Hidalgo, 2004) y *Nacobbus aberrans* (Franco-Navarro *et al.*, 2007). Los valores de parasitismo de huevos de *N. aberrans* obtenidos en campo fueron similares a los consignados en algunos de los estudios antes referidos.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se llevó a cabo gracias al financiamiento del CONACYT, a través de su Programa de Becas de Posgrado Nacionales. Los autores agradecemos al Dr. Roberto Montes-Belmont del Centro de Desarrollo de Productos Bióticos-IPN, así como al Dr. Alejandro Tovar-Soto, de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas-IPN, por sus puntos de vista y observaciones hechas al presente escrito.

LITERATURA CITADA

- Atkins, D. S., L. Hidalgo-Díaz, H. Kalisz, H. T. Mauchline, R. P. Hirsh, and B. R. Kerry. 2003. Development of a new management strategy for the control of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) in organic vegetable production. *Pest Management Science* 59:183-189.
- Cristóbal-Alejo, J., I. Cid del Prado-Vera, N. Marbán-Mendoza, P. Sánchez-García, G. Mora-Aguilera, y R. H. Manzanilla. 2001. Sobrevivencia de estadios biológicos de *Nacobbus aberrans* en condiciones de campo. *Nematropica* 31:227-233.
- De Leij, F. A. A. M., and B. R. Kerry. 1991. The nematophagous fungus *Verticillium chlamydosporium* Goddard, as a potencial

- biological control agent for *Meloidogyne arenaria* (Neal) Chitwood. *Revue Nematologie* 14:157-164.
- Flores-Camacho, R., S. D. Atkins, R. H. Manzanilla-López, I. Cid del Prado-Vera, y Martínez-Garza, A. 2008. Caracterización de aislamientos mexicanos de *Pochonia chlamydosporia* var. *chlamydosporia* (Goddard) Gams & Zare para el control biológico de *Nacobbus aberrans* (Thorne) Thorne y Allen. *Revista Mexicana de Fitopatología* 26:93-104.
- Franco-Navarro, F., I. Cid del Prado-Vera, E. Zavaleta-Mejía y P. Sánchez-García. 2002. Aplicación de enmiendas orgánicas para el manejo de *Nacobbus aberrans* en tomate. *Nematropica* 32:113-124.
- Franco-Navarro, F. I. Pérez-Rodríguez, A. Doroteo-Mendoza, K. Vilchis-Martínez, M. A. Hernández Pérez, B. González-Cornejo, y J. Miranda-Damián. 2006. Estado actual del conocimiento de *Pochonia chlamydosporia* en México. *Memorias del XXIX Congreso Nacional de Control Biológico*. Manzanillo, Colima. México. pp. 65-68.
- Franco-Navarro, F., I. Pérez-Rodríguez, y R. Acosta-Hernández. 2007. Control microbiológico del nematodo falso nodulador, *Nacobbus aberrans*, en condiciones de campo. *Memoria de Resúmenes del IX Simposio Internacional y IV Congreso Nacional de Agricultura Sostenible*. Boca del Río, Veracruz. México p 262.
- González, A., y S. M. Canto. 1993. Comparación de cinco enmiendas en el control de *Globodera pallida* en microparcels en Perú. *Nematropica* 23:133-139.
- Hernández-Pérez, M. A. 2005. Control biológico de *Nacobbus aberrans* Thorne & Allen, 1944 mediante *Pochonia chlamydosporia* (Goddard Zare & Gams) en Chile (*Capsicum annuum* L.). Tesis de Licenciatura. UNAM, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan, Cuautitlan Izcali, Edo. de México. 85 p.
- Kerry, B. R. 1997. A workshop manual for research on *Verticillium chlamydosporium* as a biological control agent for root-knot nematodes. Integrated Approach to Crop Research. Rothamsted Long Ashton Broom's Barn. UK. 90 p.
- Kerry, B. R., and J. M. Bourme. 1996. The importance of rhizosphere interactions in the biological control of plant parasitic nematodes a case study using *Verticillium chlamydosporium*. *Pest Science* 47:69-75.
- Kerry, B. R., and L. Hidalgo-Díaz. 2004. Application of *Pochonia chlamydosporia* in the integrated control of root-knot nematodes on organically grown vegetable crops in Cuba. *Multitrophic International in Soil and Integrated Control*. ROBC-WPRS Bulletin 27:123-126.
- Manzanilla-López, R. H., M. A. Costilla, M. Doucet, J. Franco, R. N. Inserra, P. S. Lehman, I. Cid del Prado-Vera, R. M. Souza, and K. Evans. 2002. The genus *Nacobbus* Thorne y Allen, 1944 (Nematoda: Pratylenchidae): Systematics, Distribution, Biology and Management. *Nematropica* 32:209-232.
- Pérez-Rodríguez I. 2008. Control Integrado de *Nacobbus aberrans* en Chile (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones de invernadero y campo. Tesis Maestro en Ciencias en Fitopatología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México, México. 66p.
- Pérez-Rodríguez I., A. Doroteo-Mendoza, F. Franco-Navarro, V. Santiago-Santiago, and A. Montero-Pineda. 2007. Isolates of *Pochonia chlamydosporia* var. *chlamydosporia* from Mexico as potential biological control agents of *Nacobbus aberrans*. *Nematropica* 37:127-134.
- Riegel, C., and J. P. Noe. 2000. Chicken litter soil amendment effects on soilborne microbes and *Meloidogyne incognita* on cotton. *Plant Disease* 84:1275-1281.
- Romero-Tejeda, M. L. 2009. *Pochonia chlamydosporia* como agente de control biológico del nematodo falso nodulador, *Nacobbus aberrans* en el cultivo de frijol. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México. 62 p.
- Verdejo-Lucas, S., F. J. Sorribas, C. Ornat, and M. Galeano. 2003. Evaluating *Pochonia chlamydosporia* in a double -cropping system of lettuce and tomato in plastic houses infested with *Meloidogyne javanica*. *Plant Pathology* 52:521-528.
- Villa-Briones, A., E. Zavaleta-Mejía, M. Vargas-Hernández, O. Gómez-Rodríguez, y S. Ramírez-Alarcón. 2008. Incorporación de vermicomposta en el manejo de *Nacobbus aberrans* en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 14:249-255.
- Yañez-Juárez G. M., E. Zavaleta-Mejía, C. Flores-Revilla, y J. J. Chávez-Alfaro. 2001. Management of wilting (*Phytophthora capsici* Leo.), root galling (*Nacobbus aberrans* Thorne an Allen), and virosis in pepper (*Capsicum annuum* L.). *Revista Mexicana de Fitopatología* 19:40-48.
- Zavaleta-Mejía, E. 2007. Modificadores orgánicos como estrategias de manejo de enfermedades de la raíz. Pp. 93-103 in Fuentes-Dávila, G., y R. Ferrera-Cerrato, ed. *Ecología de la Raíz*. Sociedad Mexicana de Fitopatología A.C. Cd. Obregón Sonora, México.
- Zavaleta-Mejía, E., B. A. Villa, H. M. Vargas, A. S. Ramírez, y R. O. Gómez. 2004. Efecto de la vermicomposta en el impacto de *Nacobbus aberrans* en jitomate. ONTA XXXVI Annual meeting. Puerto Vallarta, Jalisco, México. 83 p.

Received:

6/XII/2010

Recibido:

Accepted for publication:

26/I/2011

Aceptado para publicación: