

Efecto de enmiendas orgánicas y de un hongo micorrízico sobre *Radopholus similis* en banano (*Musa* AAA cv Valery)¹

Federico Ayuso²

RESUMEN. La presente investigación se realizó en una plantación comercial de banano cv. Valery *Musa* (AAA), en la zona atlántica de Costa Rica. Se evaluó el efecto de tres enmiendas orgánicas (compost, gallinaza y bocashi), solas y en combinación con el hongo micorrízico *Glomus* sp. sobre la población y daño causado por *Radopholus similis* al sistema radical de plantas de banano, comparándolas con el efecto de la rotación de tres nematocidas sintéticos (Nemacur, Furadan y Counter) utilizados convencionalmente en la zona en mención, y un testigo absoluto. Se utilizó 21,6 t/ha/año de cada una de las enmiendas y 10 g de inóculo/planta/mes de *Glomus* sp. El tratamiento de nematocidas consistió en la aplicación de 40g/planta de Nemacur el primer mes del experimento, 35 g/planta de Furadan el sexto mes y 10 g/planta de Counter el noveno mes. Las variables evaluadas fueron: población de *R. similis*/100 g de raíz, peso de raíz funcional y de raíz muerta o necrosada. El efecto de la población de *R. similis* en el sistema radical de las plantas de banano se evaluó mensualmente, durante un año, junto con las variables de peso de raíz funcional y porcentaje de raíz muerta. Se utilizó un arreglo factorial de 3x3x2, en un diseño de bloques completos al azar. Se realizó un análisis de varianza por mes y una prueba de contrastes ortogonales. Se determinaron diferencias altamente significativas ($P < 0,01$) para la población de *R. similis*/100 g de raíz, para los meses 6, 9 y 12 pero no para el peso de raíz funcional y porcentaje de raíz muerta durante los 12 meses del estudio. Las enmiendas orgánicas tuvieron efectos significativos ($P < 0,05$) sobre la población del nematodo/100 g de raíz, en los meses 6, 9 y 12. En el mes 6, el bocashi logró el mejor efecto, mientras que en los meses 9 y 12, el compost y la gallinaza lograron una mayor reducción de la población del nematodo con respecto al bocashi. Al final del experimento, el compost y la gallinaza no mostraron diferencias significativas en cuanto al control de *R. similis*; no obstante, el tratamiento con gallinaza fue el que tuvo la menor población, incluso menor que la de los tratamientos con nematocidas sintéticos. El hongo micorrízico no mostró efecto significativo sobre la población de *R. similis*, y sus dos niveles no mostraron diferencias; sin embargo, en el mes 12, la interacción enmienda orgánica + *Glomus* sp. mostró un efecto significativo, determinándose la menor población del nematodo en el tratamiento de gallinaza + *Glomus* sp.

Palabras clave: Enmiendas orgánicas, *Glomus* sp., *Musa* (AAA), *Radopholus similis*, Control biológico.

ABSTRACT. Effect of organic amendments and a mycorrhizal fungus on *Radopholus similis* in banana (*Musa* AAA cv Valery). The present investigation was realized on a commercial banana cv. Valery *Musa* (AAA) plantation, in the Atlantic region of Costa Rica. The effect of three organic amendments (compost, chicken manure and bocashi) alone and in combination with a mycorrhizal fungus *Glomus* sp. on the population and damage caused by *R. similis* in the root system of banana plants was evaluated, comparing them with the effect of a rotation of three synthetic nematicides (Nemacur, Furadan and Counter) utilized conventionally in the region aforementioned, and an absolute control. For each of the amendments, 21.6 t/ha/year was utilized and 10g of inoculum/plant/month for the *Glomus* sp. The nematicide treatment consisted of the application of 40g/plant of Nemacur the first month of the experiment, 35g/plant of Furadan the sixth month of the experiment and 10g/plant of Counter the ninth month. The variables evaluated were: population of *R. similis*/100g of root, functional root and dead or rotten root weight. The effect of the *R. similis* population on the root system of the banana plants was evaluated monthly, for a year, together with the variables functional root weight and percentage of dead root. A factorial arrangement of 3x3x2 was utilized, in a random complete block design. An

¹ Parte de la tesis de Posgrado del primer autor. CATIE, Turrialba, Costa Rica.

² Consultor independiente. Turrialba Costa Rica. ayuso_federico@hotmail.com

analysis of variance per month and an orthogonal comparison test were performed. Highly significant ($P < 0.01$) differences were determined for the population of *R. similis*/100g of root, for the months 6, 9 and 12 but not for the functional root weight and percentage of dead root during the 12 months of the study. The organic amendments had significant ($P < 0.05$) effects on the population of nematodes/100 g of root, in the months 6, 9 and 12. In the month 6, the bocashi achieved the greatest effect, whilst in the months 9 and 12, the compost and chicken manure achieved the greatest reduction of the nematode population in comparison to bocashi. At the end of the experiment, the compost and chicken manure did not show significant differences in regard to the control of *R. similis*. However, the treatment with chicken manure was the one with the smallest population, including smaller than that in the treatments with synthetic nematicides. The mycorrhizal fungus did not show a significant effect on the population of *R. similis*, and its two levels did not show differences. However, in the month 12, the interaction organic amendment + *Glomus* sp. did show a significant effect, the smallest population of the nematode was determined in the treatment of chicken manure + *Glomus* sp.

Key words: Organic amendments, *Glomus* sp., *Musa* (AAA), *Radopholus similis*, Biological control.

Introducción

En el cultivo de banano *Musa* (AAA) y plátano *Musa* (AAB), usualmente, se utilizan grandes cantidades de agroquímicos con el propósito de lograr volúmenes de producción rentables, especialmente en plantaciones en regiones tropicales, ambiente propicio para el desarrollo del cultivo, pero también nicho ecológico de varias plagas que lo afectan severamente.

Se han reportado 150 especies de nematodos asociados con las raíces de musáceas (Gowen y Quéhérvé 1990); sin embargo, la mayoría tienen una patogenicidad limitada o desconocida. Entre los nematodos que causan más daño al cultivo de banano están el nematodo barrenador (*Radopholus similis*) y especies pertenecientes a los géneros *Pratylenchus*, *Helicotylenchus* y *Meloidogyne*. *R. similis* está estrictamente limitado a las áreas tropicales, siendo el problema principal en plantaciones comerciales del subgrupo Cavendish (Stanton 1994).

La infestación de nematodos en el cultivo de banano provoca la destrucción de raíces y tejidos del cormo, disminuyendo la absorción de agua y minerales, lo cual afecta el crecimiento y desarrollo de la planta y puede ocasionar una severa disminución en el peso del racimo e incrementar significativamente el período entre dos cosechas sucesivas (Stanton 1994). En América del Sur, América Central y los países del Caribe; *R. similis* es considerado la especie de nematodo más dañina y ampliamente distribuida de las que atacan el banano (Davide 1996). *R. similis* reduce la producción bananera entre 30 y 50% en Costa Rica y Panamá, mientras que en Guatemala y Honduras ocasiona pérdidas entre 10 y 20% (Molina y Molina, citada por Davide 1996).

La aplicación periódica de los nematicidas sintéticos podría estar causando un severo impacto en la biota rizosférica de plantaciones comerciales que han sido explotadas intensivamente durante varios años, aunque no existen aún estudios microbiológicos que demuestren esto. Sin embargo, Vilich y Sikora (1998), señalan que tanto el suelo de un ecosistema natural, como el de un agroecosistema perturbado, contienen cierto espectro de biodiversidad y que las diferencias entre estos sistemas se deben a la reducción de la biomasa global. Estos mismos autores afirman que la reducción de la biodiversidad es usualmente causada por la disminución de la materia orgánica y por baja diversidad de plantas presentes en un monocultivo. En las plantaciones bananeras de las áreas tropicales los contenidos de materia orgánica son relativamente bajos (Dorel y Besson 1996), lo cual repercute sobre la biota rizosférica y sobre la cantidad de enemigos naturales de los nematodos presentes en ella.

Las enmiendas orgánicas incrementan el contenido de materia orgánica en el suelo y favorecen las propiedades físicas de éste, tales como la estructura, porosidad, retención de agua y regulación de temperatura. También mejoran las propiedades químicas del suelo porque la materia orgánica tiene la capacidad amortiguadora, es decir la propiedad de regular la acidez o alcalinidad del suelo.

Todas las enmiendas orgánicas ejercen un amplio y extensivo espectro de actividad sobre la microflora nativa de la rizosfera y del tejido radical (Liu *et al.* 1995). No obstante, el tipo y grado de control biológico también es determinado por la composición, maduración y forma de aplicación de las enmiendas.

En evaluaciones de las interacciones entre *Meloidogyne incognita* y *M. javanica* con hongos micorrícicos como *Glomus mosseae*, bajo diferentes niveles de fertilización fosforada se determinó que la interacción entre *G. mosseae* y *M. incognita*, aumenta la tolerancia del hospedante (raíces de plantas de banano) al nematodo, compensando los daños causados por éste mediante una reducción en su reproducción e incrementando el desarrollo de la planta (Jaizme-Vega *et al.* 1997). La interacción entre *G. mosseae*, la planta de banano y el nematodo, fue positiva, de acuerdo a la clasificación de las interacciones propuesta por Hussey y Roncadori (1982).

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de tres enmiendas: bocashi, gallinaza y compost, solas y en combinación con el hongo micorrícico *Glomus* sp, sobre el daño ocasionado por *R. similis* en banano cv. Valery (*Musa* AAA), comparándolas con el efecto de la rotación de nematicidas sintéticos utilizados convencionalmente en la zona atlántica de Costa Rica.

Materiales y métodos

Localización del experimento

La investigación se realizó en una finca comercial de producción de banano de la zona Atlántica de Costa Rica, Siquirres, Limón, a 10° 12' N y 83° 29' O y a 15 msnm. La precipitación anual promedio fue de 4790

mm, temperatura promedio mensual de 24,9 °C (mínima 21,5 °C y máxima 29,7 °C), humedad relativa promedio de 84,5% y la evapotranspiración 3,10 mm, con un promedio de horas luz de 124,5.

El experimento se realizó en un área donde se ha cultivado banano en los últimos treinta años. El suelo fue clasificado como Aquertic Eutrudept, de textura arcillosa. Las características químicas se presentan en el cuadro 1. La finca estaba manejada (control de enfermedades e insectos plagas, fertilización y drenajes) de acuerdo a los estándares para plantaciones comerciales de banano usados en la zona. En las parcelas donde se implementó el estudio se dejaron de realizar aplicaciones de nematicidas sintéticos cinco meses antes del inicio del experimento.

Tratamientos

Los tratamientos evaluados fueron tres tipos de enmiendas orgánicas (compost, gallinaza y bocashi), aplicadas solas y en combinación con el hongo *Glomus* sp., una rotación de nematicidas sintéticos (Nemacur, Furadán, y Counter) y un testigo absoluto (Cuadro 2).

La parcela experimental fue de 400 m², con borde común. En cada parcela se muestrearon cuatro plantas al azar. Se hizo un muestreo de población inicial de *R. similis* en /100 g de raíces, en todas las parcelas y se determinó que no habían diferencias significativas (P=0,9156) entre ellas.

Cuadro 1. Análisis químico del suelo en que se ubicaron las parcelas experimentales.

Prof. (cm)	pH (H ₂ O)	A.I.	P (mg/kg)	K	Ca	Kg (cmol/kg)	Na	S	Zn	Fe	Cu (mg/g)	Mn	B	M.D. %
0-30	4,88	0,79	50	2,10	19,81	4,30	0,14	34	5	256	10	66	0,58	2,12

Prof= Profundidad, ppm= partes por millón, M.O.= Materia orgánica, A.I.= Acidez intercambiable.

Solución Olsen usada para fósforo. Solución de acetato de amonio para cationes. M.O: por método de Walkley Black.

Muestreo en la banda de fertilización a 30 cm de profundidad. Se muestreó en 4 sitios de cada repetición, en cada tratamiento, para conformar una muestra.

Los valores son el promedio de todas las muestras de todos los tratamientos.

Cuadro 2. Descripción de tratamientos evaluados.

Tratamientos	Dosis
Compost	1 kg /planta/mes
Gallinaza	1 kg /planta/mes
Bocashi	1 kg/planta/mes
Compost + <i>Glomus</i> sp.	1 kg de compost + 10 g de <i>Glomus</i> sp./planta/mes
Gallinaza + <i>Glomus</i> sp.	1 kg de gallinaza + 10 g de <i>Glomus</i> sp./planta/mes
Bocashi + <i>Glomus</i> sp.	1 kg de bocashi + 10 g de <i>Glomus</i> sp./planta/mes
Rotación de nematicidas sintéticos	Nemacur 10G (40 g/planta, aplicado al primer mes del experimento), Furadan 10G (35 g/planta, aplicado al sexto mes del experimento) y Counter 10G (10 g/planta, aplicado al noveno mes del experimento).
Testigo absoluto	Sin aplicación de enmiendas ni nematicidas

En la elaboración del bocashi (480 kg) se utilizaron 5 sacos (45 kg cada uno) de tierra, 2 sacos de gallinaza, 1 saco de carbón molido, 1 saco de semolina, 1 saco de estiércol de cabra, 2 sacos de granza de arroz (cascarilla de arroz) y 2 L de melaza. Los materiales se colocaron en capas y se mezclaron bien, formando un montículo de 50 cm. Durante los cuatro días siguientes y dos veces por día se mezclaron bien los materiales para evitar que la temperatura fuera >45°C. El quinto día se mezcló y redujo la pila a una altura de 30 cm, un día después se volvió a mezclar y la altura de la pila se redujo a 10 cm para facilitar el secado, el cual tardó 15 días.

La elaboración del compost es un proceso aeróbico, donde se mezclan broza de café (cáscara de los frutos del café), cachaza (desechos provenientes de la industrialización de la caña de azúcar), bagazo (fibra de la caña azúcar obtenida después de su trituración para la extracción del jugo). Los componentes son colocados formando una pila, donde permanecen un mes para extraer el agua y posteriormente un mes más para lograr la descomposición microbiana. Después se mezclan bien los materiales y se forma la pila, la cual se deja hasta que la humedad sea de 48-50%.

Las enmiendas se analizaron como muestras foliares. La composición química de las tres enmiendas utilizadas se presenta en el Cuadro 3.

El inóculo de *Glomus* sp. fue suelo proveniente de macetas con plantas de *Brachiaria* sp., las cuales se utilizaron para reproducir esporas del hongo. El inóculo utilizado contenía 120 esporas del hongo/20 g de suelo.

Variables evaluadas

Para evaluar la población de nematodos se realizaron muestreos mensuales en el sistema radicular (100 g de raíces) durante los 12 meses del estudio. Se tomaron tres muestras por tratamiento. Cada muestra se formó a partir de cuatro submuestras (cuatro plantas), obtenidas de los 400 m² que formaban la parcela de cada

tratamiento. El muestreo fue aleatorio, y las raíces se tomaron de plantas que estaban recién florecidas. Para tomar la muestra se utilizó un palín y se extrajo 5 dm³ de suelo, acarreado los primeros 30 cm de profundidad; el orificio fue realizado junto al cormo, entre la planta madre y su retoño de sucesión. De esta muestra se evaluó la población de nematodos y la cantidad de raíz funcional.

En la extracción y determinación de nematodos se utilizó el método modificado de Gooris y D'Herde (1972). La transformación de los valores originales de *R. similis* fue: $\log_{10}(x + 1)$.

Para determinar la cantidad de raíces funcionales se evaluó el sistema radicular y separaron las raíces funcionales o sanas (sin síntomas de ataque y sin necrosis), de las raíces necrosadas, a las que se les denominó "raíces muertas". Se pesaron (g) las raíces funcionales de cada muestra de cada tratamiento. La transformación de los valores originales de raíces funcionales fue: peso (g) de raíz funcional = $(x + 0,5)^{1/2}$.

El porcentaje de raíces muertas fue determinado en forma similar al de raíces funcionales, pero pesando el total de raíces necrosadas. El porcentaje de raíces muertas se obtuvo con base en el peso total de raíces frescas obtenido de cada muestra. La transformación de los valores originales fue:

$$\% \text{ de raíces muertas} = \left(\frac{\text{Peso fresco de raíces necrosadas} \times 100}{\text{Peso fresco de raíz total}} \right)^{1/2} + 0,5$$

Se determinó el porcentaje de micorrización en el sistema radical de las plantas de banano con el propósito de evaluar la evolución de este proceso conforme se realizaban las aplicaciones de los tratamientos. Se determinó un porcentaje de micorrización general, es decir se evaluó la colonización radical del conjunto de hongos micorrícicos nativos, pero sin identificar el porcentaje para cada uno. Se realizaron dos muestreos del sistema radicular de las plantas en todos los tratamientos, el primero a los 9 meses de inicio del experi-

Cuadro 3. Composición química de las enmiendas orgánicas utilizadas en el estudio.

Enmienda	Porcentaje						ppm					Porcentaje		
	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Fe	Cu	Mn	B	H ₂ O	MO	pH
Bocashi	0,84	0,26	0,79	0,67	0,24	0,20	139	49 598	118	1230	21	24,8	13,1	7,12
Compost	1,87	0,37	0,74	2,34	0,23	0,26	118	16 541	857	677	15	52,2	27,1	7,37
Gallinaza	1,81	0,45	2,60	12,10	0,58	0,35	310	5 999	571	420	25	13,5	23,2	7,57

MO= materia orgánica, se utilizó método de Walkley y Black. Nitrógeno por método de Kjeldhal.

Para determinar pH, se modificó la relación de 1:1 para bocashi y 1:1.5 para gallinaza

Gallinaza= Estiércol seco obtenido del corral de gallinas ponedoras.

mento y el segundo al finalizar el mismo (mes 12). Se obtuvieron pelos radicales provenientes de las raíces extraídas en los muestreos para realizar la determinación de nematodos. Se utilizó el método de tinción de las raíces micorrizadas propuesto por Koske y Gemma (1989) y el método modificado Brundrett *et al.* (1996). La transformación de valores originales fue: % de colonización $(x + 0,5)^{1/2}$

Diseño estadístico

Se utilizó un arreglo factorial de 3x3x2, (tres repeticiones, tres enmiendas orgánicas, y dos niveles de *Glomus* sp.) en un diseño de bloques completos al azar. En total el arreglo factorial constó de 18 unidades experimentales. Para el análisis de los datos se utilizó el programa estadístico SAS. Para la interacción entre las enmiendas orgánicas y *Glomus* sp. se realizó un análisis de varianza y se utilizó la prueba de Tukey (P<0,05). También se realizó una prueba de contrastes ortogonales para comparar las enmiendas orgánicas entre si y con la rotación de nematicidas sintéticos.

Resultados y discusión

Efecto de las enmiendas orgánicas sobre la población de *R. similis*

Se determinaron diferencias significativas entre tratamientos para los meses 6 (P=0,0008), 9 (P=0,0228) y 12 (P=0,0001) para la población de *R. similis*/100 g de raíz.

En el mes 6 las enmiendas disminuyeron significativamente (P=0,0193) la población de *R. similis*, siendo el tratamiento con bocashi el que registró la menor población con respecto a las otras dos enmiendas (Cuadro 4). En el mes 9 se determinó la menor población del nematodo (P=0,0366) con la aplicación de gallinaza sola (Cuadro 4). En el último mes de evaluaciones (mes 12), se encontraron diferencias altamente significativas (P=0,0001) entre los tratamientos para la población de *R. similis*. Las enmiendas tuvieron un efecto significativo (P=0,0277), y su tres niveles mostraron diferencias, siendo el compost el tratamiento que presentó la menor población promedio de *R. similis* (Cuadro 4).

Cuadro 4. Promedios y desviación estándar de la población de *R. similis*/100 g de raíz, cantidad de raíz funcional y porcentaje de raíz muerta en ocho tratamientos, en una plantación de banano *Musa* (AAA) cv. Valery.

Meses	Tratamientos***							
	Compost		Gallinaza		Bocashi		Nematicidas sintético	Testigo
	1	2	3	4	5	6	7	8
Mes 6								
<i>R. similis</i> *	15 708 ± 7 290, 12	12 956 ± 3 402,23	9 958 ± 3 428,59	9 708 ± 4 603,55	10 417 ± 4 010,40	4 333 ± 577,35	5 167 ± 1 252,08	3 417 ± 850,86
Raíz funcional**	116,67 ± 29,7	68,25 ± 18,0	108,28 ± 45,1	74,06 ± 9,6	93,17 ± 57,6	8,06 ± 36,9	107,83 ± 70,1	86,22 ± 58,1
% Raíz muerta	33,51 ± 7,3	46,17 ± 7,1	29,05 ± 13,1	37,03 ± 0,7	30,73 ± 11,2	34,59 ± 10,2	34,88 ± 18,5	40,74 ± 14,8
Mes 9								
<i>R. similis</i>	22 250 ± 6 753,67	17 542 ± 2 843,12	17 583 ± 3 759,02	13 625 ± 1 952,56	26 706 ± 11 273,72	24 875 ± 48,67	12 333 ± 1 701,71	24 625 ± 5 980,41
Raíz funcional	82,14 ± 42,6	93,28 ± 1,9	70,67 ± 30,4	67,50 ± 13,4	62,75 ± 25,1	91,33 ± 36,5	63,25 ± 35,4	49,08 ± 21,8
% Raíz muerta	25,62 ± 9,6	33,07 ± 8,6	31,06 ± 12,0	29,43 ± 8,2	30,88 ± 6,7	36,17 ± 16,9	25,64 ± 7,9	45,04 ± 19,7
Mes 12								
<i>R. similis</i>	10 333 ± 688,46	3 917 ± 1 733,55	3 875 ± 1 111,02	8 375 ± 1866,65	8 706 ± 1 324,84	24 206 ± 15 914,99	24 333 ± 4 753,64	37 250 ± 5 482,93
Raíz funcional	67,81 ± 17,7	64,61 ± 20,5	52,61 ± 13,4	47,75 ± 10,5	94,17 ± 63,4	64,08 ± 17,5	125,11 ± 50,4	56,78 ± 16,8
% Raíz muerta	34,12 ± 6,6	35,42 ± 11,4	40,90 ± 10,5	41,16 ± 12,5	29,51 ± 13,2	46,98 ± 11,1	22,30 ± 12,3	42,06 ± 10,4

* *R. similis*/100 g de raíz

**Raíz funcional valores en g

***Medias de tres repeticiones, 4 plantas por repetición

Los meses 6, 9 y 12 fueron en los que se detectó diferencias significativas por ANDEVA (P<0,05) entre tratamientos para la variable población de *R. similis*. 1=Compost + *Glomus* sp., 2=Compost, 3=Gallinaza + *Glomus* sp., 4=Gallinaza, 5= Bocashi + *Glomus* sp., 6=Bocashi, 7=Nematicidas, 8=Testigo absoluto

Gallinaza. El análisis del área bajo la curva de la población de nematodos mostró que la gallinaza con y sin el hongo endomicorrízico, fue superior a la registrada con el tratamiento con nematicidas (Cuadro 5). No obstante, al final del experimento se verificó que el tratamiento de esta enmienda tuvo el menor promedio poblacional comparado con el tratamiento con nematicidas sintéticos y el testigo (Fig. 1).

Algunos estudios han mostrado la efectividad de la gallinaza sobre los nematodos. En cultivos como tomate Chindo y Khan (1990), encontraron que la aplicación de 4 t/ha redujo el índice de agallamiento de la raíz causado por *Meloidogyne incognita* e incrementó el crecimiento y fructificación de las plantas. Estos autores también determinaron mediante estudios *in vitro* con fracciones solubles de gallinaza que el control de nematodos se debe a las sustancias tóxicas liberadas durante el proceso de descomposición de esta enmienda.

En esta investigación se utilizaron 21,6 t/ha de gallinaza durante los 12 meses del estudio; sin embargo, la elevada precipitación (4790 mm) durante todo el período, probablemente solubilizó un gran porcentaje de esta enmienda y a su vez aceleró su descomposición y lixiviación de sustancias.

El porcentaje promedio mensual de raíz muerta y raíz funcional registrado en los tratamientos con gallinaza fue muy similar al de los tratamientos con las otras dos enmiendas (Cuadro 4). No se observaron diferencias entre los tratamientos a pesar de que la gallinaza aportó gran cantidad de fósforo a la planta (Cuadro 3), lo cual podría haber estimulado el desarrollo radical.

Compost. Esta enmienda no fue diferente a la gallinaza en cuanto a su efecto sobre la población de *R. similis*, (Cuadro 5), posiblemente porque las sustancias provenientes de su descomposición, interfieren de forma similar con los nematodos que los de la gallinaza o porque los microorganismos presentes en el compost y la gallinaza lograron, durante el tiempo de experimentación, tener un efecto antagonista similar contra la población de nematodos. En este sentido Vilich y Sikora (1998) mencionan que el potencial antagonista responsable de la actividad supresora en cada enmienda probablemente está más influenciado por la acción de una comunidad de microorganismos provenientes de diversas taxas y con mecanismos de acción diferentes, que por la actividad de una especie. Al final del experimento, el tratamiento de compost obtuvo la menor población comparado con el tratamiento con nematicidas sintéticos y el testigo (Fig. 2).

Liu *et al.* (1995), señalaron que todas las enmiendas orgánicas tienen un amplio espectro de actividad sobre la microflora nativa de la rizosfera y en el tejido radical. Sin embargo, DeBrito Alvarez *et al.* (1995) encontraron que los composts no estimulan la densidad total de microorganismos en la rizosfera pero si alteran el número de especies presentes, causando un impacto en grupos específicos de rizobacterias. Por otra parte Jansen *et al.* (1995) sugieren que los microorganismos presentes en el compost son influenciados por los ambientes abióticos, como los cambios físico-químicos y la actividad microbiana circundante, y que estos factores regulan la función microbiana en el ecosistema.

Cuadro 5. Areas bajo la curva de progreso de la población de *R. similis* y porcentaje de raíz muerta en los ocho tratamientos de la plantación de banano *Musa* (AAA) cv. Valery.

Tratamientos	<i>R. similis</i> /100 g de raíz		% Raíz muerta	
	ABCP	\bar{X} de áreas de ABCP mensuales*	ABCP	\bar{X} de áreas de ABCP mensuales
Compost + <i>Glomus</i>	177 832,00	16 166,55	369,00	35,55
Compost	148 385,00	13 482,27	382,43	34,77
Gallinaza + <i>Glomus</i>	153 430,00	13 948,18	381,86	34,71
Gallinaza	148 869,50	13 533,59	380,67	34,61
Bocashi + <i>Glomus</i>	163 082,50	14 825,68	380,60	34,60
Bocashi	143 375,00	13 034,09	391,34	35,58
Nematicidas	115 334,50	10 484,95	313,17	28,47
Testigo absoluto	151 917,00	13 810,64	407,56	37,05

ABCP= Area bajo la curva de progreso, es la sumatoria de los 11 trapecios (áreas) formados bajo la curva de progreso de la población de *R. similis* y % de raíz muerta entre el primer y último mes de evaluaciones.

*Promedio de los valores de las 11 áreas formadas bajo la curva.

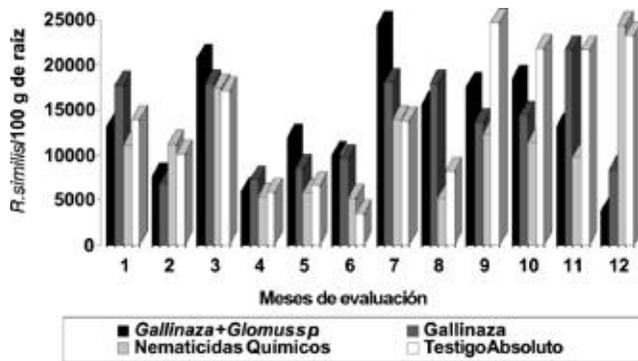


Figura 1. Efecto de gallinaza y *Glomus* sp. sobre la población de *R. similis* en plantación comercial de banano (*Musa* AAA) cv. Valery.

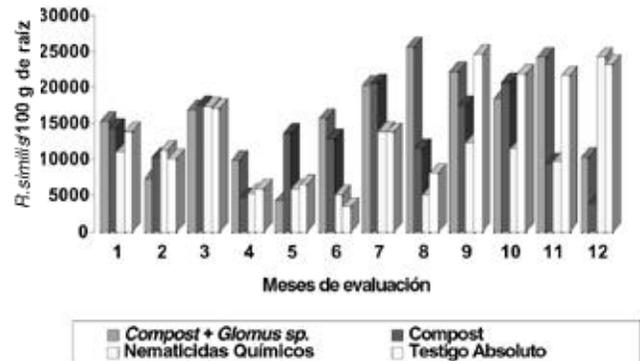


Figura 2. Efecto de compost y *Glomus* sp. sobre la población de *R. similis* en plantación comercial de banano (*Musa* AAA) cv. Valery.

Bocashi. Esta enmienda aplicada con *Glomus* sp. tuvo poca influencia sobre la población de *R. similis*, comparado con las otras dos enmiendas (Cuadro 5). Sin embargo, en el último mes del experimento, el tratamiento de bocashi + *Glomus* sp. tuvo una menor población promedio del nematodo que el testigo y el tratamiento de nematicidas sintéticos (Fig. 3).

La aplicación de bocashi en plantaciones de banano ha sido poco estudiada; sin embargo, Duvón (1998) determinó que su aplicación en dosis de 1 kg/planta al momento de siembra y cada cinco semanas, redujo la población de *R. similis* después de 26 semanas (688 nematodos/100 g de raíces) comparado con el tratamiento con Furan 10G (6933 nematodos/100 g de raíces). No obstante, ese estudio se realizó en una plantación recién establecida y con poco historial de ataque de nematodos.

La diferencia con respecto a las otras dos enmiendas podría deberse a que la descomposición del bocashi no produjo las mismas sustancias nematicidas generadas por la gallinaza y el compost durante ese proceso. Pero para comprobar esto es necesario realizar estudios de los lixiviados producidos durante la descomposición de estas enmiendas y mediante bioensayos evaluar su efecto en poblaciones del nematodo. Las diferencias también podrían deberse a la cantidad y variedad de microorganismos presentes en los tres tipos de enmiendas y sus niveles de acción nematicida.

Los compuestos de bocashi son degradados por los microorganismos del suelo, pero los metabolitos y subproductos resultantes de la descomposición podrían no tener el mismo efecto sobre la población de

R. similis que los de las otras dos enmiendas. En este aspecto, You y Sivasithamparam (1995) sugieren que el tipo y grado de la actividad de control biológico es determinado por la composición, maduración y forma de aplicación de las enmiendas. El estado de maduración del compost y la gallinaza fue mayor que el del bocashi, dado que esta última enmienda aún contenía materia orgánica en proceso de descomposición. El mayor grado de maduración de la gallinaza y el compost podría haber influido en la biota rizosférica que realiza la descomposición y libera sustancias al suelo.

Efecto de *Glomus* sp. sobre la población de *R. similis*

El hongo no tuvo efecto significativo sobre la población de *R. similis* durante la mayor parte del estudio, y su uso combinado con la enmienda no mostró diferencias significativas.

En el mes 6, aunque se determinaron diferencias significativas en cuando a la población del nematodo con la aplicación de enmiendas, *Glomus* sp. no tuvo un efecto significativo ($P=0,0772$). La interacción enmiendas + *Glomus* sp. no mostró efecto significativo ($P=0,1959$). Esto posiblemente se debe a que las plantas evaluadas eran adultas y podrían haber estado micorrizadas por hongos nativos. Un situación similar se observó en el mes 9, cuando el hongo no tuvo efecto significativo ($P=0,2330$) y sus niveles tampoco mostraron diferencias significativas. La interacción enmiendas + *Glomus* no mostró efecto significativo ($P=0,7685$).

En el mes 12, el hongo no tuvo efecto significativo ($P=0,4723$) sobre la población del nematodo. Sin

embargo, la interacción enmienda + *Glomus* sp. ($P=0,0130$), si mostró diferencia por primera vez durante la evaluación. Esto posiblemente se deba a que en este punto del experimento, *Glomus* sp. empieza a interactuar con la población de *R. similis*, pero para determinar esto se requieren evaluaciones de más duración.

Los tratamientos que no fueron micorrizados, mantuvieron promedios mensuales de área bajo la curva menores a los tratamientos que si fueron micorrizados (Cuadro 5, Fig. 4), lo cual podría atribuirse a varios factores. Perrin y Plenchette (1993) afirman que la introducción y establecimiento de un hongo micorrízico-arbuscular foráneo no es fácil y depende, no solo de la receptividad del hospedante, sino también del suelo. Es posible que el pH del suelo donde crecieron las plantas evaluadas (Cuadro 1) influyera negativamente sobre el establecimiento y desarrollo del hongo inoculado. Sin embargo, en un estudio realizado por Arias *et al.* (1997) en una finca bananera con un suelo con pH de 5,3, aislaron la micorriza arbuscular *Glomus albidum*, aunque informaron que *Acaulospora mellea* solo se logró aislar en suelos con pH bajos.

Otra causa probable de la falta de efecto del hongo sobre la población del nematodo es el contenido de

fósforo de las enmiendas utilizadas (Cuadro 3). Jaizme-Vega *et al.* (1997) informaron que *Glomus mosseae* logró un porcentaje de colonización alto en interacción con *Meloidogyne incognita* en plantas de banano ‘Gran Enano’ que crecieron en sustratos con bajos contenidos de fósforo (16,2 ppm), mientras las plantas que crecieron en sustratos con altos contenidos de fósforo (42 ppm) mostraron menores porcentajes de colonización.

También es probable que *Glomus* sp. requiriera más tiempo para establecerse en las condiciones dadas en este experimento y alcanzar los niveles necesarios para tener una interacción positiva con la planta, reduciendo la población de *R. similis* en el sistema radical. O bien, las dosis de inóculo utilizadas no fueran las adecuadas, dado que no se encontraron recomendaciones sobre este aspecto para plantaciones de banano en condiciones de campo.

Según Linderman (1996), los efectos de los hongos endomicorrízicos sobre los nematodos pueden ser diversos, pero dependen del tipo de nematodo fitopatógeno, de las diferencias entre los hongos y sus niveles de colonización, así como el tiempo de formación de la endomicorriza.

No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en cuanto al porcentaje de colonización tanto en el mes 9 ($P=0,8387$), como el mes 12 ($P=0,3118$), lo cual indica que existe una colonización natural por parte de hongos micorrízicos nativos en los tratamientos donde no se aplicó *Glomus* sp., e incluso algunos tratamientos no micorrizados como el de gallinaza, el de bocashi y el testigo absoluto superan a algunos de los tratamientos micorrizados (Cuadro 6). La presencia de micorrizas arbusculares nativas en plantaciones de banano ha sido informado en otros estudios como los de Arias *et al.* (1997), quienes determinaron que *G. albidum* y *A. mellea* son las especies predominantes asociadas al cultivo de banano en fincas de la zona atlántica de Costa Rica.

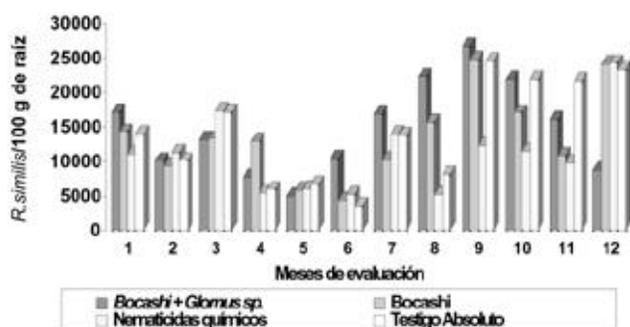


Figura 3. Efecto de bocashi y *Glomus* sp. sobre la población de *R. similis* en plantación comercial de banano (*Musa* AAA) cv. Valery.

Cuadro 6. Promedios y desviación estándar del porcentaje de colonización de hongos micorrízicos nativos en tratamientos aplicados en una plantación comercial de banano *Musa* (AAA) cv. Valery.

Mes	T	R ²	CV	Tratamientos*							
				1	2	3	4	5	6	7	8
9	0,84**	0,19	30,32	42,6 ± 2,3	42,6 ± 30,2	45,3 ± 20,5	56,0 ± 24,9	65,3 ± 19,3	60,0 ± 10,5	46,6 ± 2,1	33,3 ± 8,3
12	0,31	0,43	24,11	37,3 ± 18,1	37,5 ± 8,3	45,4 ± 4,61	50,7 ± 18,47	37,3 ± 34,1	29,3 ± 10,1	78,7_9,2	52,0 ± 30,2

*Promedio de tres repeticiones, 4 plantas por repetición, ($P<0,05$) son significativas.

1=Compost + *Glomus* sp., 2=Compost, 3= Gallinaza + *Glomus* sp., 4= Gallinaza, 5=Bocashi + *Glomus* sp., 6=Bocashi, 7=Nematicidas 8=Testigo absoluto

T= Tratamientos, ** =Valor de probabilidad, ($P<0,05$) (diferencias significativas entre tratamientos).

CV= Coeficiente de variación

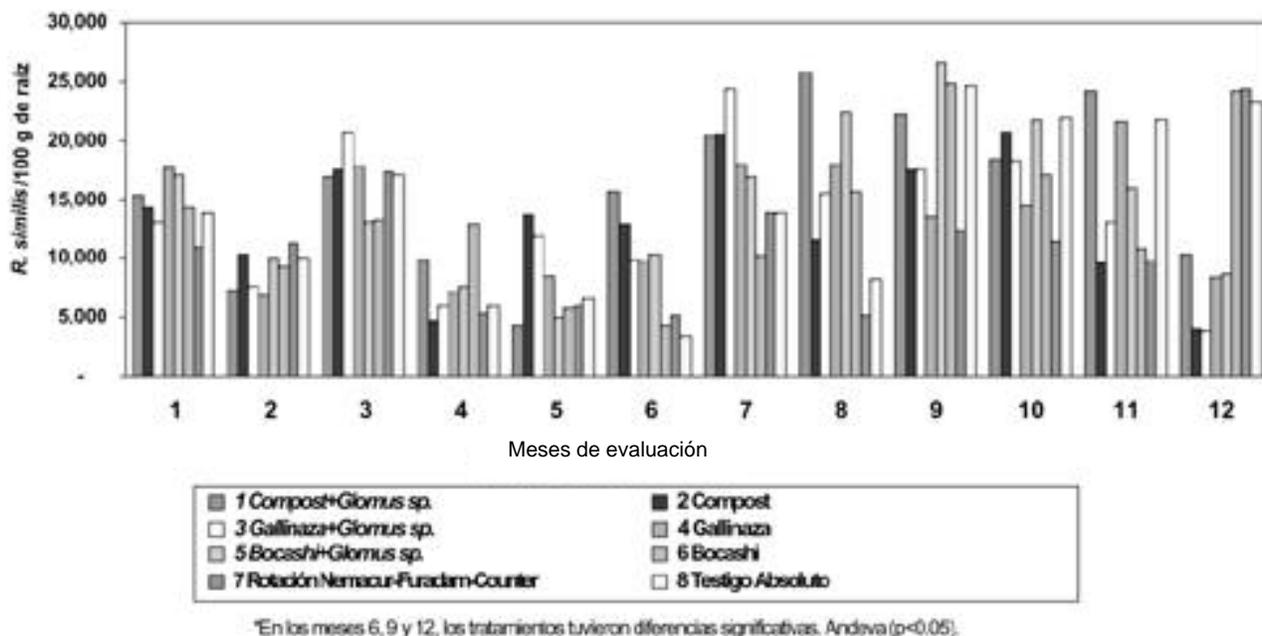


Figura 4. Efecto de enmiendas orgánicas, *Glomus* sp. y nematicidas sobre la población de *R. similis* en plantación comercial de banano (*Musa* AAA) cv. Valery.

Otro factor que probablemente pudo influir con el efecto del hongo, es la presencia de microorganismos antagonistas presentes naturalmente en el suelo de la plantación, entre los cuales pueden haber otros hongos micorrícicos, los cuales pueden competir por espacio y fotosintatos en la raíz. No obstante, no se determinaron diferencias significativas entre tratamientos en cuanto al porcentaje de colonización radical, pero la prueba de contrastes mostró que el tratamiento con nematicidas químicos, tuvo mayor porcentaje de colonización natural ($P=0,0247$) con respecto a los tratamientos con solo las enmiendas, de igual forma presentó mayor porcentaje de colonización cuando se comparó con los tratamientos de cada enmienda + *Glomus* sp. Esto podría indicar que los nematicidas sintéticos podrían afectar a los antagonistas de los hongos micorrícicos nativos, mostrando así un mayor porcentaje de colonización de éstos (Cuadro 6). Este fenómeno ha sido observado por otros investigadores como Parvathi *et al.* (1985), quienes señalaron que Counter, Diazinon y Carbaryl no tuvieron efectos adversos en la colonización endomicorrízica de las raíces. Sin embargo, esto no ha sido evaluado en muchos agroecosistemas y por tanto no puede afirmarse (Kurlle y Pflieger 1996).

En cuanto a la influencia de *Glomus* sp., no se observaron diferencias al final del experimento entre los tratamientos micorrizados para el porcentaje de raíz

muerta (Fig. 5); no obstante, todos los tratamientos con el hongo mostraron promedios mensuales de área bajo la curva menores que el testigo absoluto pero ligeramente superiores al tratamiento con nematicidas (Cuadro 5).

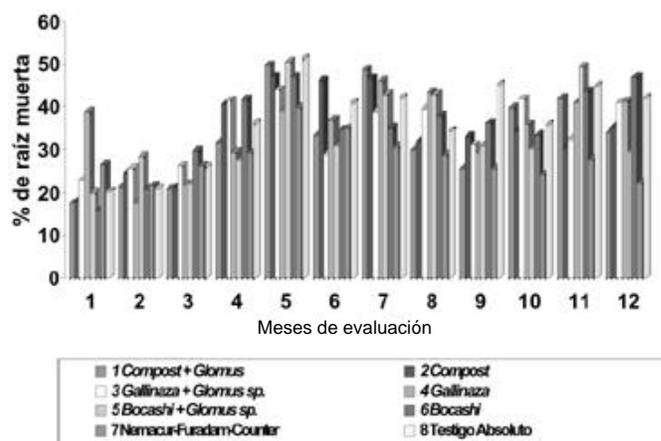


Figura 5. Efecto de enmiendas orgánicas, *Glomus* sp. y nematicidas sobre el porcentaje de raíz muerta en plantación comercial de banano (*Musa* AAA) cv. Valery.

Es importante destacar que el porcentaje de raíz muerta puede ser influenciado no solo por el ataque de *R. similis*, sino también por factores abióticos como la cantidad de agua en el suelo, factor al que estuvieron sometidos todos los tratamientos durante todo el experimento.

Al analizar la actividad del hongo aplicado, se determinó que éste tuvo muy poca o ninguna esporulación en el suelo, ya que las esporas obtenidas en las muestras de suelo no pertenecían al hongo inoculado. Aunque esto podría indicar falta de esporulación en el suelo, no es un indicador de que el hongo micorrízico este inactivo, sino que posiblemente no ha logrado llegar al nivel que le permita esporular más activamente. Esto podría determinarse en un estudio posterior multiplicando las esporas y mediante clasificaciones morfológicas determinar las especies predominantes.

El tiempo de evaluación tanto para las enmiendas orgánicas como para la actividad del hongo micorrízico, deberá ser mayor en futuros estudios para determinar si en el tiempo se producen efectos más notables en el control de *R.similis*, cantidad de raíz funcional, porcentaje de raíz muerta, así como en el incremento del crecimiento y la producción del cultivo.

Literatura citada

- Arias, F; Blanco, FA; Vargas, R; Ferrer, R. 1997. Identificación anatómica y morfológica de especies predominantes de hongos micorriza arbusculares (MA) en agroecosistemas bananeros del Caribe de Costa Rica. CORBANA (Costa Rica) 22(48):61-75.
- Brundrett, M; Bougher, N; Dell, D; Grove, T; Malacjczuck, N. 1986. Working with mycorrhizas in forestry and agriculture. ACIAR monograph.32:184-186.
- Chindo, PS; Khan, FA. 1990. Control of root-knot nematodes, *Meloidogyne* spp. on tomato, *Lycopersicon esculentum* Mill. with poultry manure. Tropical Pest Management 36 (4):332-335.
- Davide, RG. 1996. Overview of nematodes as a limiting factor in *Musa* production. In New Frontiers in Resistance Breeding for Nematode, *Fusarium* and Sigatoka (1995, Kuala Lumpur, Malaysia). Proceedings. Frison, EA; Horry, JP; De Waele, D. Eds. Kuala Lumpur, Malaysia, IPGRI-INIBAP, p 27-31.
- De Brito Alvarez, MA; Gagne, S; Antoun, H. 1995. Effect of compost on rhizosphere microflora of the tomato and the incidence of plant growth-promoting *Rhizobacteria*. Appl. Environ. Microbiol. 61:194-199.
- Dorel, M; Besson, N. 1996. Utilization d' engrais organiques en culture bananière. CIRAD FLHOR Fort de France 27. p. 6.
- Duvón, H. 1998. Control biológico del nematodo del volcamiento *Radopholus similis* en el cultivo del banano *Musa* AAA. Tesis Ing. Agr. Limón, Costa Rica, EARTH. 76 p.
- Gooris, J; D'Herde, CJ. 1972. A method for the quantitative extraction of eggs and second stage juveniles of *Meloidogyne* from soil. Merelbeke, Belgium, Publication of the Stat Nematology and Entomology Research Station,
- Gowen, S; Quénehervé, P. 1990. Nematode parasite of bananas, plantains and abaca. In Luc, M; Sikora, A; Bridge, J. Ed. Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture. Wallingford, United Kindom, CAB International. p.431-460.
- Hussey, RS; Roncadori, RW. 1982. Vascular-arbuscular mycorrhizae may limit nematode activity and improve plant growth. Plant Disease 66:9-14.
- Jaizme-Vega, MC; Tenoury, P; Pinochet, J; Jaumot, M. 1997. Interactions between the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* and *Glomus mosseae* in banana. Plant and Soil 196 (1):27-35.
- Janzen, RA; Cook, FD; McGill, WB. 1995. Compost extract added to microcosms may simulate community-level controls on soil microorganisms involved in element cycling. Soil Biol. Biochem. 27:181-188.
- Koske, RE; Gemma, JN. 1989. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. Mycol. Res. 92(4):486-505.
- Kurle, JE; Pflieger, FL. 1996. The effects of cultural practices and pesticides on VAM fungi. In Pflieger, FL; Linderman, GR. Ed. Mycorrhizae and plant health. St. Paul, Minnesota, APS Press. Symposium Series. p. 103-131.
- Linderman, RG. 1996. Role of VAM fungi in biocontrol. In Pflieger, FL; Linderman, GR. Eds. Mycorrhizae and plant health. St. Paul, Minnesota, APS Press. Symposium Series. p. 1-25.
- Liu, LX; Hsiang, T; Carey, K; Eggens, JL. 1995. Microbial populations and suppression of dollar spot disease in creeping bentgrass with inorganic and organic amendments. Plant Disease 79:144-147.
- Parvathi, K; Venkateswarlu, K; Rao, AS. 1985. Toxicity of soil-applied fungicides to the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* in groundnut. Can. J. Bot. 63:1673-1675.
- Perrin, R; Plenchette, C. 1993. Effect of some fungicides applied as soil drenches on the mycorrhizal infectivity of two cultivated soils and their receptiveness to *Glomus intraradices*. Crop Protection 12: 127-133.
- Stanton, JM. 1994. Status of nematode and weevil borer affecting banana in Australia. In Banana nematode and weevil borers in Asia and the Pacific (1994, Serdang Selangor, Malaysia). Ed. Valmayor, R; Davide, RG; Stanton, JM; Treverrow, NL; Roa, VN. Los Baños, Philippines, INIBAP-ASPNET. p. 48-56.
- Vilich, V; Sikora, RA. 1998. Diversity in Soilborne Microbial Communities a tool for Biological System Management of Root Health. In Boland, GJ; Kuykendall, LD. Ed. Plant-Microbe Interactions and Biological Control. New York, Marcel Dekker. p. 1-14.
- You, MP; Sivasithamparan, K. 1995. Changes in microbial populations of avocado plantation mulch suppressive of *Phytophthora cinnamomi*, Appl. Soil Ecol. 2:33-43.