

Nota técnica

EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE COMPOST Y NEMATICIDA SOBRE LA DINÁMICA DE LAS POBLACIONES DE MICROORGANISMOS, NEMATODOS FITOPARÁSITOS DEL SUELO Y LA SALUD DEL SISTEMA RADICAL EN EL CULTIVO DEL BANANO (*Musa AAA*) SEMBRADO EN DOMOS

María Araya^{1}, Ana Tapia^{**}, Rafael Mata^{***}, Edgardo Serrano^{****}, Oscar Acuña^{***}*

Palabras clave: Compost; nematodos; hongo; bacteria; actinomicete.
Keywords: Compost; nematode; fungi; bacterium; actinomycete.

Recibido: 09/09/13

Aceptado: 22/05/14

RESUMEN

Se evaluó el efecto de la aplicación de 6 dosis de compost más un testigo, en interacción con la aplicación ó no aplicación de nematicida, sobre la dinámica de las poblaciones de microorganismos del suelo (bacterias, hongos y actinomicetes), las poblaciones de nematodos fitoparásitos y la salud del sistema radical en el cultivo del banano. Los resultados obtenidos no indicaron diferencias en las poblaciones de microorganismos con respecto a las diferentes dosis de compost ni con respecto a la aplicación ó no aplicación de nematicida. En cuanto a los índices de diversidad biológica, en las poblaciones de hongos, no se obtuvieron diferencias de acuerdo con las dosis de compost, pero sí en lo referente a la aplicación ó no aplicación de nematicida, siendo mayor en el primer caso para la variable riqueza. La sanidad del sistema radical no difirió con las diferentes dosis de compost ni con ó sin nematicida, solamente hubo diferencias según los

ABSTRACT

The effect of the application of compost and nematicide on the dynamics of microorganism populations, soil phytoparasite nematodes and the root system health in the banana crop (*Musa AAA*) planted on domes. The effect of implementing 6 doses of compost plus a control, interacting with the nematicide application or non-application, on the dynamics of the soil microorganisms population (bacteria, fungi and actinomycetes), the phytoparasite nematode populations and the root system health of the banana crop, were evaluated. The results did not show any difference in microorganism populations in relation to the different compost dose or to the nematicide implementation or non-implementation. Regarding the biological diversity indexes, in the fungus populations no differences were obtained according to the compost dose, but they were in regard to the nematicide application or non-application, being larger with the richness

1 Autor para correspondencia. Correo electrónico: mararaya@corbana.co.cr

* Centro de Investigaciones, CORBANA, Sección de Suelos.

** Universidad de Costa Rica, Sede del Atlántico.

*** Centro de Investigaciones Agronómicas, UCR.

**** Subdirección de Investigaciones, Palma Tica, S.A.

muestreos realizados. Por último, las poblaciones de nematodos fitoparásitos no presentaron diferencias debidas a las dosis de compost, a excepción de *Pratylenchus*. Con respecto a la aplicación de nematicida, todas las poblaciones fueron mayores en el área donde no se aplicó nematicida.

variable in the first case. The root system health did not differ with the different compost doses, nor with or without nematicide; there were only differences depending on the sampling carried out. Finally, the phytoparasite nematode populations did not show any difference due to the compost dose, except for *Pratylenchus*. As regards to the nematicide application, all populations were larger in the area where no nematicide was applied.

INTRODUCCIÓN

La aplicación de enmiendas orgánicas es promovida como una práctica que permite el incremento de las poblaciones de microorganismos benéficos que disminuyen los efectos dañinos de las prácticas convencionales de manejo realizadas (Bulluck et ál. 2002). En el caso específico del cultivo del banano Vargas y Flores (1996) encontraron que las poblaciones de microorganismos se localizan en mayor proporción en áreas de la plantación donde hay contenidos altos de materia orgánica en el suelo.

(Nannipieri et ál. 2003) mencionan que en sistemas estables es esencial una cantidad mínima de especies de microorganismos para mantener el funcionamiento del sistema suelo; por el contrario en ambientes sometidos a cambios constantes es necesario un gran número de especies para mantener la estabilidad de los procesos.

Uno de los factores limitantes en la salud del sistema radical es la presencia de nematodos fitoparásitos, los cuales constituyen el segundo factor biótico que afecta el rendimiento del cultivo y representa de un 5 a un 9% de los costos variables de una plantación (Araya 2003).

La aplicación regular de nematicidas no fumigantes es la práctica más utilizada para el control de nematodos (Araya 2003). Sin embargo,

se ha investigado en la implementación de prácticas alternativas para el control de estos microorganismos que con frecuencia se asocian al uso de nematicidas no fumigantes con la contaminación ambiental y además se sugiere la capacidad de biodegradación por parte de las poblaciones de microorganismos del suelo de algunas moléculas usadas como nematicida debido a su continuo uso (Akhtar y Mahmood 1995, Araya 2004). Una de las alternativas propuestas es la aplicación de enmiendas orgánicas, que por su descomposición producen compuestos con efecto nematicida a la vez que se estimulan las poblaciones de microorganismos antagonistas de nematodos (Akhtar y Abdul 2000).

No obstante estudios previos con enmiendas orgánicas en el cultivo del banano no han determinado el efecto de las mismas a mediano y largo plazo (Soto 2001).

Según lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivo cuantificar el efecto de la aplicación de compost y nematicida sobre la dinámica de las poblaciones de hongos, bacterias y actinomicetes, y nematodos fitoparásitos, asimismo sobre la sanidad del sistema radical en un suelo conformado en domos para el establecimiento de una plantación renovada del cultivo del banano (*Musa AAA*).

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

La investigación se realizó en 3 ha, Finca Mata de Limón en Cariari, Guápiles, Provincia de Limón entre junio del 2004 a mayo del 2006 comprendiendo 2 ciclos productivos del cultivo.

El suelo se conformó en domos de 18 x 47 m; en cada domo la distancia de siembra fue de 2,5 m entre hileras y entre plantas.

Tratamientos

Los tratamientos consistieron de 6 dosis de compost (T2 a T7) y un testigo (T1) sin aplicación. A todos los tratamientos menos el testigo (T₁), se les incorporó 5000 kg.ha⁻¹ (125 sacos de 40 kg.ha⁻¹) de compost al momento de confeccionar los domos, y 1600 kg.ha⁻¹ (un kg.planta⁻¹ al fondo del hueco) a la siembra. Los tratamientos fueron aplicados según la información del Cuadro 1.

La diferencia entre los tratamientos en la primera generación (R₀) se dio en la aplicación de compost post-siembra en la R₀ (primera generación) y se realizó frente a la planta madre (semana 8 a 10 después de la siembra) y en la segunda generación (R₁) se aplicó una dosis de mantenimiento de 5000 kg.ha⁻¹ en los tratamientos del 2 al 4 y en los tratamientos del 5 al 7 se aplicó 10 000, 15 000 y 20 000 kg.ha⁻¹ respectivamente (Cuadro 1), todas las anteriores dosis de mantenimiento fueron aplicadas cuando el 50% de la plantas presentaban floración (semanas 41 a 43 post-siembra) y la aplicación se realizó frente al hijo de sucesión.

Se empleó un diseño de bloques completos al azar con 4 repeticiones con base en las características de suelo, y con arreglo de parcelas divididas (domos) de acuerdo con la aplicación de nematicida, con 6 dosis de compost y un tratamiento testigo.

Cuadro 1. Detalle de los tratamientos según diferentes dosis de compost y generaciones del cultivo.

Tratamientos	Dosis de compost kg.ha ⁻¹	Primera generación (R ₀)*			Segunda generación (R ₁)*
		Siembra	Post- siembra	Mantenimiento	
		Aplicación de Compost incorporado en domos con maquinaria kg.ha ⁻¹	Aplicación al fondo del hueco kg.ha ⁻¹	Aplicación de compost para completar R ₀ kg.ha ⁻¹	Aplicación de compost para mantenimiento kg.ha ⁻¹
1	0	0	0	0	0
2	10000	5000	1600	3400	5000
3	15000	5000	1600	8400	5000
4	20000	5000	1600	13400	5000
5	10000*	5000	1600	3400	10000
6	15000*	5000	1600	8400	15000
7	20000*	5000	1600	13400	20000

*R₀: primera generación, planta madre; R₁ segunda generación, hijo de sucesión.

Metodología de muestreo

Los muestreos de suelo para los recuentos de microorganismos se realizaron aproximadamente cada 8 semanas a partir de la aplicación postsiembra en R_0 (para un total de 7 muestreos). La toma de las muestras de suelo se realizó subdividiendo las áreas a muestrear de acuerdo con las dosis de enmienda orgánica y con la aplicación y no de nematicida a una profundidad de 0 a 20 cm, frente a la planta madre durante la primera generación y en la segunda generación frente al hijo de sucesión (área donde se aplicó el compost); para un total de 56 muestras, cada muestra compuesta de 3 submuestras.

Las muestras se llevaron al Laboratorio de Investigación en la Sede del Atlántico de la Universidad de Costa Rica y se almacenaron a 5°C. Posteriormente se procesaron de acuerdo con la metodología de recuento directo propuesta por Weaver et ál. (1994) con el fin de contabilizar las unidades formadoras de colonias (UFC) de hongos, bacterias y actinomicetes. Para el crecimiento de los hongos se utilizó el medio papa, dextrosa agar (PDA) al cual se le adicionó el antibiótico (Cloranfenicol) y para el crecimiento de las bacterias y actinomicetos se usó agar nutritivo. Simultáneamente se identificaron los géneros de hongos y bacterias con el fin de definir la frecuencia de aparición de los mismos. En el caso de las bacterias, por cada muestreo, se hizo una separación de los morfotipos más comunes y se enviaron al Laboratorio de Investigación en Microbiología Anaerobia de la Facultad de Microbiología de la Universidad de Costa Rica para su identificación.

Las evaluaciones de las poblaciones de nematodos fitoparásitos de importancia en el cultivo (*Radopholus similis*., *Meloidogyne* spp., *Pratylenchus* spp., y *Helicotylenchus* spp.) y de sanidad del sistema radical (raíz total, raíz funcional y no funcional) se realizaron en el Laboratorio de Nematología de CORBANA; con

la metodología descrita en Araya (2002), la cual es una adaptación al método de licuado y tamizado. En total fueron 13 muestreos uno cada mes a excepción del lapso entre el muestreo 1 y 2 que fue de 6 semanas estos incluyeron de la semana 31 hasta la semana 85 después de la siembra. La muestra estaba compuesta de raíces de 3 plantas en cada parcela; una muestra fue tomada de la mitad del domo aplicado con nematicida y otra de la mitad del domo no aplicada. Las aplicaciones de nematicida Oxamil (Vydate®) se realizaron posterior a la siembra en la semana 32 se aplicó en conjunto con la aplicación post-siembra de compost en R_0 , en la semana 52 se aplicó Cadufos (Rugby®), en la semana 69 Fenamifos (Nemacur®) y en la semana 85 Ethoprop (Mocap®).

Los datos de UFC, nematodos y sanidad de las raíces se sometieron a un ANDEVA para determinar posibles interacciones. Se realizó un análisis de contrastes entre todas las dosis de compost y el testigo; así como de los tratamientos 2 y 5, 3 y 6 y 4 y 7 con y sin nematicida. La separación de medias se determinó mediante la prueba de diferencia mínima significativa (DMS) de Fisher, con 95% de confianza ($p=0,05$). Los datos de frecuencia de aparición de géneros de hongos se analizaron con el módulo de índices de diversidad biológica por medio del paquete estadístico Infostat, determinando los índices de Diversidad, Riqueza y Dominancia, para posteriormente realizar un ANDEVA de los valores obtenidos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de compost

El compost utilizado es de denominación Materia Orgánica de Juan Viñas®, producido a base de broza de café y cachaza, y que además se les hicieron 2 pruebas de análisis químicos en base seca (Cuadro 2).

Cuadro 2. Análisis químico del compost Materia orgánica Juan Viñas®.

Muestreo	% en base seca						mg.kg ⁻¹					pH	%			C/N
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B		Humedad	C	MO	
M1 (2004)	2,94	0,51	1,38	1,85	0,34	0,40	12213	84	108	510	50	7,50	63,2	21,9	37,6	7,44
M2 (2005)	1,31	0,51	0,99	4,33	0,39	0,21	32661	89	140	882	18	7,33	17,1	11,6	20,0	8,88

Al comparar con ámbitos de contenido de nutrimentos óptimos para compost, reportados por Paul y Clark 1996, Castro 2005, Meléndez y Soto 2003 y G. Soto, 2007. (UNA. Comunicación personal). Se puede observar que el contenido de N fue adecuado en el primer análisis pero en el segundo muestreo su contenido fue menor estando bajo el nivel óptimo para la mayoría de los niveles citados a excepción de Castro (2005). Los niveles de fósforo fueron óptimos en ambos análisis al igual que para los demás nutrimentos: K, Mg, S, Fe, Cu, y Zn. El pH se encontró en los niveles óptimos en ambos muestreos, mientras que el porcentaje de humedad en el primer muestreo estuvo sobre el nivel adecuado y en el segundo muestreo fue óptimo. La relación C/N fue adecuada en ambos análisis (<20).

El compost aplicado de forma general presentó un buen contenido de nutrimentos en ambos muestreos. Es importante observar que en la segunda aplicación el compost aplicado

presentaba una menor humedad e igualmente un menor contenido de nitrógeno lo que se podría asociar en parte a que en el momento de pérdida de humedad para llegar a 17% se pudo dar una pérdida de NH_4^+ . A su vez la primera aplicación de compost se dio en época seca por lo que es importante que con la alta humedad del compost aplicado se pudiese haber inducido también a pérdidas de N en el campo. Otro factor importante en el compost utilizado el pH estuvo cercano a 7 lo que representa una característica a favor del mismo ya que en los suelos donde se desarrollo el trabajo los pH estaban cercanos al límite mínimo del rango de pH usado en banano por lo que esta enmienda orgánica tiene poca posibilidad de inducir a una acidificación del suelo.

No se obtuvieron diferencias significativas entre las diferentes dosis de compost, con y sin aplicación de nematicida sobre las poblaciones de bacterias, actinomicetes y hongos, tal como se observa en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Efecto de las diferentes dosis de compost y aplicación de nematicidas sobre las poblaciones de bacterias, actinomicetos y hongos.

Variable	Fuente	Tratamiento	Media	pr>F
Bacterias	Dosis de compost	1	5,64	0,8530
		2	5,83	
		3	5,83	
		4	6,18	
		5	5,77	
		6	6,15	
		7	5,77	
Actinomicetos	Dosis de compost	1	6,00	0,3922
		2	6,27	
		3	6,73	
		4	6,41	
		5	6,14	
		6	6,44	
		7	6,34	
Hongos	Dosis de compost	1	4,64	0,1303
		2	4,78	
		3	4,78	
		4	4,83	
		5	4,93	
		6	5,03	
		7	5,15	
Bacterias	Nematicida	Aplicado	5,77	0,1423
		Sin aplicar	5,99	
Actinomicetos	Nematicida	Aplicado	6,34	0,8246
		Sin aplicar	6,32	
Hongos	Nematicida	Aplicado	4,93	0,1106
		Sin aplicar	6,82	

*Los valores de medias se encuentran en unidades de $\text{Log}_{10}\text{UFC.g}^{-1}$ suelo seco.

**Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

En cuanto al Cuadro 3, se observa que los valores en las poblaciones de bacterias al evaluar sólo el efecto de las dosis de compost los valores encontrados son clasificados como bajos según las tablas de valores de UFC óptimos que se encuentran en O. Acuña. 2007. (UCR. Recuento de UFC Microorganismos.g⁻¹ suelo seco. Comunicación personal) y Uribe 1999. Con respecto al efecto de la aplicación de nematicida sobre dicha población se obtuvieron valores de UFC que van de medios a altos tanto en las áreas aplicadas como no aplicadas. En las poblaciones

de actinomicetos se observa que de acuerdo con la dosis de compost estas fueron bajas y con la aplicación de nematicida los valores van de normales a altos en ambas áreas. Las poblaciones de hongos fueron igualmente bajas en lo referente al efecto de la dosis de compost, pero los valores en las poblaciones cuando se aplicó o no se aplicó nematicida fueron de normales a altos.

La interacción de dosis de Compost x Nematicida en las poblaciones de hongos fue estadísticamente significativa ($p=0,0159$) como se observa en la Figura 1.

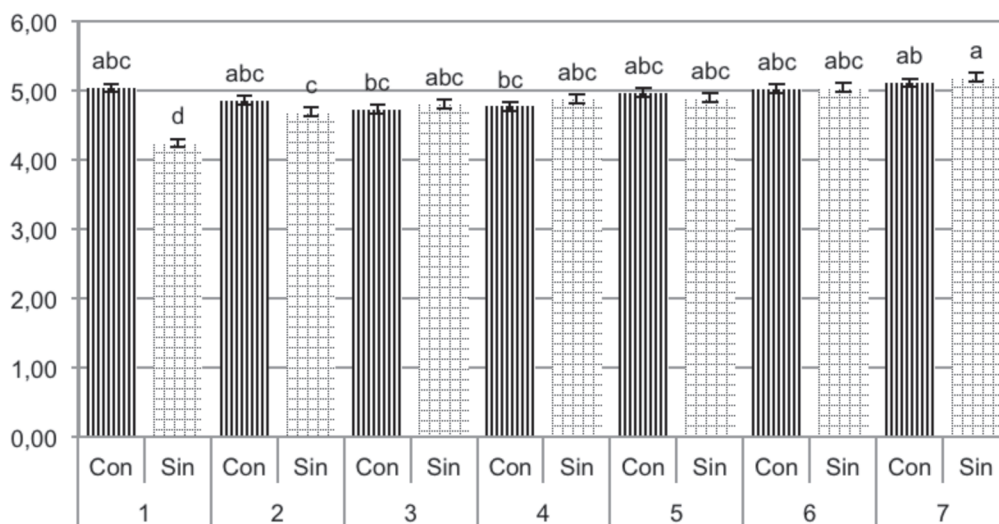


Fig. 1. Efecto de la interacción dosis de compost x nematicida sobre Log UFC de hongos g^{-1} suelo seco. Cariari, Finca mata de Limón 1, 2004-2005.

Se observa en la misma que en el caso de la dosis de compost (T_1 =testigo) sin compost (T_1) existe mayor cantidad de UFC de hongos en el tratamiento con nematicida comparado con el que no recibió aplicación. Este comportamiento puede ser explicado en parte con las investigaciones realizadas por Racke y Coast (1987), Jones y Norris (1998), Araya (2004), Das y Mukherjee (2000) en los cuales señalan que los microorganismos del suelo tienen la capacidad de biodegradar los nematicidas parcial o totalmente, según la molécula constituyente y la forma en que cada población se adapta al producto y el aprovechamiento de los subproductos de la biodegradación como fuente de carbono, energía y nutrientes. Por otro lado debido a la muerte de los nematodos por la exposición al nematicida pudo existir una mayor disponibilidad de espacio y alimento lo que aprovecharon los hongos para incrementar su población. Además, en el tratamiento (T_1) sin nematicida, el

suelo presentó un porcentaje de carbono orgánico promedio de sólo 1%; lo que posiblemente representó una fuente de energía escasa que afectó las poblaciones de hongos y estimula la biodegradación del nematicida.

En los demás tratamientos (T_2 a T_7) se observó un aumento en el número de UFC de hongos con y sin nematicida conforme aumentó la cantidad de compost. Wooster et ál. (1994) y Sikora y Stott (1996) afirman que la adición de materia orgánica al suelo favorece el desarrollo de las poblaciones de microorganismos debido a la mejora de las propiedades del suelo tales como mayor aireación, adecuado movimiento del agua y sobre todo mayores fuentes de carbono y otros elementos necesarios para el crecimiento de los mismos. En lo que respecta al aprovechamiento de la materia orgánica del suelo como fuente de energía, (Coyne 2000) señaló que los hongos son entre 30 a 40% más eficientes que las bacterias en términos de relación CO_2 respirado y carbono

asimilado. En los tratamientos testigo el aporte de carbono se pudo dar mayormente por parte del nematicida pero en los demás tratamientos este efecto pudo no ser tan notorio debido a la capacidad de la materia orgánica de adsorber plaguicidas (insecticidas y herbicidas entre otros) tal como lo indicó Stevenson (1982) y más puntualmente adsorción de moléculas de nematicidas (Jones y Norris 1998, Pantelelis et ál. 2006 y USDA 2009).

Índices de diversidad biológica

En los índices de diversidad biológica no se encontraron diferencias significativas para las poblaciones de hongos en diversidad y dominancia, lo que indica que en general las poblaciones poseen igual diversidad con las diferentes dosis de compost con y sin nematicida y que no existe un género de hongo predominante. Por el contrario, se obtuvo diferencias significativas en el índice de riqueza (número de géneros) ($p \leq 0,0001$) con el uso ($\mu = 8,89^a$ y $\mu = 7,68^b$ respectivamente) y en la interacción nematicida x dosis de compost ($p \leq 0,0030$). Los valores mayores de riqueza se tendieron a concentrar en los tratamientos con aplicación de nematicida y con las dosis más altas de enmienda orgánica, mientras que los valores menores de riqueza se observaron en los tratamientos sin nematicida y con dosis bajas de enmienda orgánica (Cuadro 4). Los géneros de hongos que se encontraron únicamente en el área con aplicación de nematicida fueron *Aspergillus*, y *Stilbum*. En términos de porcentaje de aparición en el área aplicada los 3 géneros más frecuentes fueron: *Penicillium* (62%), *Trichoderma* (8%) y *Paecilomyces* (5%); mientras que en área sin aplicación fueron: *Penicillium* (60%), *Trichoderma* (9%) y *Fusarium* (6%). Al respecto (Das y Mukherjee 2000) señalan que posterior a la aplicación de diferentes insecticidas al suelo, entre

Cuadro 4. Valores de riqueza para las poblaciones de hongos, en la interacción nematicida x dosis de compost**.

Nematicida	Dosis de compost	Riqueza
Aplicado	1	8,00 ^{abcd}
Aplicado	2	9,00 ^{ab}
Aplicado	3	9,25 ^a
Aplicado	4	9,25 ^a
Aplicado	5	8,25 ^{abcd}
Aplicado	6	9,25 ^a
Aplicado	7	9,25 ^a
Sin aplicar	1	7,50 ^{cd}
Sin aplicar	2	7,50 ^{cd}
Sin aplicar	3	6,25 ^e
Sin aplicar	4	7,00 ^{de}
Sin aplicar	5	8,75 ^{abc}
Sin aplicar	6	7,75 ^{bcd}
Sin aplicar	7	9,00 ^{ab}

*Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

**Según Duncan.

ellos algunos con efecto nematicida, los géneros de hongos que predominaron en el suelo fueron en orden de importancia *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium*. Araya (2004) informó que los géneros *Trichoderma* y *Penicillium* se encuentran relacionados con la biodegradación de plaguicida.

Sanidad del sistema radical

En el caso de la sanidad del sistema radical, las variables evaluadas (raíz total, raíz funcional, % de raíz funcional, raíz no funcional y % de raíz no funcional) no presentaron diferencias en cuanto a las dosis de compost ni con respecto a la aplicación o no aplicación de nematicida; sólo se encontraron diferencias significativas en cuanto a los diferentes muestreos tal como se puede observar en caso de la Figura 2.

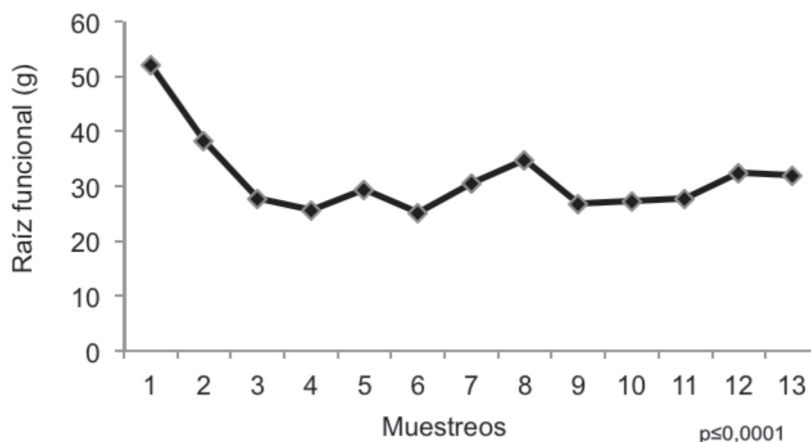


Fig. 2. Comportamiento de la variable raíz funcional en los diferentes muestreos. Cariari, 2004-2005.

Se puede observar que en el caso de la variable raíz funcional los muestreos que difirieron fueron el 1 con respecto al muestreo 2 y ambos (1 y 2) difieren con respecto a los demás muestreos. Este comportamiento puede asociarse en parte a que, en los muestreos 1 y 2 las plantas poseían gran cantidad de raíz sana ya que en estas etapas del cultivo las poblaciones de nematodos se mantenían bajas. En general variables de sanidad del sistema radical presentaron valores óptimos en el primer muestreo pero de graves a alertas hasta graves en los subsecuentes muestreos de acuerdo con M. Araya. 2006. (Parámetros de interpretación de análisis de nematológicos en muestreos de raíz en plantas de banano. Comunicación personal). Este mismo comportamiento es reportado por Calvo y Araya (2001) los cuales señalan que las variables de raíz funcional y no funcional responden en mayor a la precipitación y a las diferencias en las condiciones edáficas.

Poblaciones de nematodos fitopatógenos

En cuanto a las poblaciones de nematodos sólo en el caso de *Pratylenchus* spp., se

observaron diferencias estadísticas con respecto a las dosis de compost tal como se observa en el Cuadro 5.

En el Cuadro 5 se observa el efecto de las dosis de compost sobre la población de *Pratylenchus* spp., la cual según Araya (2003) constituye el cuarto género de importancia como nematodo patógeno del cultivo del banano. Los datos

Cuadro 5. Efecto de las diferentes dosis de compost sobre la población de *Pratylenchus* spp.

Dosis de compost (kg.ha ⁻¹)	Media (Nº de <i>Pratylenchus</i> /100 g de raíz)
6 (15 000')	423 ^a
3 (15 000)	162 ^{ab}
1 (Testigo)	158 ^{ab}
4 (20 000)	150 ^{ab}
2 (10 000)	146 ^{ab}
7 (20 000')	77 ^{ab}
5 (10 000')	69 ^b

*Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

**Según Duncan.

indican que la dosis de 20 ton.ha⁻¹.ciclo productivo⁻¹ fue en la que se tuvo la población más de éste género en la dosis T₅ con respecto a la dosis T₆. Al respecto Akhtar y Abdul 2000 refieren que las cantidades de enmiendas orgánicas encontradas que pudieron provocar un cambio en la microfiora fueron de más de 5 ton.ha⁻¹; lo cual se logró en todas las dosis de compost excepto en el testigo (0 ton.ha⁻¹.ciclo productivo⁻¹). Sin embargo es importante rescatar que los valores observados en el presente ensayo en cuanto a las poblaciones de *Pratylenchus* spp., en las diferentes dosis de compost incluyendo el testigo se encuentran por debajo del umbral de densidad crítica considerado como alerta (6000 a 8000 nematodos por cien gramos de raíz) según M. Araya 2006 (Comunicación personal). En la literatura se pueden encontrar varios informes sobre el efecto de las enmiendas orgánicas sobre las poblaciones del género *Pratylenchus* spp., así es como Muller

y Gooch (1982) señalaron que el efecto de las enmiendas orgánicas sobre los nematodos no es un efecto directo sobre los individuos sino que lo que se propicia es el desarrollo de las poblaciones de microorganismos antagonistas; Bridge (1996), encontró que con la aplicación de residuos de mazorcas de cacao se logró un marcado control de la población de *Pratylenchus* spp., en maíz en Nigeria, y en el cultivo del banano Sundararaju y Cannayane (2004) señalan que para el control de *Pratylenchus* spp., lo constituye el uso de enmiendas orgánicas y que el uso de tortas de Neem tuvo un control similar al uso de Carbofuran 3G.

En relación con las poblaciones de nematodos fitoparásitos y su efecto debido a la aplicación y no aplicación de nematicida se puede observar que todas las áreas no aplicadas presentaron un mayor número de individuos que las áreas aplicadas (Cuadro 6).

Cuadro 6. Efecto de la aplicación y no aplicación de nematicida sobre las principales poblaciones de nemátodos patógenos en banano (*Musa*).

Nematodo	Nematicida (individuos/100g de raíz)	Probabilidad
<i>Radopholus similis</i>	Con (9975) ^b	0,0018
	Sin (15 155) ^a	
<i>Meloidogyne</i> spp.	Con (374) ^b	0,0401
	Sin (613) ^a	
<i>Pratylenchus</i> spp.	Con (88) ^b	0,0020
	Sin (250) ^a	
<i>Helicotylenchus</i> spp.	Con (124) ^a	0,1300
	Sin(198) ^a	
Nematodos totales	Con (10 561) ^b	0,0010
	Sin(16 044) ^a	

*Letras distintas indican diferencias significativas (p≤0,05).

**Según Duncan.

Las poblaciones de *Radopholus similis* y nematodos totales tanto en las áreas con y sin nematicida se encuentran sobre los umbrales considerados como graves (8000 y 10 000

respectivamente). Además se observa que el nematodo de mayor importancia debido a la densidad de población fue *Radopholus similis* lo que concuerda con Araya 2004. En el caso

de *Pratylenchus* spp., y *Meloidogyne* spp., sus poblaciones están debajo de la densidad crítica (6000 a 8000 para el primer género y 1000 individuos para el segundo).

A su vez en las poblaciones de nematodos evaluadas se encontraron diferencias estadísticas en los muestreos, tanto para *Radopholus similis* ($p \leq 0,0001$), Figura 3 *Helicotylenchus* spp. ($p = 0,05$), *Meloidogyne* spp. ($p = 0,0077$), *Pratylenchus* spp. ($p \leq 0,0001$) y nematodos totales

($p \leq 0,0001$), Figura 4. Lo que indica que las poblaciones de nematodos variaron sus poblaciones en el tiempo, comportamiento que podría asociarse al factor precipitación. Al respecto Ayuso (2002) reportó diferencias en las poblaciones de *R. similis* en los diferentes muestreos (tiempo) al utilizar diferentes enmiendas (gallinaza, compost y bocashi) con y sin la combinación con micorrizas (*Glomus* sp.).

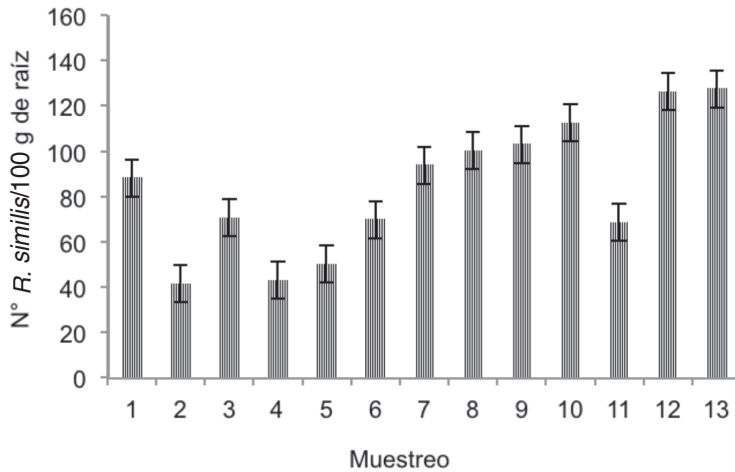


Fig. 3. Comportamiento de la población de *Radopholus similis*. Cariari, 2004-2005 en los diferentes muestreos.

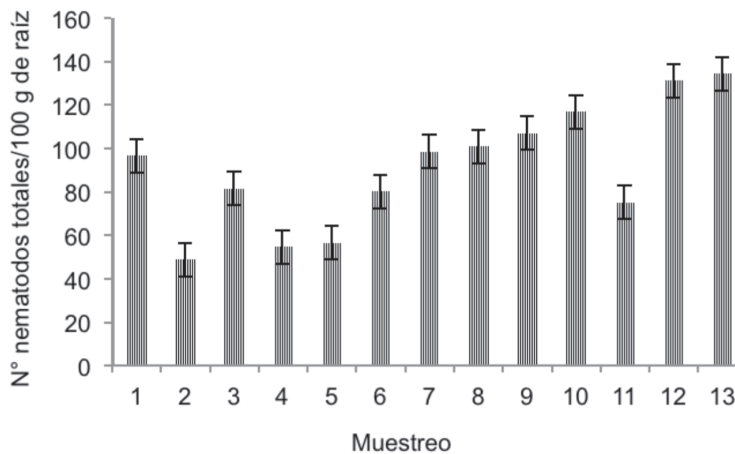


Fig. 4. Comportamiento de la población de nematodos totales en los diferentes muestreos. Cariari, 2004-2005.

En general se observó que la sumatoria de los distintos géneros evaluados (nematodos totales) está fuertemente relacionada con el comportamiento de la población de *R. similis* la cual tal y lo como señala Araya (2003) es la población de nematodos de mayor importancia en el cultivo del banano. Además Franco y Muñoz (2004) manifestaron que las poblaciones de nematodos fluctúan con el tiempo, ya que reaccionan a cambios de temperatura y humedad del suelo así como la disponibilidad de tejido para invadir.

En la variable número de *Radopholus similis* ($p \leq 0,0001$), número de *Meloidogyne* spp. ($p = 0,0029$), *Pratylenchus* spp. ($p \leq 0,0001$) y nematodos totales ($p \leq 0,0001$) se encontraron diferencias en la interacción nematocida x muestreo. En general se puede observar que todos los géneros de nematodos presentaron mayores poblaciones en las áreas donde no se aplicó nematocida en comparación con las áreas que si recibieron aplicación.

CONCLUSIONES

Las poblaciones de microflora evaluadas no presentaron diferencias por efecto de la aplicación de enmienda orgánica ni de nematocida.

Las diferencias en las poblaciones de hongos obtenidas en la interacción nematocida por compost; podrían asociarse a la biodegradación acelerada de los productos nematocidas utilizados.

En lo referente a la evaluación de índices de diversidad biológica (diversidad, equidad y riqueza) en las poblaciones de hongos del suelo no se observaron diferencias con respecto a las dosis de compost evaluadas. En el caso del efecto de aplicar y no aplicar nematocida se encontró una mayor riqueza en donde se aplicó nematocida que donde no se aplicó.

Las variables de sanidad radical no difirieron de acuerdo con las dosis de compost ni con la aplicación de nematocida; sólo se observaron diferencias entre los diferentes muestreos evaluados, observándose un detrimento en la variable raíz funcional a lo largo de las diferentes evaluaciones y por consiguiente un aumento en la raíz

no funcional; aunque los valores en las variables radicales evaluadas siempre fueron considerados como bajos o graves.

Las poblaciones de nematodos no presentaron diferencias en cuanto a la dosis de compost a excepción de *Pratylenchus* que si presentó diferencias. En cuanto a la aplicación de nematocida las poblaciones fueron mayores en las áreas sin aplicación de nematocida con respecto a las que recibieron aplicación.

LITERATURA CITADA

- AKHTAR M., ABDUL M. 2000. Roles of soil amendments and soil organisms in the biological control of plant parasitic nematodes: a review. *Bioresource Technology* 74:35-47.
- AKHTAR M., MAHMOOD I. 1995. Control of root-knot nematode *Meloidogyne incognita* in tomato plants by seed coating with Achook and neem oil. *International Pest Control* 37:86-87.
- ARAYA M. 2002. Metodología utilizada en el laboratorio de nematología de CORBANA S.A. para la extracción de nematodos de las raíces de banano (*Musa* AAA) y plátano (*Musa* AAB). *CORBANA* 28(5):97-110.
- ARAYA M. 2003. Los nematodos parásitos de *Musa* AAA (Subgrupo Cavendish cvs. "Grand Nain", "Valery" y Williams"). In: *Symposium internacional: Sistema radical del banano: hacia un mejor conocimiento para su manejo productivo, Programa y resúmenes*. San José, Costa Rica. p. 57.
- ARAYA M. 2004. La biodegradación acelerada de nematocidas no-fumigantes en plantaciones comerciales de banano (*Musa* AAA), pp. 113-125. In: *Memorias XVI Reunión ACORBAT*. Oaxaca, México.
- AYUSO F. 2002. Efecto de enmiendas orgánicas y de un hongo micorrítico sobre *Radopholus similis* en banano (*Musa* AAA cv. Valery). *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica)* 65:82-91.
- BRIDGE J. 1996. Nematode management in sustainable and subsistence agriculture. *Annual Review Phytopathology* 34:201-225.
- BULLUCK L.R., BROSIUS M., EVANYLO G.K., RISTAINO J.B. 2002. Organic and synthetic fertility amendments influence soil microbial, physical and chemical properties on organic and conventional farms. *Applied Soil Ecology* 19:147-160.
- CALVO C., ARAYA M. 2001. Cantidad de raíces de banano en los diez cantones productores de Costa Rica. *CORBANA* 27(54):47-64.
- CASTRO A. 2005. Capacidad de algunos tipos de abonos orgánicos para suplir N, P y K. Tesis de

- licenciatura. Turrialba, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 118 p.
- COYNE M. 2000. Microbiología de suelos: un enfoque exploratorio. Madrid, ES. Paraninfo. p. 139.
- DAS A.C., MUKHERJEE D. 2000. Soil application of insecticides influences microorganisms and plant nutrients. *Applied Soil Ecology* 14:55-62.
- FRANCOO., MUÑOZN. 2004. Medición de la sostenibilidad de la finca bananera de Universidad EARTH: Nematodos y materia orgánica como indicadores de calidad de suelo. Tesis de licenciatura, EARTH (Escuela de Agricultura de la Región del Trópico Húmedo). 79 p.
- JONES R.L., NORRIS F.A. 1998. Factors affecting degradation of Alicarb end Ethoprop. *Journal of Nematology* 30(1):45-55.
- MELÉNDEZ G., SOTO G. 2003. Indicadores químicos de calidad de abonos orgánicos, pp: 50-63. In: Taller Abonos Orgánicos: principios, aplicaciones, e impacto en la agricultura. (San José, Costa Rica).
- MULLER R., GOOCH P.S. 1982. Organic amendments in nematode control: An examination of the literature. *Nematropica* 12(2):319-326.
- NANNIPIERI P., ASCHER J., CECCHERINI M.T., LANDI G., PIETRAMELLARA G., RENELLA G. 2003. Microbial diversity and soil functions. *European Journal of Soil Science* 54:655-670.
- PANTELELIS I., KARPOUZAS D.G., SPIROUDI U.M., SIROPOULOS N. 2006. Influence of soil physicochemical and biological properties on the degradation and adsorption of the nematicida Fosthiazate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54:6783-6789.
- PAUL E.A., CLARK F.E. 1996. Soil microbiology and biochemistry 2da ed. Academic Press, Inc. California, USA. 340 p.
- RACKE K.D., COAST J.R. 1987. Enhanced degradation of Isofenphos by soil microorganisms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 35:94-99.
- SIKORA L.J., STOTT D.E. 1996. Soil carbon and nitrogen, pp. 157-167. In: J.W Doran and J. Jones eds. *Methods for assessing soil quality*. SSSA (Soil Science Society of America) Spec. Public 49.
- SOTO E. 2001. Efecto de diferentes dosis de gallinaza y dos formas de aplicación en el suelo, sobre la producción. In: J. Sandoval. Informe anual 2001. CORBANA. San José, Costa Rica.
- STEVENSON F. 1982. *Humus chemistry: Genesis, composition, reactions*. 2nd ed. John Wiley and Sons. New York. p. 302.
- SUNDARARAJU., CANNAYANE. 2004. Efficacy of biocontrol agents against *Pratylenchus coffeae* and *Meloidogyne incognita*. In: 1st International Congress on *Musa*: Harnessing research to improve livelihoods. (Penang, Malaysia). p. 157.
- URIBE L. 1999. Uso de indicadores microbiológicos de suelos: ventajas y limitantes, pp. 39-47. In: *Memorias XI congreso Agronómico Nacional/III Congreso Nacional de Suelos: El reto es producir y competir*. (San José, Costa Rica).
- USDA 2009. Soil amendments instead of methyl bromide. Consultado: 20 junio del 2009. Disponible en www.usda.gov/is/np/mba/jan97/amend.htm
- VARGAS R., FLORES C.L. 1996. Fluctuaciones poblacionales de microorganismos en suelos dedicados al cultivo de banano (*Musa AAA*). *CORBANA* 21(45):11-18.
- WEAVER F., ANGLE J., BOTTOMLEY P. 1994. *Methods of soil analysis. II Part. Microbiological and biochemical properties*. N°5. Soil Science Society of American Book Series. USA. 1121 p.
- WOOMER P.L., MARTIN A., ALBRECHT A., RESCK DVS., SCHARPENSEEL H.W. 1994. The importance and management of soil organic matter in the tropics, pp. 47-80. In: P.L Woomer and M.J Swift eds. *The biological management of tropical soil fertility*. West Sussex, UK. JohnWiley & Sons.

