



Fitosanidad

ISSN: 1562-3009

n hernandez@inisav.cu

Instituto de Investigaciones de Sanidad

Vegetal

Cuba

Araya Vargas, Mario; Serrano Elizondo, Edgardo; Vargas Calvo, Alfonso  
RELACIÓN ENTRE EL CONTENIDO DE NUTRIENTES EN SUELO Y RAÍCES DE BANANO (MUSA  
AAA) CON EL PESO DE RAÍCES Y NÚMERO DE NEMATODOS

Fitosanidad, vol. 15, núm. 3, septiembre, 2011, pp. 163-177

Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal

La Habana, Cuba

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=209122682006>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

## RELACIÓN ENTRE EL CONTENIDO DE NUTRIENTES EN SUELO Y RAÍCES DE BANANO (*MUSA AAA*) CON EL PESO DE RAÍCES Y NÚMERO DE NEMATODOS

Mario Araya Vargas,<sup>1</sup> Edgardo Serrano Elizondo<sup>2</sup> y Alfonso Vargas Calvo<sup>3</sup>

<sup>1</sup> AMVAC de Costa Rica P.O. Box: 825-4100 Grecia, Alajuela, Costa Rica (Exemplar de Corbana), marioa@amvac-chemicalcr.com

<sup>2</sup> Compañía Palma Tica, Apdo. 30-1000, San José (Exemplar de Corbana)

<sup>3</sup> Dirección de Investigaciones Corbana, Apdo. 390-7210 Guápiles, Costa Rica, mario@amvac-chemicalcr.com

### RESUMEN

Se estudió la relación entre el contenido de nutrientes en suelo o raíces con peso de raíces y número de nematodos a partir de resultados comerciales de 1997-2002, con muestras pareadas de un muestreo puntual y de 12 muestreos sucesivos en dos fincas bananeras. Los valores de nutrientes en suelo o raíces se correlacionaron con peso de raíz total, funcional y número de nematodos en raíces de banano. Conforme aumentó el contenido de Ca ( $r = 0.86; P = 0.0248$ ), P ( $r = 0.81; P = 0.0502$ ) y Mn ( $r = 0.89; P = 0.0169$ ) en suelo, aumentó el número de *Helicotylenchus spp.* en las raíces. Incrementos en el contenido de materia orgánica ( $r = -0.89; P = 0.0169$ ) disminuyeron el número de *Helicotylenchus spp.* en las raíces. El número de *Radopholus similis* y nematodos totales en las raíces y el contenido de raíces no correlacionó con ninguna de las variables de suelo estudiadas. En las raíces conforme aumentó el Fe y Cu, disminuyó el número de *R. similis* ( $r = -0.64; P = 0.0008, r = -0.70; P = 0.0001$ ) y nematodos totales ( $r = -0.65; P = 0.0006, r = -0.66; P = 0.0005$ ), respectivamente. Incrementos en el contenido de Mn en las raíces redujeron el número de *Radopholus similis* ( $r = -0.80; P < 0.0001$ ) y nematodos totales ( $r = -0.74; P < 0.0001$ ). Conforme aumentó el contenido de Ca en las raíces, decreció el número de *R. similis* ( $r = -0.60; P = 0.0019$ ) y nematodos totales ( $r = -0.57; P = 0.0037$ ). Se requieren futuros estudios que evalúen el efecto de la nutrición en el número y daño de los nematodos y el efecto de los nematodos en la absorción de nutrientes.

Palabras claves: *Helicotylenchus spp.*, *Meloidogyne spp.*, *Pratylenchus spp.*, *Radopholus similis*

### ABSTRACT

The relationship between soil or root nutrient content with root weight and number of banana root (*Musa AAA*) nematodes was studied by analyzing commercial results from 1997-2002, comparing paired samples from a punctual sampling and assessing 12 successive samplings within two farms. The soil or roots nutrient values correlated with total and functional root weight and number of nematodes in the banana roots. As Ca ( $r = 0.86; P = 0.0248$ ), P ( $r = 0.81; P = 0.0502$ ) and Mn ( $r = 0.89; P = 0.0169$ ) soil content increased, the number of *Helicotylenchus spp.* increased in the roots. Increments in soil organic matter ( $r = -0.89; P = 0.0169$ ) decreased *Helicotylenchus spp.* numbers in the roots. *Radopholus similis* and total nematodes numbers did not correlate with any of the soil variables studied. As Fe and Cu in the root increased, the number of *R. similis* ( $r = -0.64; P = 0.0008, r = -0.70; P = 0.0001$ ) and total nematodes ( $r = -0.65; P = 0.0006, r = -0.66; P = 0.0005$ ) decreased, respectively. Increments in root Mn content decreased *R. similis* ( $r = -0.80; P < 0.0001$ ) and total nematodes ( $r = -0.74; P < 0.0001$ ) numbers. As Mn content increased, numbers of *R. similis* ( $r = -0.60; P = 0.0019$ ) and nematodes ( $r = -0.57; P = 0.0037$ ) decreased. More research is needed to evaluate the effect of plant nutrition on the number and damage of nematodes and the effect of nematodes on nutrients up take is suggested.

Key words: *Helicotylenchus spp.*, *Meloidogyne spp.*, *Pratylenchus spp.*, *Radopholus similis*

### INTRODUCCIÓN

La producción de un agroecosistema de banano depende de factores abióticos y bióticos. Dentro de los factores abióticos las características físico-químicas del sue-

lo son determinantes junto con las condiciones climáticas para una producción eficiente. En Costa Rica existe una gran demanda de producción comercial de banano para la exportación.

se define básicamente en función de la ubicación geográfica y del origen del suelo en tres zonas [López y Solis, 1991]: oeste (cantones Sarapiquí, Pococí y Guácimo), este (cantones de Siquirres, Matina y Talamanca), ubicadas ambas en la Vertiente Atlántica o Caribe, y sur (cantones de Osa, Golfito y Corredores) localizada en el Pacífico del país. La división de la Vertiente Atlántica en zona este y oeste se hace con la separación natural del cauce del río Reventazón, y el nombre de cada zona se deriva de su ubicación con respecto a la posición del río [Dondoli *et al.*, 1968; Lara, 1970; Jiménez, 1972]. Los suelos de la zona oeste son de origen volcánico, y sedimentario los de las zonas este y sur.

En sistema radical, además de proveerle sostén a la planta, interviene en la absorción de agua y nutrientes, así como en el intercambio de sustancias de crecimiento con el tallo. De acuerdo con López y Espinoza (1995), de los 16 nutrientes normalmente reconocidos como esenciales para la planta, 13 son suplidos por el suelo y absorbidos por la raíces. Acevedo (1997) determinó en el cv. Grande Naine (*Musa AAA*) una correlación negativa ( $r = 0,40$ ;  $P = 0,0097$ ) entre la concentración de Fe en el suelo y el peso de la raíz funcional. Esta respuesta no fue congruente con el resultado de Vargas (1999), quien bajo condiciones de toxicidad de Fe en medio hidropónico con el cv. Grande Naine (*Musa AAA*) no encontró reducción, y por el contrario, hubo un ligero incremento en el peso fresco de las raíces con el exceso inducido de dicho nutriente. El mismo autor observó ausencia de respuesta sobre el peso fresco de las hojas en presencia de niveles tóxicos de Fe y Mn, y sugirió un escaso o inexistente efecto de la toxicidad inducida de estos oligonutrientes sobre el sistema radical.

Similares resultados fueron observados por Vargas (2001) en plátano (*Musa AAB*, cv. Hartón semigigante), donde plantas con síntomas de toxicidad de Mn en domos de reciente construcción no expresaron reducción en el crecimiento ni en la productividad; no obstante, Acevedo (1997) encontró una correlación negativa entre el contenido de Mn en las raíces y el peso de la raíz funcional ( $r = -0,32$ ;  $P = 0,047$ ) y positiva entre el Fe y el Mn y el peso de la raíz no funcional ( $r = 0,64$ ;  $P = 0,0001$  y  $r = 0,71$ ;  $P = 0,0001$ , respectivamente). Cuando la concentración de Fe en las raíces alcanzó de 1000 a 1500 mg/kg la masa radical disminuyó notoriamente.

En el cultivo del banano los nematodos son el factor biótico que más afecta negativamente el desarrollo y la sanidad del sistema radical al reducir la producción.

La relación de dichos nematodos con los nutrientes del suelo y las raíces ha sido poco estudiada. Tabora et al. (2002) sugirieron que la toxicidad en el suelo de Fe y Zn favorece la infección por nematodos en las raíces de banano. De acuerdo con Acevedo (1997), existe tendencia a encontrar más nematodos en las raíces conforme aumenta el contenido de Fe en ellas, especialmente a partir de 1000 mg/kg; sin embargo, Ferreira et al. (2006) no encontraron una correlación entre el contenido de nutrientes en el suelo y el número de *R. similis* en bananos del cultivar Prata Ana (*Musa AAB*). El objetivo del presente estudio fue determinar la relación entre el contenido de nutrientes en el suelo o en las raíces con el peso de raíces y número de nematodos en banano.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron tres estudios para determinar la relación entre el contenido de elementos en el suelo o las raíces y el peso de raíces y número de nematodos.

### 1. Relación entre el contenido de nutrientes en el suelo con el peso de raíces y número de nematodos en plantaciones comerciales de banano

Se analizaron datos de plantaciones comerciales de banano de los cantones de Sarapiquí, Pococí, Guácimo (zona oeste), Siquirres, Matina y Talamanca (zona este) pertenecientes a la zona Atlántica o Caribe de Costa Rica, más los cantones de Osa, Golfito y Corredores (zona sur) en el Pacífico del país. La precipitación anual y su promedio mensual de algunos de los cantones productores revelaron un mínimo anual de 2250 mm y un máximo de 5750 mm. Los promedios mensuales mostraron que de enero a abril fueron los meses de menor precipitación. Todas las plantaciones disponen de red de drenajes primarios, secundarios y terciarios para la evacuación de los excesos de agua interna y superficial durante las precipitaciones intensas.

Las plantas florecidas se apuntalaron con doble cuerdas de nailon a las plantas vecinas o con una cuerda de nailon al cable aéreo. El control de sigatoka negra (*Mycphaerella fijiensis*, Morelet) se mantuvo en forma individualizada con deshoja, despunta, deslaminado y mediante aspersiones foliares alternas de fungicidas sistémicos protectantes en mezcla con agua o aceite agrícola. La fertilización se realizó cada dos, tres o cuatro semanas con fórmulas integrales que supieron 300-400 kg N, 0-50 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 400-500 kg K<sub>2</sub>O, 50-150 kg MgO y 100 kg S por hectárea. El CaCO<sub>3</sub> se aplicó hasta 1000 kg/ha.

de acuerdo con los requerimientos. El deshije se realizó cada ocho semanas y se regularon las unidades de producción a madre, hijo y nieto, en forma lineal en plantaciones sembradas en tresbolillo y con deshije direccionado en plantaciones establecidas en doble surco.

En el estudio se consideraron los datos de los años 1997-2002 de las bases de datos de las secciones de Suelos y Nematología de Corbana, de forma que coincidieran con el mismo mes para cada una de las fin-

cas bananeras. Las muestras se organizaron por cantón de procedencia. El número de muestras, nematodos y suelo por cantón se indican en las tablas 1 y 2. Las plantaciones muestreadas tienen un amplio rango de edad, desde los tres hasta los cinco años de establecidas, con aplicaciones regulares de nematicida. Los clones cultivados son Grande Naine, Williams y el Valery, todos del subgrupo Cavendish (*Musa AAA*).

**Tabla 1. Poblaciones (media) de nematodos por 100 g de raíces y contenido (g) de raíces en los diferentes cantones productores de banano (*Musa AAA*) entre 1997 y 2002**

Cantón	Nf	Nm	Rs	He	Me	Pr	Nt	Rt	Rf
Sarapiquí	3	202	12 245	395	606	129	13 375	62	51
Pococí	13	359	14 334	307	252	64	14 959	88	66
Guácimo	10	300	15 345	1584	765	180	17 874	75	58
Siquirres	7	315	16 011	1696	1297	137	19 142	93	75
Matina	12	155	11 583	2094	607	188	14 474	108	85
Talamanca	5	415	12 035	2875	626	259	15 791	71	60
Zona Sur*	9	133	21 819	7685	565	224	30 293	60	50

Nf: Número de fincas por cantón, Nm: Número de muestras analizadas, Rs: *Radopholus similis*, He: *Helicotylenchus* spp., Me: *Meloidogyne* spp., Pr: *Pratylenchus* spp., Nt: Nematodos totales (*Radopholus similis* + *Helicotylenchus* spp. + *Meloidogyne* spp. + *Pratylenchus* spp.), Rt: Raíz total, y Rf: Raíz funcional

\* Zona sur incluye muestras de los cantones de Osa, Golfito y Corredores.

**Tabla 2. Promedios de 1997 a 2002 de pH, nutrientes y materia orgánica en muestras de suelo en los diferentes cantones productores de banano (*Musa AAA*)**

Cantón	Nf	Nm	pH	AE	Ca	Mg	K	P	Fe	Cu	Zn	Mn	MO		
					cmol/L					mg/L					
Sarapiquí	3	216	5,2	1,3	7,7	2,8	1,3	21,6	282	6,7	1,7	31,5	3,4		
Pococí	13	579	5,1	1,4	8,2	2,6	1,4	14,8	152	2,9	1,8	36,8	4,8		
Guácimo	10	499	5,6	0,7	13,2	3,4	1,2	22,2	202	4,1	2,0	51,3	3,5		
Siquirres	7	446	5,3	1,8	20,7	7,1	1,4	54,2	298	7,1	3,0	67,6	2,6		
Matina	12	298	5,2	1,6	24,5	6,5	1,2	38,7	319	9,2	2,4	90,1	2,7		
Talamanca	5	799	5,2	1,5	20,8	5,6	1,2	53,4	317	9,1	2,6	78,8	3,2		
Zona sur*	9	163	5,5	0,7	26,9	5,6	1,4	47,0	274	148,3	5,0	53,5	3,0		

Nf: Número de fincas por cantón, Nm: Número de muestras de suelo analizadas, MO: Materia orgánica, A.E.: Acidez extractable.

\* Zona sur incluye muestras de los cantones de Osa, Golfito y Corredores.

Las muestras de suelo se tomaron en la banda de fertilización de plantas entre uno y ocho días de florecidas. Cada una comprendió 16 submuestras procedentes de 10 ha, que se tomaron con la ayuda del barreno de tornillo en una profundidad de hasta 30 cm. Las muestras compuestas se colocaron en bolsas plásticas debidamente

identificadas y se enviaron al Laboratorio Químico de Corbana para su proceso; allí se sometieron a la determinación de Ca, Mg, K, P, Fe, Cu, Zn y Mn. La lectura de todos los nutrientes se efectuó por medio de un espectrofotómetro de plasma modelo Optim

La acidez, pH y la materia orgánica se determinaron de acuerdo con el método descrito por Díaz y Hunter (1978), por extracción con KCl 1M, y titulado con hidróxido de sodio se determinó la acidez; con agua se extrajo para la determinación del pH. La materia orgánica se determinó por digestión con una mezcla de  $K_2Cr_2O_7$  y  $H_2SO_4$  y valoración con sulfato amónico ferroso. Los datos de las muestras de suelo se clasificaron de acuerdo con los ámbitos de bajo, medio y alto contenido de cada nutriente según los requerimientos del cultivo [Soto, 1992; Bertsch, 1995; López y Espinoza, 1995; Arias *et al.*, 2003].

Cada muestra para análisis de nematodos se conformó por las raíces de cinco plantas. Los cinco puntos de muestreo se distribuyeron al azar a lo largo de cables con aproximadamente 10-12 ha. Las muestras se tomaron en el intermedio de plantas entre uno y ocho días de florecidas, y su respectivo hijo de sucesión, o al frente del hijo de sucesión. Se excavó en la base un hoyo de 15 cm de longitud por 15 cm de ancho por 30 cm de profundidad (volumen 6750  $cm^3$  de suelo), se recolectaron todas las raíces presentes en bolsas plásticas debidamente identificadas y se enviaron al laboratorio. La extracción de nematodos se realizó por el método de licuado-tamizado desarrollado por Taylor y Loegering (1953), modificado por Araya (2002), y se expresó el número por 100 g de raíces.

Se calcularon promedios del número de nematodos (por especie y nematodos totales), contenido de raíces y de cada uno de los nutrientes considerados en los análisis químicos de suelo por zonas, mes, año y cantón. Los nutrientes en el suelo y contenido de nematodos en las raíces de banano se correlacionaron por zona, mes, año y cantón mediante el coeficiente de correlación lineal de Pearson. Como se notó que la zona sur tenía gran influencia en los coeficientes de correlación obtenidos por cantón, se repitió el análisis de correlación y se excluyó a la zona sur. Se utilizó el método *stepwise* de selección de variables de regresión para explicar la magnitud de las poblaciones de *R. similis*.

## 2. Relación entre el contenido de nutrientes en el suelo o raíces y el peso de raíces y número de nematodos en muestras pareadas de un muestreo puntual

Se analizaron muestras pareadas y puntuales de raíces y suelo de dos fincas con condiciones agroecológicas diferentes. De acuerdo con la metodología de muestreo para nematodos descrita en el primer estudio, se tomaron 32 y 72 muestras de raíces y suelo de una finca

ubicada en el cantón de Siquirres, y otra en el cantón de Talamanca, respectivamente. Las muestras de suelo se conformaron de cinco hijos de sucesión, y las raíces se obtuvieron de los mismos cinco hoyos que se excavaron al frente del hijo para colectar las raíces.

De cada muestra se seleccionaron al azar cinco raíces gruesas para estimar el daño [Moens *et al.*, 2001]. Las raíces se cortaron a 10 cm de longitud, se dividieron longitudinalmente y en una mitad se midió en centímetros la longitud del tejido necrosado (cm) o de coloración rojiza-púrpura. El porcentaje de daño de cada muestra se calculó a partir de la suma de las longitudes de los bordes dividido por dos para promediar, y dividido por la longitud de un tramo de raíz (10 cm) se obtiene la relación de longitudes; luego se sumó el valor obtenido para cada una de las cinco raíces de cada muestra y se dividió entre cinco, que fue el número de raíces evaluadas por muestra. Esto se multiplicó por 100 para obtener el porcentaje de afectación (fórmula). El análisis químico de los nutrientes en el suelo y la extracción de nematodos en las raíces se realizó según la metodología descrita en el primer estudio.

$$\% \text{ daño} = \frac{r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5}{5} \times 100 \quad \text{Donde } r = \frac{b_1 + b_2 + b_3 + b_4 + b_5}{10}$$

r: Razón de daño por raíz

b: Longitud de daño en el borde (cm)

Como de cada muestra de raíz la extracción de nematodos se realizó de 25 g, el resto de la muestra se trasladó al Laboratorio Químico de Corbana para terminar el contenido de nutrientes. Las raíces se secaron en un horno a 70 °C hasta sequedad y se pasaron a un molino Thomas Scientific Model 4 con malla de 1 mm-d. Medio gramo de las raíces molidas se dirigió en 3 mL de ácido nítrico y 3 mL de peróxido de hidrógeno en un microondas modelo Mars Xpress durante 20 min a 200 °C. La solución obtenida se diluyó con agua destilada y desionizada hasta 50 mL. La lectura de Ca, Mg, K, P, S, Fe, Cu, Zn, Mn y B se efectuó en el medio del espectrofotómetro de plasma modelo Optima 3000. El N se leyó en un analizador de N por combustión seca Model Rapid N de Elementar.

Los datos se sometieron a un análisis de correlación lineal de Pearson entre las variables raíz total, raíz apical, *R. similis*, *Helicotylenchus* spp., *Meloidogyne* spp., *Pratylenchus* spp., nematodos totales (suma de los números parásitos presentes), daño y el contenido de nutrientes en el suelo y las raíces.

### 3. Relación entre el contenido de nutrientes en las raíces con su peso y número de nematodos a través de 12 muestreos

Se siguió la misma metodología de muestreo descrita anteriormente y se tomaron 104 muestras mensuales durante doce meses de la misma sección dentro de cada finca, una localizada en el cantón de Siquirres y otra en el de Talamanca. En el laboratorio las raíces de cada muestra se sometieron al mismo proceso de extracción de nematodos descrito anteriormente. Las raíces sobrantes de cada muestra se trasladaron al Laboratorio Químico para la determinación de la concentración de nutrientes de igual forma que el procedimiento descrito para el segundo estudio. Los datos de Fe y Mn en las muestras de raíces se clasificaron en ámbitos de bajo, medio y alto contenido del nutriente de acuerdo con los datos reportados por Acevedo (1997). De manera que los rangos para Fe fueron  $Fe < 500 \text{ mg/cmol}$  bajo,  $500 \leq Fe \leq 1000 \text{ mg/cmol}$  medio y  $Fe > 1000 \text{ mg/cmol}$  alto, y para Mn  $Mn < 50 \text{ mg/cmol}$  bajo,  $50 \leq Mn \leq 150 \text{ mg/cmol}$  medio y  $Mn > 150 \text{ mg/cmol}$  alto.

Se determinaron los promedios mensuales del contenido de nutrientes en las raíces y se estimó el número de nematodos, pesos de raíces y se calculó el daño. Los datos se sometieron a un análisis de correlación lineal de Pearson entre las variables raíz total, raíz funcional, *R. similis*, *Helicotylenchus spp.*, *Meloidogyne spp.*, *Pratylenchus spp.*, nematodos totales (suma de los géneros parásitos presentes), daño y contenido de nutrientes en las raíces.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Relación entre el contenido de nutrientes en el suelo y el peso de raíces y número de nematodos en plantaciones comerciales de banano

El análisis de la base de datos de 1997 a 2002 permitió usar una cantidad de muestras representativa de toda el área productora de banano del país. El mayor número promedio de nematodos por 100 g de raíces en el período 1997-2002 se encontró en la zona sur (cantones Osa, Golfito y Corredores) del país con 21 819 *R. similis*, 7685 *Helicotylenchus spp.* y 30 293 de nematodos totales (*Tabla 1*). En los cantones Sarapiquí, Pococí, Guácimo, Siquirres, Matina, Talamanca de la zona Atlántica, los promedios de *R. similis* estuvieron comprendidos entre 11 583 y 16 011, y los de nematodos totales entre 13 375 y 19 142 individuos por 100 g de raíces. Las plantaciones de los cantones de Guácimo y Siquirres pertenecientes a la zona este presentaron la mayor infección de nematodos. En general, las poblaciones de *Helicotylenchus spp.*, *Meloidogyne spp.* y *Pratylenchus spp.* fueron bajas en todos los cantones.

Las características químicas de los suelos de los cantones incluidas en el estudio (*Tabla 2*) fueron similares, así en los cantones de Sarapiquí, Pococí y Guácimo (este), y entre Siquirres, Matina y Talamanca (este). Los últimos tres cantones se caracterizan por mayores contenidos de Ca, Mg, P, Fe, Cu, Zn y menor de materia orgánica que los tres primeros. Los valores de pH se concentraron en los niveles bajo y medio (27 %). La frecuencia de muestras con alto y medio de acidez extractable fue similar con el 52 %, respectivamente (*Tabla 3*). El 68 y el 69 % de las muestras presentaron alto contenido de K y respectivamente. El mayor número de muestras con Cu se ubicaron en el nivel medio con el 88 y el 89 %. Los contenidos de Ca se agruparon en los niveles alto y medio (53 %), los de Zn en medio (56 %) y bajo (21 %), los de Fe en el nivel medio con 89 %, y los de Mn se concentraron en el nivel alto (59 %) y medio (41 %).

De acuerdo con el análisis de correlación por zonas y año (este, oeste y sur), se encontró que la mayor correlación ocurrió cuando al aumentar el contenido de nutrientes en el suelo aumentó el número de *Helicotylenchus spp.* ( $r = 0,77$ ;  $P < 0,0001$ ) y nematodos totales ( $r = 0,45$ ;  $P = 0,0001$ ). Por tanto, se descartó la presentación de las correlaciones por la categorización de zonas. Cuando se hicieron las correlaciones de los seis cantones de la región Atlántica más la zona sur, solamente tres de las 11 características químicas del suelo estudiadas correlacionaron con alguno de los nematodos presentes (*Tabla 4*).

Al aumentar los contenidos de Ca ( $r = 0,77$ ;  $P = 0,0001$ ) en el suelo aumentó el número de *Helicotylenchus spp.* en las raíces. Similarmente, incrementos en los contenidos de Cu en el suelo aumentaron el número de *R. similis* ( $r = 0,86$ ;  $P = 0,0129$ ), *Helicotylenchus spp.* ( $r = 0,82$ ;  $P = 0,0015$ ) y nematodos totales ( $r = 0,93$ ;  $P = 0,0001$ ) en las raíces. También aumentos en el contenido de Mn en el suelo resultaron en mayores poblaciones de *R. similis* ( $r = 0,82$ ;  $P = 0,0212$ ), *Helicotylenchus spp.* ( $r = 0,82$ ;  $P = 0,0006$ ) y nematodos totales ( $r = 0,94$ ;  $P = 0,0001$ ). Ninguna de las características químicas de los suelos correlacionó con el peso de raíz total o funcional. Los bajos valores de correlación encontrados al analizar los datos por la categorización de zonas (este, oeste y sur) difieren de lo esperado. De este modo se agruparon las zonas según el origen de los suelos de cada zona, porque se esperaba una alta correlación. La falta de correlación por zonas motivó a desestimar su presentación, ya que se defiende a realizar y presentar el análisis por cantones.

**Tabla 3. Frecuencias (%) y ámbitos de los niveles alto, medio y bajo de pH y del contenido de nutrientes en el suelo de 3000 muestras tomadas de 1997 a 2002**

Nutriente	Unidad	Alto		Medio		Bajo	
		Frecuencia	Ámbito	Frecuencia	Ámbito	Frecuencia	Ámbito
pH	—	2	> 6,5	27	5,5 a 6,5	71	< 5,5
A.E.	cmol/L	48	> 1,5	52	0,5 a 1,5	0	< 0,5
K	cmol/L	68	> 1	19	0,6 a 1,0	13	< 0,6
Ca	cmol/L	43	> 20	53	5,0 a 20	4	< 5
Mg	cmol/L	1	> 10	88	2,3 a 10	11	< 2,3
P	mg/L	67	> 40	20	20 a 40	13	< 20
Fe	mg/L	11	> 50	89	10 a 50	0	< 10
Cu	mg/L	11	> 20	89	2,0 a 20	0	< 2
Zn	mg/L	0	> 10	56	2,0 a 10	44	< 2
Mn	mg/L	59	> 50	41	5,0 a 50	0	< 5

A.E.: Acidez extractable.

**Tabla 4. Correlación y probabilidad asociada del pH, contenidos de los nutrientes y materia orgánica en el suelo con el número de nematodos y peso de raíces en banano (*Musa AAA*) de seis cantones de la región Atlántica (N = 6) y de esos seis más la zona sur de Costa Rica (N = 7)**

	Rs	He	Me	Pr	Nt	Rt	Rf
<i>Seis cantones de la región Atlántica más la zona sur (N = 7)</i>							
pH	0,63	0,45	0,25	0,33	0,60	-0,31	-0,35
	0,1302	0,3041	0,5940	0,4619	0,1527	0,4954	0,4393
A.E.	-0,58	-0,52	0,33	-0,29	-0,57	0,62	0,69
	0,1665	0,2344	0,4617	0,5236	0,1814	0,1355	0,0854
Ca	0,39	0,77	0,30	0,72	0,60	0,18	0,28
	0,3794	0,0435	0,5052	0,0688	0,1527	0,6968	0,5405
Mg	0,15	0,44	0,61	0,51	0,32	0,42	0,54
	0,7430	0,3251	0,1463	0,2372	0,4788	0,3444	0,2061
K	-0,47	-0,15	-0,04	-0,49	-0,34	-0,22	-0,22
	0,2898	0,7454	0,9268	0,2644	0,4476	0,6337	0,6382
P	0,23	0,55	0,57	0,67	0,42	0,06	0,20
	0,6134	0,1947	0,1806	0,0981	0,3427	0,9012	0,6607
Fe	-0,18	0,29	0,45	0,63	0,05	0,06	0,22
	0,6971	0,5148	0,3087	0,1231	0,9149	0,8858	0,6383
Cu	0,86	0,94	-0,13	0,40	0,93	-0,48	-0,45
	0,0129	0,0015	0,7677	0,3700	0,0019	0,2750	0,3059
Zn	0,82	0,96	0,16	0,53	0,94	-0,29	-0,23
	0,0212	0,0006	0,7222	0,2223	0,0015	0,5171	0,6240
Mn	-0,23	0,22	0,32	0,62	-0,02	0,56	0,66
	0,6168	0,6275	0,4719	0,1406	0,9661	0,1862	0,1068
MO	-0,10	-0,39	-0,70	-0,59	-0,28	-0,11	-0,24
	0,8268	0,3825	0,0753	0,1594	0,5441	0,8034	0,6003
pH	0,58	-0,18	0,35	0,21	0,65	-0,13	-0,19
	0,2222	0,7335	0,4995	0,6896	0,1628	0,8028	0,7177

A.E.	-0,16	0,14	0,31	-0,09	-0,03	0,47	0,58
	0,7595	0,7910	0,5504	0,8606	0,9548	0,3441	0,2267
Ca	-0,19	0,86	0,46	0,66	0,32	0,61	0,72
	0,7164	0,0248	0,3515	0,1520	0,5313	0,2009	0,1066
Mg	-0,02	0,74	0,65	0,48	0,43	0,60	0,73
	0,9630	0,0922	0,1562	0,3264	0,3894	0,2073	0,1001
K	0,30	-0,60	0,01	-0,74	-0,03	-0,04	-0,05
	0,5608	0,2014	0,9765	0,0947	0,9471	0,9338	0,9259
P	-0,05	0,81	0,65	0,63	0,44	0,24	0,41
	0,9178	0,0502	0,1603	0,1767	0,3777	0,6419	0,4242
Fe	-0,50	0,64	0,47	0,66	-0,05	0,12	0,28
	0,3061	0,1674	0,3477	0,1531	0,9249	0,8243	0,5831
Cu	-0,63	0,71	0,30	0,72	-0,15	0,18	0,34
	0,1795	0,1097	0,5641	0,1038	0,7764	0,7288	0,5064
Zn	0,15	0,74	0,49	0,19	0,60	0,41	0,55
	0,7690	0,0868	0,3203	0,7176	0,2002	0,4176	0,2592
Mn	-0,29	0,89	0,32	0,71	0,22	0,59	0,69
	0,5691	0,0169	0,5385	0,1144	0,6722	0,2145	0,1245
MO	-0,29	-0,89	-0,32	-0,71	0,22	0,59	0,69
	0,5691	0,0169	0,5385	0,1144	0,6722	0,2145	0,1245

Rs: *Radopholus similis*, He: *Helicotylenchus* spp., Me: *Meloidogyne* spp., Pr: *Pratylenchus* spp., Nt: Nematodos totales (*R. similis* + *Helicotylenchus* spp. + *Meloidogyne* spp. + *Pratylenchus* spp.), Rt: Raíz total, Rf: Raíz funcional, MO: Material orgánica.

La observación de la dispersión de los datos hizo evidente que en varios casos un solo punto, correspondiente generalmente a la zona sur, fue el responsable de la alta correlación lineal. Cuando en el análisis se excluyeron los datos de la zona sur se encontró que las correlaciones de Cu y Zn con los nematodos desaparecieron. Al aumentar el contenido de Ca ( $r = 0,86$ ;  $P = 0,0248$ ), P ( $r = 0,81$ ;  $P = 0,0502$ ) y Mn ( $r = 0,89$ ;  $P = 0,0169$ ) en el suelo, aumentó el número de *Helicotylenchus* spp. en las raíces. Incrementos en el contenido de materia orgánica redujeron ( $r = -0,89$ ;  $P = 0,0169$ ) el número de *Helicotylenchus* spp. Ningún nutriente en el suelo se asoció con el número de *R. similis* o nematodos totales en las raíces. Nuevamente ninguna de las características químicas del suelo correlacionó con el peso de raíz total o funcional.

Cuando se hizo la selección de variables de regresión a partir de todos los datos originales por finca y muestreo, el Cu fue el nutriente que más contribuyó a explicar el número de *R. similis* con  $R^2$ -parcial = 0,0994;  $P = 0,0007$ , seguido del pH, con  $R^2$ -parcial = 0,0362;  $P = 0,0348$ . Las variables seleccionadas para explicar los datos de nematodos totales fueron Cu con  $R^2$ -parcial = 0,2100;  $P < 0,0001$  y pH con  $R^2$ -parcial = 0,0411;  $P = 0,0161$ .

Excluidos los datos de la zona sur, ninguna variable explicó significativamente a *R. similis* ni a nematodos totales. En el análisis de las medias de cantones se tuvo  $R^2$ -parcial = 0,7411;  $P = 0,0129$  y ninguno de los nutrientes contribuyó significativamente a la explicación de *R. similis*; sin embargo, tres variables fueron seleccionadas para explicar nematodos totales: Cu con  $R^2$ -parcial = 0,8874;  $P = 0,0015$ , pH con  $R^2$ -parcial = 0,0742;  $P = 0,0742$  y K con  $R^2$ -parcial = 0,0379;  $P = 0,0338$ . La inclusión de Cu contribuyó tanto para *R. similis* como para nematodos totales. Dado que la inclusión de la variable en el análisis se excluyó a la zona sur todos los datos de la zona sur se desaparecieron.

Las correlaciones encontradas de Cu-Zn con el número de nematodos en el análisis hecho con los seis cantones del Caribe más la zona sur, desaparecieron cuando se excluyó a la zona sur del análisis. Dado que la inclusión ocurrió por la inclusión de esta zona, no se fundizó en el análisis de los nutrientes que dieron una correlación, porque no tendría aplicación práctica la inclusión del contenido de Cu en el suelo con el número de nematodos en las raíces, ya que la inclusión no estaba asociado. No necesariamente debe concluirse que no haya un efecto del Cu. El responsable directo del efecto podría ser un factor biótico o abiótico (ex-

los otros nutrientes considerados en los análisis de suelo) asociado al Cu en la zona sur. Los resultados del análisis de regresión para la selección de variables sustentó la decisión de la exclusión de la zona sur en los análisis de correlación, al resultar el Cu como el elemento que más contribuyó a explicar el número de *R. similis* y nematodos totales. El contenido de Cu en la zona sur fue 22,7 veces mayor al promedio de los seis cantones de la zona Atlántica, y se conoce que para encontrar correlación entre dos variables se necesita una variación amplia en cada una de las variables.

Independientemente de la inclusión o no de los datos de la zona sur en el análisis de correlación, se encontró de nuevo que aumentos en los niveles de Ca en el suelo favorecieron el número de *Helicotylenchus* spp. en las raíces. Esto ocurrió porque los contenidos de Ca de la zona sur son similares a los de los cantones de Siquirres, Matina y Talamanca (zona este) en congruencia con el origen de los suelos [Dondoli *et al.*, 1968], y superado en dos y tres veces el contenido en los cantones de Sarapiquí, Pococí y Guácimo (zona oeste).

Cuando se consideraron solamente los cantones de la zona Atlántica, surgió que incrementos en el contenido de P y Mn en el suelo favorecieron el número de *Helicotylenchus* spp. en las raíces, y aumentos en el porcentaje de materia orgánica disminuyeron su población. En este estudio el 59 % de las muestras contenían más de 50 mg/L de Mn y solo el 8 % de las muestras superaron los 100 mg/L de Mn. Vargas (2001) observó síntomas de toxicidad de Mn en hojas de plátano cuando la concentración de Mn, en el suelo fue de 103 mg/L sin deterioro de la capacidad productiva de la planta. Lahav e Israeli (2000) y Moreira (1999) indicaron que el banano puede soportar altos niveles de Mn. En concordancia, Bayona (1988) encontró en Colombia que plantas de Valery y Grande Naine no mostraron daños por Mn aun a niveles de 600 mg/L en el suelo. En plantas de Williams cultivadas en arena, Turner y Barkus (1983) observaron que dicho cultivar tolera altas concentraciones de Mn en la solución del suelo.

La reducción en la población de *Helicotylenchus* spp. con incrementos en el contenido de materia orgánica es contrario a lo observado por Quénéhervé (1988), quien reporta altas poblaciones de este nematodo en suelos con alto contenido de materia orgánica. Este efecto supresor de la materia orgánica probablemente se relacione con una mayor diversidad biológica de microorganismos en el suelo que pueden contactar directamente o a través de sus metabolitos secundarios al nematodo,

por ser un ectoparásito que desarrolla la mayor parte de su ciclo de vida en el suelo [Siddiqi, 1973; Oriente Bar, 1995]. La ausencia de correlación entre la materia orgánica (MO) y *R. similis* concuerda con lo reportado por Quénéhervé (1988) y Okech *et al.* (2000), y probablemente se relacione con el hábito de alimentación de *R. similis*, que es un endoparásito migratorio que completa su ciclo de vida dentro de la raíz [Orton y Siddiqi, 1973].

La falta de correlación de los contenidos de Fe y Mn en el suelo con las poblaciones de nematodos y peso de las raíces contrasta con lo sugerido por Acevedo (1998) y Tabora *et al.* (2002), quienes reportaron que excesos de Fe y Mn en el suelo favorecían la presencia de nematodos y reducirían la raíz funcional. Esto podría deberse a la ausencia de muestras con bajo contenido de estos nutrientes. De las 3000 muestras de suelo consideradas en el estudio, en el caso específico de Fe hubo una desproporción en la cantidad de muestras en cada nivel. La mayoría tenían un nivel medio (89 %), lo que dificulta detectar una correlación. Algo semejante ocurrió con el Mn, donde la gran mayoría de las muestras estaban en el nivel alto (59 %) y medio (41 %). En el caso del Zn, la desproporción fue por la ausencia de muestras de alto contenido del nutriente.

El contenido de K en el suelo no correlacionó con ninguno de los nematodos detectados en desacuerdo con lo observado por Ferreira *et al.* (2006), quienes citan una correlación positiva en una plantación comercial de banana en Brasil. También se aleja de lo encontrado por Cáceres *et al.* (2006), quienes indican una correlación positiva entre el nivel de K y el número de *M. javanica* y *H. punctatus*. Bwamiki *et al.* (2003) sugieren que niveles de K más bajos de los recomendados en banano podrían reducirse el impacto de *R. similis*. En plantas de frijoles infectadas con *Meloidogyne incognita* y fumigadas con un nivel deficiente, óptimo y excesivo de K, se observó que la madurez de las hembras del nematodo se retardaba, y el número de huevos producidos por hembra se reducía en las plantas con niveles deficientes del nutriente [Oteifa, 1953]. En otros cultivos infestados de nematodos se reporta que la fertilización razonable y balanceada de K favorece las poblaciones de nematodos [Chambers, 1985], mientras en otros patógenos se cita que reduce su incidencia y aumenta los rendimientos [Anónimo, 1998].

La ausencia de correlación entre el pH y el número de *R. similis* corrobora lo reportado por Quénéhervé (1988), Okech *et al.* (2000) y Cássia *et al.* (2006).

embargo, estos autores encontraron correlación positiva del pH con *Helicotylenchus* spp., relación no observada en el presente estudio. En Filipinas, Davide (1980) encontró mayores poblaciones de *R. similis* y *M. incognita* a pH entre 5,0 y 5,6. Según Norton (1979), los nematodos pueden tolerar rangos amplios de pH; por consiguiente, solo valores extremos, de muy bajo o muy alto, afectaría su población; sin embargo, Pattison (2006) observó en plantaciones de Costa Rica que a pH neutros se reduce el número de nematodos parásitos de las raíces del banano. En este estudio solamente el 2 % de las 3000 muestras tenían pH mayores a 6,5.

De las 11 variables de suelo (pH, acidez extractable, Ca, Mg, K, P, Fe, Cu, Zn, Mn, materia orgánica) estudiadas, con excepción de Ca, P, Mn y MO, que se relacionó con el número de *Helicotylenchus* spp., ninguna se asoció con el número de *R. similis*, nematodos totales o el contenido de raíces. Pareciera entonces que las características químicas del suelo tienen poca afinidad con el desarrollo radical y la invasión y daño inducidos por los nematodos

en las condiciones de estos estudios. Esto puede ser debido a la selección que se hace de los suelos para el cultivo del banano, donde la gran mayoría se ubican en clase III de aptitud agroecológica, con suelos de simejor. También esta ausencia o poca asociación de las características químicas del suelo con el número de *R. similis*, probablemente se deba al hábito de alimentación de dicho nematodo que es un endoparásito migratorio obligado, que pasa la mayor parte de su ciclo biológico dentro de las raíces del banano.

#### **Relación entre el contenido de nutrientes en el suelo, en las raíces y el peso de raíces y número de nematodos en muestras pareadas de un muestreo puntual**

La infección total de nematodos fue parecida entre las dos fincas (*Tabla 5*); sin embargo, en Siquirres la proporción de *R. similis* fue mayor, y la de *Helicotylenchus* spp. menor que la de Talamanca. Los contenidos de nutrientes en el suelo y los de P, K, Mg y S en las raíces fueron similares entre ambas fincas, mientras que los de Ca, Fe, Cu, Zn, Mn y B fueron entre el 20 y 30 % mayores en la finca de Talamanca (*Tabla 6*).

**Tabla 5. Promedios del número de nematodos por 100 g de raíces y peso (g) de raíces en dos fincas de banano (*Musa AAA*) ubicadas en los cantones de Siquirres y Salamanca**

<i>Finca (cantón)</i>	<i>Nm</i>	<i>Rs</i>	<i>He</i>	<i>Me</i>	<i>Pr</i>	<i>Nt</i>	<i>Rt</i>	<i>Rf</i>
Siquirres	32	23058	671	129	155	24013	37,8	30,1
Talamanca	72	18939	5216	150	72	24377	37,8	28,1

*Nm*: Número de muestras analizadas, *Rs*: *Radopholus similis*, *He*: *Helicotylenchus* spp., *Me*: *Meloidogyne* spp., *Pr*: *Pratylenchus* spp.; *Nt*: Nematodos totales (*Radopholus similis* + *Helicotylenchus* spp. + *Meloidogyne* spp. + *Pratylenchus* spp.). *Rt*: Raíz total, *Rf*: Raíz funcional.

**Tabla 6. Promedios de pH, nutrientes y materia orgánica en muestras de suelo y raíces de dos fincas de banano (*Musa AAA*) ubicadas en los cantones de Siquirres y Talamanca**

<i>Suelo</i>											
<i>Finca (cantón)</i>	<i>Nm</i>	<i>pH</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>K</i>	<i>P</i>	<i>Fe</i>	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>Mn</i>	<i>MO</i>
			<i>cmol/L</i>			<i>mg/L</i>					
			32	5,03	24,0	8,6	1,1	59,6	290	6,5	2,3
Talamanca	72	5,04	19,3	5,1	1,3	69,5	363	9,7	5,8	96	3,5
<i>Raíces</i>											
<i>Finca (cantón)</i>	<i>Nm</i>	<i>P</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>S</i>	<i>Fe</i>	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>Mn</i>	<i>B</i>
		<i>% base seca</i>						<i>mg/kg</i>			
		32	0,13	4,8	0,58	0,39	0,12	1035	13	50	209
Talamanca	72	0,12	4,8	0,70	0,38	0,13	1341	19	71	301	27

*Nm*: Número de muestras analizadas, *MO*: Materia orgánica.

Las correlaciones entre el contenido de nutrientes en el suelo y los pesos de raíz total y funcional fueron muy bajas ( $r < 0,18$ ;  $P > 0,0652$ ) (*Tabla 7*). Similarmente, fueron bajas ( $r \leq 0,36$ ) para los nematodos y el daño en las raíces, y unas pocas significativas. Aumentos en el contenido de P ( $r = 0,26$ ;  $P = 0,0074$ ) en el suelo aumentaron el número de *R. similis* en las raíces. Aumentos en los contenidos de Zn ( $r = 0,21$ ;  $P = 0,0288$ ) y materia orgánica ( $r = 0,36$ ;  $P = 0,0002$ ) en el suelo aumentaron el número de *Helicotylenchus spp.* en las raíces; por el contrario, aumentos en el contenido de Ca ( $r = -0,31$ ;  $P = 0,0013$ ) y Mg ( $r = -0,35$ ;  $P = 0,0002$ ) redujeron el número de *Helicotylenchus spp.* en las raíces. Incrementos en los niveles de Zn ( $r = 0,27$ ;  $P = 0,0048$ ) en el suelo aumentaron el número de *Pratylenchus spp.* en las raíces. El porcentaje de daño en las raíces se incrementó con aumentos en el contenido de Mg ( $r = 0,25$ ;  $P = 0,0099$ ) y P ( $r = 0,20$ ;  $P = 0,0407$ ) en el suelo, y se redujo con aumentos en el suelo del contenido de Ca ( $r = -0,23$ ;  $P = 0,0173$ ).

Las correlaciones entre los nutrientes en las raíces y el número de nematodos de dichas raíces fueron también muy bajas ( $r \leq 0,24$ ) y muy pocas fueron significativas (*Tabla 7*). Aumentos en el contenido de Fe ( $r = -0,19$ ;  $P = 0,0482$ ), Cu ( $r = -0,24$ ;  $P = 0,0119$ ) y Mn ( $r = -0,20$ ;  $P = 0,0460$ ) redujeron el número de *R. similis* en dichas raíces. Aumentos en el contenido de B ( $r = 0,19$ ;  $P = 0,0479$ ) en las raíces aumentaron el número de *Helicotylenchus spp.* en ellas. Incrementos en los niveles de Ca ( $r = -0,20$ ;  $P = 0,0400$ ) aumentaron el número de *Pratylenchus spp.* de dichas raíces. Incrementos en contenidos de Cu ( $r = -0,20$ ;  $P = 0,0397$ ) en las raíces redujeron el número de nematodos totales de las raíces. Las correlaciones entre los nutrientes en las raíces y el peso de raíz total y funcional fueron también muy bajas ( $r \leq 0,18$ ) y todas no significativas. El daño en las raíces se correlacionó solamente con el contenido de Mn en ellas, y aumentos ( $r = -0,28$ ;  $P = 0,0034$ ) en dicho nutriente redujeron el porcentaje de daño en las raíces.

Los coeficientes de correlación observados fueron muy bajos cuando se estudiaron datos puntuales pareados de nutrientes en el suelo, con el número de nematodos y peso de raíces, probablemente producto de la desproporción en la cantidad de muestras en los rangos de alto, medio y bajo contenido de cada nutriente.

#### **Relación entre el contenido de nutrientes en las raíces y su peso con número de nematodos a través de 12 muestreos**

Las mayores poblaciones de *R. similis* y nematodos totales se observaron en la finca de Siquirres (*Tabla 8*).

Con excepción de los muestreos de abril y mayo, en otros meses la población de dichos nematodos siempre fue mayor en la finca de Siquirres. Los contenidos medio de raíz total y funcional fueron similares en ambas fincas. En los contenidos de nutrientes (P, K, Ca, Mg, Mg, S, Fe, Cu, Zn, Mn y B) en las raíces no se observaron grandes diferencias entre ambas fincas (*Tabla 9*). De todos los nutrientes, sobresalen los altos niveles de Fe y luego los de Mn, y fueron los valores más altos en la finca de Siquirres. Los contenidos de Mn y Fe fueron similares en ambas fincas.

Aumentos en los contenidos de Ca en las raíces redujeron el número de *R. similis* ( $r = -0,60$ ;  $P = 0,001$ ) y nematodos totales ( $r = -0,57$ ;  $P = 0,0037$ ) de dichas raíces (*Tabla 10*). Similarmente, aumentos en los niveles de Mg en las raíces disminuyó el número de *R. similis* ( $r = -0,50$ ;  $P = 0,0127$ ) y nematodos totales ( $r = -0,48$ ;  $P = 0,0123$ ) de dichas raíces. Incrementos en el contenido de Fe también suprimieron el número de *R. similis* ( $r = -0,64$ ;  $P = 0,0008$ ) y nematodos totales ( $r = -0,62$ ;  $P = 0,0006$ ) de dichas raíces, pero aumentaron el contenido de raíz total ( $r = 0,42$ ;  $P = 0,0400$ ) y raíz funcional ( $r = 0,51$ ;  $P = 0,0109$ ). También aumentos en el contenido de Cu en las raíces redujeron el número de *R. similis* ( $r = -0,70$ ;  $P = 0,0001$ ) y nematodos totales ( $r = -0,68$ ;  $P = 0,0005$ ) de las raíces y redujo el daño ( $r = -0,64$ ;  $P = 0,0438$ ).

Por el contrario, al aumentar el contenido de Zn en las raíces creció el número de *Helicotylenchus spp.* ( $r = 0,54$ ;  $P = 0,0004$ ) de las raíces. Incrementos en el contenido de Mn en las raíces resultaron en disminución del número de *R. similis* ( $r = -0,80$ ;  $P < 0,0001$ ) y nematodos totales ( $r = -0,74$ ;  $P < 0,0001$ ). De los nutrientes estudiados, solamente el Fe correlacionó con raíz total ( $r = 0,40$ ;  $P = 0,0400$ ) y funcional ( $r = 0,51$ ;  $P = 0,0109$ ), y en los mayores niveles se incrementó su contenido. El daño en las raíces se favoreció con incrementos en el contenido de S ( $r = 0,47$ ;  $P = 0,0239$ ) y disminuyó con aumentos en el contenido de Cu ( $r = -0,42$ ;  $P = 0,0438$ ), ( $r = -0,54$ ;  $P = 0,0081$ ) en las raíces. Los contenidos de Fe se agruparon en el nivel alto el 49 %, en el medio el 46 % y en el bajo el 5 % de las muestras, y para el Mn el 94 % de ellas en el nivel alto y el 6 % en el nivel medio.

El estudio de la correlación del contenido de nutrientes en las raíces con su número de nematodos permitió establecer concordancias entre los resultados del segundo y tercer trabajo. Al aumentar el contenido de Fe y Mn en las raíces en ambos, se redujo el número de *R. similis* y nematodos totales. En el tercer trabajo, con

muestreos (1226 muestras) se observó que aumentos en el nivel de Ca redujo *R. similis* y nematodos totales. Esto es razonable, por cuanto se conoce que dicho ele-

mento forma parte de las paredes celulares [B 1993], lo que constituye una barrera física para la tracción y movilidad del nematodo a través de las

**Tabla 7. Correlación y probabilidad asociada del contenido de los nutrientes en el suelo y las raíces con el número de nematodos y peso de las raíces y su daño en banano (*Musa AAA*). N: 104 muestras (32 de una finca de Siquirres y 72 de un finca de Talamanca)**

	<i>Rs</i>	<i>He</i>	<i>Me</i>	<i>Pr</i>	<i>Nt</i>	<i>Rt</i>	<i>Rf</i>	<i>Daño</i>
<i>Suelo</i>								
pH	-0,10	-0,01	-0,07	-0,09	-0,11	0,18	0,06	-0,11
	0,2845	0,9303	0,4658	0,3521	0,2655	0,0652	0,5126	0,2573
Al	0,08	-0,10	0,05	0,12	0,03	-0,12	-0,02	0,04
	0,4073	0,0808	0,5877	0,2203	0,7137	0,2274	0,4073	0,6514
Ca	-0,02	-0,31	-0,08	0,00	-0,06	0,17	0,17	-0,23
	0,7835	0,0013	0,4068	0,9995	0,5389	0,0766	0,0868	0,0173
Mg	0,05	-0,35	-0,08	0,07	-0,04	-0,00	0,11	0,25
	0,5905	0,0002	0,4161	0,4468	0,6471	0,9783	0,2693	0,0099
K	0,11	0,00	-0,05	0,01	0,11	-0,17	-0,12	0,02
	0,2537	0,9816	0,6247	0,8946	0,2579	0,0794	0,1960	0,8472
P	0,26	-0,05	-0,04	0,11	0,25	-0,11	0,02	0,20
	0,0074	0,6226	0,7130	0,2450	0,0117	0,2813	0,8593	0,0407
Fe	0,06	0,16	0,02	-0,09	0,10	-0,06	0,01	-0,09
	0,5056	0,1138	0,8489	0,3230	0,2770	0,5463	0,8985	0,3750
Cu	-0,10	0,08	-0,03	0,07	-0,07	0,09	0,05	-0,06
	0,3162	0,3663	0,7433	0,4430	0,4628	0,3548	0,6188	0,5106
Zn	-0,03	0,21	-0,02	0,27	0,04	-0,02	-0,01	-0,02
	0,7916	0,0288	0,8621	0,0048	0,7029	0,8392	0,9348	0,8665
Mn	-0,14	-0,02	-0,02	0,10	-0,14	0,05	0,06	-0,14
	0,1631	0,8531	0,8423	0,2989	0,1553	0,6398	0,5591	0,1491
MO	-0,13	0,36	0,03	-0,06	-0,03	0,02	-0,02	-0,20
	0,1860	0,0002	0,7738	0,5374	0,7628	0,8377	0,8718	0,0412
<i>Raíces</i>								
Ca	-0,08	0,04	-0,13	-0,20	-0,07	-0,14	-0,12	-0,07
	0,4092	0,6830	0,1765	0,0400	0,4470	0,1648	0,2395	0,4652
Mg	0,05	0,07	0,08	-0,08	0,07	-0,13	-0,07	0,11
	0,5627	0,4351	0,3994	0,3832	0,4284	0,1750	0,4345	0,2750
K	0,07	0,06	0,14	0,05	0,09	0,18	0,08	-0,03
	0,4841	0,5271	0,1480	0,5929	0,3659	0,0665	0,3941	0,7396
P	-0,03	-0,07	0,15	0,07	-0,05	0,12	0,15	-0,09
	0,7357	0,4962	0,1285	0,4772	0,6270	0,2066	0,1300	0,3328
S	-0,00	0,13	0,12	0,12	0,04	-0,01	0,07	-0,08
	0,9572	0,1771	0,2221	0,2130	0,7172	0,8820	0,4687	0,4111
Fe	-0,19	0,07	-0,06	-0,03	-0,17	-0,12	-0,05	-0,06
	0,0482	0,4462	0,5243	0,7498	0,0789	0,1995	0,6368	0,5554
Cu	-0,24	0,15	-0,02	-0,02	-0,20	-0,06	-0,04	-0,18
	0,0119	0,1254	0,8622	0,8383	0,0397	0,5567	0,6668	0,0587

	0,0119	0,1254	0,8622	0,8383	0,0397	0,5567	0,6668	0,0587
Zn	-0,12	0,12	-0,03	0,06	-0,08	-0,16	-0,07	-0,14
	0,2241	0,2316	0,7252	0,5361	0,3862	0,1105	0,4506	0,1378
	-0,20	0,07	0,01	-0,03	-0,17	-0,02	-0,04	-0,28
Mn	0,0460	0,4437	0,8915	0,7065	0,0780	0,8156	0,6849	0,0034
	-0,07	0,19	-0,01	0,11	-0,02	-0,07	-0,03	-0,08
	0,4429	0,0479	0,9220	0,2554	0,8434	0,4507	0,7134	0,3900

Rs: *Radopholus similis*, He: *Helicotylenchus* spp., Me: *Meloidogyne* spp., Pr: *Pratylenchus* spp., Nt: Nematodos totales (*R. similis* + *Helicotylenchus* spp. + *Meloidogyne* spp. + *Pratylenchus* spp.), MO: Materia orgánica, Rt: Raíz total, Rf: Raíz funcional.

**Tabla 8. Promedios de muestreos del número de nematodos por 100 g de raíces y contenido (g) de raíces en dos fincas de banano (*Musa AAA*) ubicadas en los cantones de Siquirres y Salamanca**

Finca (cantón)	Nm	Rs	He	Me	Pr	Nt	Rt	Rf
<i>Salamanca (13 meses)</i>								
Noviembre	71	9102	5037	304	139	14 584	36	25
Diciembre	71	11 532	6861	237	124	18 754	29	22
Enero	72	7494	2783	322	105	10 705	51	43
Febrero	72	11 800	2461	472	61	14 794	46	35
Marzo	72	12 572	3161	488	200	16 422	36	28
Abril	63	19 466	5085	463	63	25 079	32	23
Mayo	72	9444	2616	583	38	12 683	31	25
Junio	72	3355	1816	311	61	5544	43	32
Julio	72	15 238	4727	300	77	20 344	34	26
Agosto	72	18 938	5216	150	72	24 377	38	28
Septiembre	63	27 822	5781	171	57	33 834	42	30
Octubre	72	17 150	6883	450	50	24 533	34	25
Promedio		13 245	4190	361	89	17 886	38	29
<i>Siquirres (12 meses)</i>								
Noviembre	24	22 600	4383	400	400	27 783	31	22
Diciembre	36	10 322	1400	255	88	12 066	48	37
Enero	37	13 708	789	43	205	14 745	54	46
Febrero	37	14 518	2270	194	216	17 200	51	43
Marzo	31	23 200	2245	180	800	26 425	37	29
Abril	31	18 232	1870	77	451	20 632	35	27
Mayo	31	5058	980	38	129	6206	35	29
Junio	31	3600	787	116	116	4619	41	33
Julio	31	19 535	980	77	193	20 787	40	32
Agosto	31	23 058	670	129	154	24 012	38	30
Septiembre	30	41 200	2520	133	226	44 080	34	24
Octubre	31	49 032	2206	167	335	49 935	31	23
Promedio		19 914	1696	146	269	21 881	40	32

Nm: Número de muestras analizadas, Rs: *Radopholus similis*, He: *Helicotylenchus* spp..  
Me: *Meloidogyne* spp., Pr: *Pratylenchus* spp.; Nt: Nematodos totales (*Radopholus similis* + *Helicotylenchus* spp. + *Meloidogyne* spp. + *Pratylenchus* spp.), Rt: Raíz total, Rf: Raíz funcional.

**Tabla 9. Promedio mensual de nutrientes en muestras de raíces de dos fincas de banano (*Musa AAA*) ubicadas en los cantones de Talamanca y Siquirres**

Finca (cantón)	% base seca						mg/kg				
	Nr	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
<i>Talamanca</i>											
Noviembre	71	0,12	5,32	0,73	0,43	0,13	986	17	61	259	17
Diciembre	72	0,12	5,45	0,71	0,42	0,12	1435	19	47	246	14
Enero	72	0,12	5,55	0,73	0,43	0,12	1602	18	27	283	11
Febrero	72	0,12	5,67	0,69	0,40	0,12	1036	16	24	267	11
Marzo	72	0,12	5,87	0,68	0,40	0,12	1058	17	24	255	10
Abril	63	0,12	5,50	0,71	0,43	0,13	1369	18	27	271	16
Mayo	72	0,12	5,19	0,77	0,43	0,12	1266	17	28	272	15
Junio	72	0,17	6,52	0,64	0,40	0,14	1421	21	35	306	16
Julio	72	0,13	5,18	0,64	0,38	0,15	937	16	46	267	17
Agosto	72	0,12	4,80	0,70	0,38	0,13	1341	19	71	302	28
Septiembre	63	0,16	6,20	0,53	0,35	0,13	866	16	63	249	21
Octubre	72	0,14	5,66	0,58	0,37	0,13	730	15	59	236	17
Promedio	70	0,13	5,58	0,68	0,40	0,13	1171	17	43	1052	19
<i>Siquirres</i>											
Noviembre	24	0,13	5,45	0,63	0,44	0,12	830	14	23	222	8
Diciembre	36	0,19	5,77	0,64	0,41	0,14	826	15	27	227	10
Enero	37	0,17	6,20	0,59	0,38	0,14	1160	16	28	253	10
Febrero	37	0,14	5,55	0,60	0,40	0,13	1509	15	26	243	9
Marzo	31	0,13	5,35	0,59	0,39	0,13	1160	15	26	247	12
Abril	31	0,14	5,78	0,61	0,43	0,14	1077	15	28	246	32
Mayo	31	0,14	5,72	0,65	0,41	0,12	1207	17	24	253	29
Junio	31	0,17	5,93	0,66	0,42	0,12	1255	19	30	279	17
Julio	31	0,14	5,20	0,56	0,39	0,24	1248	15	25	247	11
Agosto	31	0,13	4,83	0,58	0,39	0,12	1035	13	50	209	20
Septiembre	30	0,16	5,48	0,57	0,39	0,12	705	15	47	177	13
Octubre	31	0,16	5,91	0,54	0,36	0,11	437	11	37	159	14
Promedio	31	0,15	5,62	0,60	0,40	0,14	978	15	32	221	16

Nr: Número de muestras de raíces analizadas.

De acuerdo con la hipótesis planteada por Acevedo (1997) de que el daño de los nematodos en las raíces se favorece con altas concentraciones de Fe y Mn en ellas, lo encontrado en este estudio contrasta y no lo sustenta, por cuanto al aumentar el Fe se redujo el número de *R. similis* en ambos estudios (dos y tres), y adicionalmente disminuyó el número de nematodos totales en el tercer estudio. En cuanto a Mn, aumentos en su contenido en las raíces redujo a *R. similis* en el estudio dos y tres y a nematodos totales en el tercer estudio, y adicionalmente redujo el daño en las raíces en el segundo estudio. Aumentos en el contenido de Zn en las raí-

ces promovieron mayor número de *Helicotylenchus* en las raíces. Esto indirectamente podría concordar la hipótesis de Tabora *et al.* (2002), quienes indicaron que toxicidades de Zn en el suelo pueden favorecer una infección por nematodos. A pesar de que no se realizó un análisis estadístico en dicho estudio, a través de otros trabajos se ha indicado que el contenido de Zn en estos suelos generalmente supera los 20 mg/L, lo que favorecería la absorción y acumulación de dicho nutriente en las raíces.

Se conoce que las poblaciones de nematodos en los suelos varían tanto temporal como espacialmente. De forma

se observó variación espacial y temporal en el contenido de nutrientes en las raíces. Estas variaciones hacen muy compleja su interacción con los contenidos de raíces y nematodos. En el presente trabajo se relacionó el contenido de nutrientes en el suelo o raíces y el número de nematodos, pero se conoce que los nematodos afectan la absorción de nutrientes [Farwell *et al.*, 1980; Jenkins y

Malek, 1996]. Se sugiere profundizar estudios en la medida del efecto de la nutrición en el número y daño de nematodos, y el efecto de los nematodos en la absorción de nutrientes. El aumento desmedido en los costos de fertilizantes y los nematicidas, además de la restricción en el uso de ciertos nematicidas químicos no fumigantes, motivan a desarrollar investigación al respecto.

**Tabla 10. Correlación y probabilidad asociada del contenido de los nutrientes en las raíces y su número de nematodos, peso de las raíces y su daño en banano (*Musa AAA*)**

N: 24 promedios (12 muestreos por cada finca y en cada finca de 31-37 o de 63-71 muestras = 1226 observaciones)

	<i>Rs</i>	<i>He</i>	<i>Me</i>	<i>Pr</i>	<i>Nt</i>	<i>Rt</i>	<i>Rf</i>	<i>Daño</i>
P	0,10	-0,40	-0,49	-0,02	0,02	0,33	0,30	0,06
	0,6431	0,0526	0,0157	0,9191	0,9405	0,1145	0,1594	0,7685
K	-0,10	-0,18	-0,07	-0,05	-0,14	0,33	0,29	-0,07
	0,6374	0,4079	0,7385	0,8221	0,5229	0,1178	0,1665	0,7380
Ca	-0,60	0,06	0,56	-0,32	-0,57	0,07	-0,01	-0,10
	0,0019	0,7929	0,0044	0,1261	0,0037	0,7363	0,9803	0,6477
Mg	-0,50	-0,16	0,34	0,02	-0,50	-0,03	-0,07	-0,06
	0,0127	0,4689	0,0994	0,9245	0,0123	0,8721	0,7422	0,7707
S	-0,13	-0,21	-0,26	0,01	-0,16	0,18	0,19	0,47
	0,5419	0,3259	0,2189	0,9787	0,4546	0,3905	0,3767	0,0239
Fe	-0,64	-0,22	0,01	-0,15	-0,65	0,42	0,51	-0,09
	0,0008	0,2928	0,9617	0,4757	0,0006	0,0400	0,0109	0,6916
Cu	-0,70	0,11	0,18	-0,42	-0,66	0,19	0,15	-0,42
	0,0001	0,6033	0,3875	0,0401	0,0005	0,3821	0,4697	0,0438
Zn	0,20	0,67	-0,14	-0,27	0,30	-0,35	-0,35	-0,37
	0,3554	0,0004	0,5279	0,2043	0,1521	0,2664	0,0978	0,0783
Mn	-0,80	-0,13	0,25	-0,36	-0,74	0,28	0,27	-0,19
	< 0,0001	0,5349	0,2421	0,0826	< 0,0001	0,1869	0,2074	0,3782
B	-0,05	0,18	-0,37	-0,09	0,02	-0,40	-0,36	-0,54
	0,8128	0,3957	0,0733	0,6755	0,9126	0,0549	0,0866	0,0081

*Rs: Radopholus similis, He: Helicotylenchus spp., Me: Meloidogyne spp., Pr: Pratylenchus spp., Nt: Nematodos totales (*R. similis* + *Helicotylenchus* spp. + *Meloidogyne* spp. + *Pratylenchus* spp.), Rt: Raíz total, Rf: Raíz funcional.*

## CONCLUSIONES

- Aumentos de Ca, P y Mn en el suelo incrementaron el número de *Helicotylenchus* spp. en las raíces.
- Incrementos en el contenido de materia orgánica disminuyeron el número de *Helicotylenchus* spp. en las raíces.
- El peso de raíces y su número de *Radopholus similis* y nematodos totales no correlacionaron con el contenido de ningún nutriente en el suelo.
- Aumentos de Cu, Fe, Mn y Ca en las raíces disminuyeron su número de *Radopholus similis* y nematodos totales.

## REFERENCIAS

- Acevedo, S. J.: «Efecto que causa la acumulación del hierro sobre los nematodos radicolícticos (*Radopholus similis*, *He: Helicotylenchus spp.*, *Me: Meloidogyne spp.*, *Pr: Pratylenchus spp.*) en las raíces de banana (*Musa AAA*) subgrupo Cavendish, clon Gran Robusto, bajo condiciones del trópico húmedo, Costa Rica», Tesis Agr., Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda (EARH), Guácimo, Costa Rica, 1997.
- Araya, M.: «Metodología utilizada en el laboratorio de nematología para la extracción de nematodos de las raíces de banana (*Musa AAA*) y plátano (*Musa AAB*)», Corbana 28 (55): 69-81, Costa Rica, 2002.
- Arias, F.; R. Segura; E. Serrano; F. Berstch; A. López; E. Soto: «Nematodos radicolícticos (*Radopholus similis*, *He: Helicotylenchus spp.*, *Me: Meloidogyne spp.*, *Pr: Pratylenchus spp.*) y sus efectos críticos de calcio, magnesio, potasio y fósforo en suelos dedicados al cultivo de banano (*Musa AAA*) en Costa Rica», Corbana 29 (56): 69-81, Costa Rica, 2003.

