

## NOTA TÉCNICA

# CORRELACIÓN ENTRE LAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO Y LOS NEMATODOS DE LAS RAÍCES DEL BANANO (*Musa AAA*) EN ECUADOR<sup>1</sup>

César Chávez-Velazco<sup>2</sup>, Mario Araya-Vargas<sup>3</sup>

### RESUMEN

**Correlación entre las características del suelo y los nematodos de las raíces del banano (*Musa AAA*) en Ecuador.** El objetivo del presente trabajo fue correlacionar las características físico-químicas del suelo con el peso de raíces y su número de nematodos en banano. Se emplearon muestras pareadas de cinco hectáreas de banano en una plantación comercial del Ecuador en el 2006. En 120 unidades de producción se tomaron las muestras de raíces y suelo. Se hizo análisis físico y químico del suelo y sus valores se correlacionaron con peso de raíz total, funcional y número de nematodos presentes en las raíces de banano. De las variables de suelo estudiadas, cuatro se asociaron con peso de raíz total, nueve con el de raíz funcional, cinco con el número de *Radopholus similis*, seis con el de *Helicotylenchus* spp., cuatro con el de *Pratylenchus* spp. y nueve con el de nematodos totales. De las características físicas (contenidos de arena, limo y arcilla) estudiadas, un 50 % correlacionaron ya fuera con el peso de raíces o número de nematodos, mientras de las químicas, solamente se encontró correlación en 15 % de las relaciones estudiadas. A pesar de la significancia estadística, el valor de correlación fue bajo o muy bajo, con un máximo de  $r = 0,53$ ;  $P < 0,0001$  para el contenido de arena y número de nematodos totales. Los resultados sugieren futuros estudios en dos líneas: 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 clave:** *Helicotylenchus* spp., *Meloidogyne* spp., *Pratylenchus* spp., *Radopholus similis*, nutrientes en suelo.

### ABSTRACT

**Correlation between soil characteristics and nematodes on the roots of banana (*Musa AAA*) in Ecuador.** The objective was to correlate physico-chemical soil characteristics with banana root weight and its nematode numbers. Roots and soil samples were taken in 120 production units in Ecuador in 2006. The study was carried out considering paired samples from 5 ha within a commercial banana plantation. Soil and root sampled were obtained, and physical and chemical analysis were performed on soil samples, and the values were correlated by the Pearson linear correlation coefficient with total and functional root weight and the number of nematodes in the banana roots. Of the soil variables studied, four were associated with total root weight, nine with the functional root weight, five with the number of *Radopholus similis*, six with the number of *Helicotylenchus* spp., four with the number of *Pratylenchus* spp. and 9 with the number of total nematodes. Of the soil physical characteristics (sand, silt and clay content) studied, 50% correlated with root weight or number of nematodes, although a correlation was found only in 15% of the chemical properties, studied. Despite statistical significance, the correlation values were low or very low, being the maximum of  $r = 0.53$ ;  $P < 0.0001$  for sand content and number of total nematodes. The results suggest further studies in two lines: the effect of plant nutrition on the number and damage of nematodes and the effect of nematodes on nutrients up take.

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

<sup>1</sup> Recibido: 9 de febrero, 2009. Aceptado: 16 de noviembre, 2009.

<sup>2</sup> Laboratorio de Nematología (Nemalab, S.A.), casilla 0701044, Machala, El Oro, Ecuador. cesar.chavez@lapavic.com.ec

<sup>3</sup> Corporación Bananera Nacional de Costa Rica. Apdo 390-7210, Guápiles, Costa Rica. maaraya@corbana.co.cr

## INTRODUCCIÓN

El banano (*Musa* AAA) se cultiva en Ecuador en pequeñas, medianas y grandes fincas para su exportación, generando más de 1.250 millones de dólares al año en divisas. Factores abióticos y bióticos afectan la producción, dentro de los factores abióticos, las condiciones edáficas, especialmente textura, estructura y el contenido de Na son los que más limitan la producción. De los factores bióticos, los nematodos son la principal causa del deterioro radical, lo que conlleva a la reducción en peso del racimo y longevidad de las plantaciones y a incrementos entre los ciclos de cosecha.

La ocurrencia y severidad de muchas enfermedades se afecta con la deficiencia, exceso o desbalance de nutrientes (Chapman y Brown 1942). El exceso de K incrementó la penetración y daño de *Meloidogyne* spp., *Helicotylenchus* spp. y *Tylenchorhynchus* spp. (Engelhard 1989, Chambers 1985). En banano se encontró correlación positiva entre el contenido de limo y arena con *Meloidogyne* spp. y *H. multincinctus* y negativa con arcilla (Cássia *et al.* 2006). El mismo autor, menciona que los contenidos de P, K, Ca, Mg y la suma y saturación de bases correlacionaron positivamente con el número de *M. javanica* y *H. multincinctus*. También cita que el pH correlacionó positivamente con *H. multincinctus* y que ninguna de las variables físico-químicas del suelo correlacionó con *R. similis*.

Bajos niveles de potasio 610 mg/l redujeron el impacto de *R. similis* en las raíces de banano (Bwamiki *et al.* 2003). Por el contrario, incrementos en los contenidos de nitratos en el suelo aumentaron el porcentaje de nematodos parásitos en banano (Pattison y Lindsay 2006). Aplicaciones de Ca de 234 y 351 kg/ha/año en banano tendieron a reducir otras dolencias como la mancha de madurez y la severidad de la Sigatoka negra (García y Mora 2006). Acevedo (1997) en banano observó una correlación negativa entre la concentración de Fe ( $r = -0,40$ ;  $P = 0,0097$ ) en el suelo y el peso de raíz funcional. Algunos investigadores creen que la infección por nematodos en las raíces de banano se favorece por la toxicidad de Fe, Mn y Zn (Tabora *et al.* 2002).

El objetivo de la presente investigación fue determinar la correlación entre las características físico-químicas del suelo y el número de nematodos en las raíces del banano.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en el 2006 en una finca comercial de banano (*Musa* AAA subgrupo Cavendish cultivar Valery) de la provincia de El Oro, Ecuador. La precipitación anual en la finca en el año en que se tomaron las muestras fue de 924 mm. La plantación dispone de una red de drenajes primarios, secundarios y terciarios para la evacuación de los excesos de agua durante las precipitaciones intensas. Las plantas de uno a ocho días de florecidas se apuntalan con doble cuerda de nylon a las plantas vecinas. El control de Sigatoka negra se mantuvo en forma adecuada con deshoja, despunta, deslaminado y mediante aspersiones foliares alternas de fungicidas sistémicos y protectantes en mezcla con agua o aceite agrícola. La fertilización se realizó cada cuatro semanas supliendo solo N. La deshija se realizó cada ocho semanas regulando las unidades de producción a: madre, hijo y nieto, en forma lineal. El control de nematodos se realizó en los últimos tres años con 1,6 ciclos de nematicida no fumigantes. La aplicación se realizó cuando en los monitoreos mensuales de raíces y nematodos, la población de *R. similis* superó los 10.000 individuos por 100 g de raíces lo que resultó en 1,6 ciclos por año.

En un área de cinco hectáreas se realizó un muestreo con base en 120 muestras pareadas de suelo y raíces. Unidades de producción cuya madre tuviera entre uno y ocho días de florecidas con un hijo de sucesión entre 1,5 y 1,75 m de altura fueron seleccionadas para el muestreo de raíces y suelo. Las muestras de raíces se tomaron al frente del hijo de sucesión. En la base del hijo se excavó un hoyo de 20 cm de ancho, 20 cm largo y 30 cm de profundidad (volumen 12 l de suelo) de donde se colectaron todas las raíces presentes. Muestras de 500 g de suelo se tomaron del volumen excavado. El suelo obtenido fue destinado en partes iguales para los análisis físicos y químicos respectivos. Las muestras de raíces y suelo se colocaron por separado en fundas plásticas debidamente identificadas y se trasladaron al Laboratorio de Nematología S.A. para su proceso.

La determinación física se realizó mediante el método de Bouyoucos citado por Henríquez y Cabalceta (1999) y la clasificación del suelo de acuerdo con su textura mediante la guía del United States Department of Agriculture (1993).

A cada muestra de suelo se le hizo un análisis de macro y micro nutrientes utilizando la solución

extractora de Olsen modificado (Díaz y Hunter 1978). Con dicho método se determinó P, K, Zn, Cu, Fe, y Mn y con una solución de KCl 1M se determinó el Ca, Mg y  $\text{NH}_4$ . Con el  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  1N y  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , titulando con sulfato ferroso, la materia orgánica. La CIC se determinó con el método de acetato de amonio 1M a pH 7, el  $\text{NH}_4$  fue desplazado con NaCl al 10 % y titulado con NaOH 0,1 N. La suma de bases corresponde a la adición de las bases intercambiables (K, Ca, Mg, Na) obtenidas con acetato de amonio. El S y B se extrajeron con  $\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2\text{H}_2\text{O}$  y se leyeron en Espectrofotómetro HACH DR 2000. Para determinar problemas de salinidad, que son muy comunes en la zona donde se encuentra esta plantación, se usó el método de pasta saturada, siguiendo el procedimiento descrito por Rhoades (1982) y Contín (1973). Con este método se determinó la conductividad eléctrica (CE), los cationes: Na, K, Ca, y Mg. Con esta información se calculó el RAS (proporción de absorción de Na) y el porcentaje de sodio intercambiable (PSI). El pH se determinó con el potenciómetro y la CE con el puente de conductividad a 25 °C.

Las muestras de raíces se registraron individualmente, se lavaron con agua potable y se separaron en funcionales (raíces completamente sanas, color blanco o cremoso), no funcionales (todo el material necrosado y con coloraciones pardo rojizas) y ahogadas (raíces podridas, corchosas y esponjadas). Estas raíces se dejaron escurrir superficialmente por dos horas y se pesaron individualmente en una balanza electrónica marca Fisher Scientific serie 10309201, con capacidad para  $710 \pm 1,0$  g. Las raíces fueron cortadas transversalmente en trozos de 2-3 cm y se homogeneizaron. La extracción de nematodos se hizo por el método de licuado-tamizado desarrollado por Taylor y Loegering (1953) y modificado por Araya (2002). Para conformar la muestra de 25 g se tomó los pesos de raíces proporcionales al contenido de cada tipo de raíz. Por ejemplo en una muestra de 42,8 g de raíces totales con 35 g de raíz funcional, 6 g de no funcional y 1,8 g de raíz ahogada, se obtuvo un 81,7 % de funcional, 14 % no funcional y un 4,2 % de ahogada que multiplicado por el tamaño de la muestra a usar de 25 g dio 20,4 g de raíces funcionales, 3,5 g de raíces no funcionales y 1 g de ahogada que se mezclaron y homogeneizaron para el licuado. La identificación y enumeración de los nematodos se realizó con la ayuda de un microscopio Micromaster a 4-10x de magnificación. Los datos se transformaron a número de nematodos en 200 ml de la solución y luego a 100 g de raíces.

Se calculó el número de nematodos (por especie y nematodos totales) y el contenido de cada uno de los elementos considerados en los análisis físicos y químicos de suelo. Los contenidos de arena, limo, arcilla, materia orgánica y elementos en el suelo se correlacionaron mediante el coeficiente de correlación lineal de Pearson con el peso de raíz total, funcional y el número de nematodos en las raíces de banano en PC-SAS (SAS Institute, Inc. Cary, NC).

## RESULTADOS

Las características físico-químicas (Cuadro 1) de las 120 muestras de suelo difirieron con las plantas muestreadas. En general los suelos mostraron altos contenidos de Ca, Mg y K y son bajos en Fe y Mn. La mayoría de las muestras presentaron pH superiores a 6. El número de nematodos también fue muy variable entre las plantas. El promedio de *R. similis* y nematodos totales para las 120 muestras fue de 3.542 y 11.640 individuos por 100 g de raíces, con poblaciones máximas de 28.571 y 44.000 individuos, respectivamente.

Dentro de las características físicas del suelo, se encontró que conforme aumentó el porcentaje de arena disminuyó el peso de raíz funcional ( $r = -0,20$ ;  $P = 0,0468$ ) y aumentó el número de *R. similis* ( $r = 0,38$ ;  $P < 0,0001$ ), *Helicotylenchus* spp. ( $r = 0,42$ ;  $P < 0,0001$ ) y nematodos totales ( $r = 0,53$ ;  $P < 0,0001$ ) (Cuadro 2). Aumentos en el porcentaje de limo redujeron el número de nematodos totales ( $r = -0,21$ ;  $P < 0,0345$ ). Conforme aumentó el porcentaje de arcilla aumentó el peso de raíz funcional ( $r = 0,21$ ;  $P = 0,0354$ ) y se redujo el número de *R. similis* ( $r = -0,27$ ;  $P = 0,0066$ ), *Helicotylenchus* spp. ( $r = -0,27$ ;  $P = 0,0068$ ) y nematodos totales ( $r = -0,35$ ;  $P = 0,0003$ ). Con aumentos en el contenido de materia orgánica aumentó el peso de raíz total ( $r = 0,22$ ;  $P = 0,0139$ ) y funcional ( $r = 0,28$ ;  $P = 0,0017$ ).

Dentro de las características químicas (Olsen modificado), a mayor pH se observó menor número de *Pratylenchus* spp. ( $r = -0,27$ ;  $P = 0,0024$ ) y nematodos totales ( $r = -0,18$ ;  $P = 0,0449$ ). Mayores niveles de acidez intercambiable favorecieron el número de *Pratylenchus* spp. ( $r = 0,29$ ;  $P = 0,0014$ ). De los elementos secundarios (P, K, Ca, Mg, S) ninguno se relacionó con el peso de raíces y solamente el Mg afectó el número de nematodos, reduciendo a *Helicotylenchus* spp. ( $r = -0,19$ ;  $P = 0,0335$ ) y a los nematodos totales

**Cuadro 1.** Características físico-químicas del suelo, peso de raíces y número de nematodos en 120 muestras pareadas de suelo y raíces tomadas en una plantación comercial de banano (*Musa AAA*). Ecuador, 2006.

| Variable                                     | Media* | Desviación<br>estándar | Valor máximo | Valor mínimo |
|--|--------|------------------------|--------------|--------------|
| Arena %                                      | 26,1   | 8,7                    | 64           | 14           |
| Limo %                                       | 45,9   | 7,9                    | 80           | 26           |
| Arcilla %                                    | 28,1   | 8,3                    | 46           | 2            |
| Olsen modificado                             |        |                        |              |              |
| Materia orgánica %                           | 1,75   | 0,65                   | 4,3          | 0,2          |
| pH   | 6,8    | 0,84                   | 8,3          | 4,3          |
| Acidez intercambiable cmol/kg                | 0,22   | 0,23                   | 1,77         | 0,04         |
| P mg/l                                       | 57,2   | 93,6                   | 609          | 5            |
| K cmol/kg                                    | 1,13   | 1,87                   | 4,8          | 0,13         |
| Ca cmol/kg                                   | 16     | 1,5                    | 20,1         | 12,3         |
| Mg cmol/kg                                   | 5,1    | 1,1                    | 8,1          | 2,8          |
| S mg/l                                       | 372    | 239                    | 1471         | 37           |
| Fe mg/l                                      | 44,6   | 29,5                   | 157          | 10,6         |
| Cu mg/l                                      | 8,7    | 7,2                    | 38,3         | 1,4          |
| Zn mg/l                                      | 28,5   | 27,6                   | 126          | 1,5          |
| Mn mg/l                                      | 21,6   | 29                     | 173          | 0,5          |
| B mg/l                                       | 2,3    | 1,3                    | 7,8          | 0,3          |
| CIC  | 36,1   | 3,6                    | 45,5         | 27,1         |
| Ca + Mg + K                                  | 28     | 8,3                    | 56,2         | 13,5         |
| Ca / Mg                                      | 3,3    | 0,7                    | 5,9          | 1,9          |
| Ca / K                                       | 37,3   | 24,1                   | 109,5        | 1,5          |
| K / Mg                                       | 0,22   | 0,39                   | 2,2          | 0,1          |
| Suma bases                                   | 39,1   | 7,9                    | 66,3         | 25,5         |
| Cl mg/l                                      | 19,2   | 15,3                   | 82,7         | 1            |
| NH4 mg/l                                     | 86,1   | 123,3                  | 886          | 7            |
| Na cmol/kg                                   | 1,5    | 0,5                    | 3,6          | 0,4          |
| Pasta saturada                               |        |                        |              |              |
| pH   | 6,6    | 1                      | 4,4          | 8            |
| Conductividad eléctrica mS/cm                | 3,1    | 1,1                    | 7,3          | 1            |
| Ca cmol/kg                                   | 20,5   | 6,6                    | 31,6         | 2,1          |
| Mg cmol/kg                                   | 8,3    | 3,2                    | 18           | 1,2          |
| K cmol/kg                                    | 1,58   | 3,9                    | 6,5          | 0,5          |
| Na cmol/kg                                   | 5,7    | 2,5                    | 14,1         | 1,4          |
| Proporción absorción Na                      | 1,5    | 0,6                    | 4,2          | 0,4          |
| Raíz total (g)/planta                        | 61,6   | 27,8                   | 158,3        | 4,4          |
| Raíz funcional (g)/planta                    | 50,2   | 22,7                   | 114,5        | 2,2          |
| <i>Radopholus similis</i> por 100 g raíces   | 3542   | 5642                   | 28571        | 0            |
| <i>Helicotylenchus</i> spp. por 100 g raíces | 7861   | 7996                   | 40000        | 0            |
| <i>Pratylenchus</i> spp. por 100 g raíces    | 116    | 1170                   | 12800        | 0            |
| Nematodos totales por 100 g raíces           | 11640  | 10574                  | 44000        | 0            |

\*media de 120 observaciones.

**Cuadro 2.** Correlación\* y probabilidad\*\* asociada de las características físico-químicas del suelo con el peso de raíces y número de nematodos en 120 muestras pareadas de raíces y suelo tomadas en una plantación comercial de banano (*Musa* AAA). Ecuador, 2006.

| Variable                | Raíz total         | Raíz funcional  | <i>Radopholus similis</i> | <i>Helicotylenchus</i> spp. | <i>Pratylenchus</i> spp. | Nematodos totales |
|-------------------------|--------------------|-----------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------|
| % arena                 | -0,05*<br>0,6060** | -0,20<br>0,0468 | 0,38<br>< 0,0001          | 0,42<br>< 0,0001            | 0,08<br>0,3983           | 0,53<br>< 0,0001  |
| % limo                  | -0,00<br>0,9607    | -0,00<br>0,9858 | -0,14<br>0,1613           | -0,18<br>0,0692             | 0,03<br>0,7680           | -0,21<br>0,0345   |
| % arcilla               | 0,06<br>0,5568     | 0,21<br>0,0354  | -0,27<br>0,0066           | -0,27<br>0,0068             | -0,12<br>0,2429          | -0,35<br>0,0003   |
| <b>Olsen modificado</b> |                    |                 |                           |                             |                          |                   |
| % M.O.                  | 0,22<br>0,0139     | 0,28<br>0,0017  | -0,15<br>0,1045           | -0,05<br>0,5705             | 0,01<br>0,9106           | -0,12<br>0,2020   |
| pH                      | -0,04<br>0,6565    | 0,02<br>0,8082  | -0,08<br>0,3852           | -0,11<br>0,2162             | -0,27<br>0,0024          | -0,18<br>0,0449   |
| Acidez intercambiable   | 0,12<br>0,1951     | 0,15<br>0,1108  | 0,00<br>0,9958            | -0,09<br>0,3209             | 0,29<br>0,0014           | -0,04<br>0,6513   |
| P                       | 0,03<br>0,7073     | 0,03<br>0,7491  | 0,03<br>0,7727            | 0,11<br>0,2395              | -0,01<br>0,9137          | 0,09<br>0,3105    |
| K                       | 0,04<br>0,6255     | 0,10<br>0,2768  | -0,16<br>0,8002           | -0,16<br>0,0847             | -0,04<br>0,6900          | -0,14<br>0,1305   |
| Ca                      | -0,04<br>0,6135    | -0,09<br>0,3331 | 0,07<br>0,4524            | 0,11<br>0,2088              | 0,03<br>0,7445           | 0,13<br>0,1447    |
| Mg                      | 0,10<br>0,2819     | 0,17<br>0,0679  | -0,06<br>0,4896           | -0,19<br>0,0335             | -0,05<br>0,6084          | -0,19<br>0,0411   |
| S                       | 0,11<br>0,2331     | 0,05<br>0,6168  | 0,11<br>0,2377            | 0,03<br>0,7141              | 0,05<br>0,5517           | 0,09<br>0,3266    |
| Fe                      | -0,03<br>0,7056    | -0,08<br>0,3989 | 0,04<br>0,6722            | 0,09<br>0,3487              | 0,34<br>0,0001           | 0,12<br>0,1861    |
| Cu                      | 0,11<br>0,2090     | 0,18<br>0,0423  | -0,14<br>0,1220           | 0,00<br>0,9767              | 0,08<br>0,3824           | -0,07<br>0,4490   |
| Zn                      | 0,20<br>0,0352     | 0,22<br>0,0134  | 0,07<br>0,4321            | 0,04<br>0,6488              | 0,09<br>0,3125           | 0,08<br>0,3715    |
| Mn                      | 0,12<br>0,1737     | 0,14<br>0,1373  | 0,21<br>0,0208            | -0,05<br>0,6142             | 0,45<br>0,0001           | 0,13<br>0,1585    |
| B                       | 0,10<br>0,2495     | 0,16<br>0,0883  | -0,03<br>0,7637           | -0,14<br>0,1333             | -0,03<br>0,7358          | -0,12<br>0,1706   |
| CIC                     | 0,06<br>0,4780     | 0,16<br>0,0706  | -0,11<br>0,2417           | -0,16<br>0,0752             | -0,01<br>0,9892          | -0,17<br>0,0690   |
| Ca + Mg / K             | -0,11<br>0,2410    | -0,12<br>0,2023 | 0,05<br>0,6016            | 0,11<br>0,2215              | 0,04<br>0,6556           | 0,11<br>0,2234    |
| Ca / Mg                 | 0,07<br>0,4240     | 0,11<br>0,2270  | -0,05<br>0,5566           | -0,13<br>0,1686             | -0,03<br>0,7467          | -0,13<br>0,1497   |
| Ca / K                  | -0,11<br>0,2448    | -0,11<br>0,2312 | 0,09<br>0,3492            | 0,15<br>0,1060              | 0,06<br>0,5061           | 0,15<br>0,0902    |

Continúa...

Continuación Cuadro 2...

| Variable                | Raíz total      | Raíz funcional  | <i>Radopholus similis</i> | <i>Helicotylenchus</i> spp. | <i>Pratylenchus</i> spp. | Nematodos totales |
|-------------------------|-----------------|-----------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------|
| K / Mg                  | 0,03<br>0,7007  | 0,07<br>0,4551  | -0,07<br>0,4484           | -0,11<br>0,2451             | -0,03<br>0,7614          | -0,12<br>0,1762   |
| Suma bases              | 0,09<br>0,3219  | 0,16<br>0,0799  | -0,07<br>0,4246           | -0,24<br>0,0077             | -0,10<br>0,2626          | -0,24<br>0,0091   |
| Cl                      | -0,12<br>0,1924 | -0,08<br>0,3741 | 0,16<br>0,0734            | -0,01<br>0,8907             | 0,00<br>0,9850           | 0,07<br>0,4605    |
| NH <sub>4</sub>         | 0,07<br>0,4173  | 0,04<br>0,6445  | -0,00<br>0,9954           | 0,10<br>0,2739              | 0,04<br>0,6249           | 0,08<br>0,3775    |
| Na                      | 0,15<br>0,1107  | 0,21<br>0,0211  | -0,05<br>0,6178           | -0,15<br>0,1014             | 0,00<br>0,9882           | -0,15<br>0,1036   |
| <b>Pasta saturada</b>   |                 |                 |                           |                             |                          |                   |
| pH                      | 0,04<br>0,6242  | 0,09<br>0,3288  | 0,04<br>0,6331            | -0,20<br>0,0272             | -0,15<br>0,0999          | -0,15<br>0,1111   |
| CE                      | 0,22<br>0,0135  | 0,19<br>0,0341  | 0,23<br>0,0118            | 0,09<br>0,3380              | 0,06<br>0,5025           | 0,19<br>0,0379    |
| Ca                      | 0,16<br>0,0865  | 0,12<br>0,1719  | 0,04<br>0,6563            | -0,03<br>0,7530             | -0,01<br>0,9017          | -0,00<br>0,9636   |
| Mg                      | 0,13<br>0,1542  | 0,08<br>0,3570  | 0,18<br>0,0529            | 0,13<br>0,1487              | -0,08<br>0,3694          | 0,19<br>0,0325    |
| K                       | 0,10<br>0,2591  | 0,13<br>0,1457  | 0,20<br>0,0317            | 0,05<br>0,5867              | -0,03<br>0,7566          | 0,14<br>0,1325    |
| Na                      | 0,20<br>0,0286  | 0,21<br>0,0215  | 0,03<br>0,7671            | 0,08<br>0,4062              | 0,08<br>0,3728           | 0,06<br>0,4740    |
| Proporción absorción Na | 0,15<br>0,1042  | 0,18<br>0,0502  | -0,03<br>0,7650           | 0,05<br>0,5990              | 0,10<br>0,2774           | 0,02<br>0,8609    |

( $r = -0,19$ ;  $P = 0,0411$ ) conforme aumentó su contenido. De los elementos minoritarios (Fe, Cu, Zn, Mn, B) aumentos en el contenido de Zn favorecieron el peso de raíz total ( $r = 0,20$ ;  $P = 0,0352$ ) y funcional ( $r = 0,22$ ;  $P = 0,0134$ ) y de Cu el de raíz funcional ( $r = 0,18$ ;  $P = 0,0423$ ). Incrementos en el nivel de Fe estimularon el número de *Pratylenchus* spp. ( $r = 0,34$ ;  $P = 0,0001$ ) y de Mn a *R. similis* ( $r = 0,21$ ;  $P = 0,0208$ ) y *Pratylenchus* spp. ( $r = 0,45$ ;  $P = 0,0001$ ). La CIC y ninguna de las relaciones de bases (Ca + Mg / K), Ca / Mg, Ca / K o K / Mg) estudiadas se asoció con el peso de raíces o número de nematodos. Sin embargo, aumentos en la suma de las bases (Ca + Mg + K + Na) disminuyeron el número de *Helicotylenchus* spp. ( $r = -0,24$ ;  $P = 0,0077$ ) y nematodos totales ( $r = -0,24$ ;  $P = 0,0091$ ). Los niveles de Cl y NH<sub>4</sub> no se asociaron con ninguna de las variables estudiadas.

En pasta saturada, mayores pH redujeron el número de *Helicotylenchus* spp. ( $r = -0,20$ ;  $P = 0,0272$ ). La

proporción de absorción de Na no se asoció con ninguna de las variables estudiadas. Mayores niveles de CE resultaron en mayores pesos de raíz total ( $r = 0,22$ ;  $P = 0,0135$ ) y funcional ( $r = 0,19$ ;  $P = 0,0341$ ) y mayor número de *R. similis* ( $r = 0,23$ ;  $P = 0,0118$ ) y nematodos totales ( $r = 0,19$ ;  $P = 0,0379$ ). De los contenidos de Ca, Mg, K y Na, a mayor K mayor el número de *R. similis* ( $r = 0,20$ ;  $P = 0,0317$ ) y a mayor Mg mayor el número de nematodos totales ( $r = 0,19$ ;  $P = 0,0325$ ). Aumentos en Na favorecieron el peso de raíz total ( $r = 0,20$ ;  $P = 0,0286$ ) y funcional ( $r = 0,21$ ;  $P = 0,0215$ ).

## DISCUSIÓN

De las 32 características físico-químicas del suelo estudiadas, cuatro se asociaron con el peso de raíz total, nueve con el de raíz funcional, cinco con el número de *R. similis*, seis con *Helicotylenchus* spp., cuatro con

*Pratylenchus* spp. y nueve con nematodos totales. De las características físicas (contenidos de arena, limo y arcilla) estudiadas, un 50 % correlacionaron ya fuera con el peso de raíces o número de nematodos, mientras de las químicas solamente se encontró correlación en 15 % de las relaciones estudiadas. Pareciera entonces que las características físicas tienen mayor afinidad con el desarrollo radical y la invasión y daño inducido por los nematodos.

Siempre que se encontró significancia estadística entre la asociación de las variables, el valor de la correlación fue bajo o muy bajo. La máxima correlación ( $r = 0,53$ ) se observó entre el porcentaje de arena y el número de nematodos totales lo que vendría a explicar tan solo el 28 % de la población. Las características físicas correlacionaron en forma diferenciada con el peso de raíces y número de nematodos. Al aumentar el contenido de arena disminuyó el peso de raíces y aumentó el número de nematodos. Este mayor número de *R. similis* con el contenido de arena fue congruente con lo reportado por Ferreira *et al.* (2006) y se aleja de lo observado por Quénéhervé (1988) en Costa de Marfil y de Cássia *et al.* (2006) en Brasil, quienes citan que la textura no afectó este nematodo. La ausencia o poca asociación de las características físico-químicas del suelo con el número de *R. similis* probablemente se deba al hábito de alimentación de dicho nematodo que es endoparásito migratorio obligado, que pasa la mayor parte de su ciclo biológico dentro de las raíces del banano. Por el contrario, con el aumento en el porcentaje de arcilla disminuyó el número de *R. similis*, *Helicotylenchus* spp. y nematodos totales similar a lo reportado por Ferreira *et al.* (2006) y Cássia *et al.* (2006).

El contenido de K no correlacionó con ninguno de los nematodos detectados, contradictorio con lo observado por Ferreira *et al.* (2006) quienes citan correlación positiva en una plantación comercial de banano en Brasil. También se aleja de lo encontrado por Cássia *et al.* (2006) quienes indican una correlación positiva entre el nivel de K y el número de *M. javanica* y *H. multincinctus*. Bwamiki *et al.* (2003) sugiere que con niveles de K más bajos de los recomendados en banano, podría reducirse el impacto de *R. similis*. En plantas de frijoles infectadas con *Meloidogyne incognita* y fertilizadas con un nivel deficiente, óptimo y excesivo de K, se observó que la madurez de las hembras del nematodo y su postura de huevos se retardaba en las plantas con niveles deficientes del elemento (Oteifa 1953). En otros cultivos infectados de nematodos

reportan que la fertilización racional 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 (Better Crops 1998).

El  $\text{NH}_4$  no correlacionó con ninguna de las variables. Sin embargo, cantidades de nitratos hasta de 100 kg/ha estimularon las poblaciones de nematodos parásitos y redujeron la diversidad de otros nematodos en el suelo en plantaciones bananeras de Australia (Pattison y Lindsay 2006). También se menciona que cuando hay exceso de N en los tejidos y se acumula, se favorece la infección por patógenos (Better Crops 1998).

Tabora *et al.* (2002) sugirió que la toxicidad de Fe, Mn y Zn favorece la infección por nematodos. En concordancia se observó que conforme aumentó el Mn aumentó el número de *R. similis* y *Pratylenchus* spp. Igualmente con mayores niveles de Fe se favoreció el número de *Pratylenchus* spp. El Zn se asoció con los pesos de raíces pero no con los nematodos.

La materia orgánica (M.O.) no se asoció con la población de ningún nematodo, concordando con lo reportado por Quénéhervé (1988) y Okech *et al.* (2000) para *R. similis*. Sin embargo, difiere del mismo estudio de Quénéhervé (1988) por cuanto dicho autor encontró relación de la M.O. con *Helicotylenchus* spp., *Pratylenchus* spp. y *Meloidogyne* spp.

Conforme el pH se aproximó a neutro se redujo el número de *Pratylenchus* spp. y nematodos totales, en paralelo con lo observado por Quénéhervé (1988) y Okech *et al.* (2000). La ausencia de correlación entre el pH y *R. similis* está en línea con lo reportado por Quénéhervé (1988), Okech *et al.* (2000) y Cássia *et al.* (2006). Los últimos 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 de 5-5,6. Según Norton (1979), los nematodos pueden tolerar rangos amplios de pH, por consiguiente solo valores extremos, de muy bajo o muy alto, afectaría la población de nematodos. 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.

*Helicotylenchus* spp. mostró cierta afinidad con los contenidos de arena y arcilla, mientras raíces funcionales y nematodos totales fueron los que presentaron mayor afinidad con las características físico-químicas del suelo, teniendo en común tres variables: arena, arcilla y CE.

El mayor número de *R. similis* y nematodos totales observado al aumentar el contenido de K y Mg (pasta saturada), respectivamente, concuerdan parcialmente con lo observado por Cássia *et al.* (2006) quienes indican una asociación positiva entre la saturación de bases y *M. javanica* y *Helicotylenchus* spp. Al aumentar la CE aumentaron los pesos de raíz total y funcional, lo que probablemente favoreció el mayor número de *R. similis* y nematodos totales, al haber mayor fuente de alimentación disponible. Sin embargo, valores mayores a 0,8 dS/m de CE afectan visiblemente la planta y los frutos de banano (Turner 1994).

Se conoce que las poblaciones de nematodos en las raíces y los contenidos de elementos en el suelo varían tanto temporal como espacialmente, lo que hace muy compleja dicha interacción. Sin embargo, pareciera que dicha variación no se presentó en el área de 5 ha de donde se tomaron las muestras. Los resultados sugieren profundizar estudios en dos líneas: el efecto de la nutrición en el número y daño de los nematodos y el efecto de éstos en la absorción de nutrientes. En el presente trabajo se abordó el efecto puntual de las características físico-químicas de un área reducida de suelo en el número de nematodos, pero se conoce que afectan la absorción de nutrientes (Farwell *et al.* 1980, Jenkins y Malek 1996). El aumento en los costos de los fertilizantes y los nematocidas motivan a desarrollar dicha investigación.

## LITERATURA CITADA

- Acevedo, SJ. 1997. Efecto que causa la acumulación del hierro sobre las raíces de banano (*Musa* AAA) Subgrupo Cavendish, clon Gran Enano, bajo condiciones del trópico húmedo, Costa Rica. Trabajo de Graduación. Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda (EARTH), Guácimo, Costa Rica. 41p.
- 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(55):97-110.
- Better Crops. 1998. Effects of potassium on plant diseases. Better Crops 82(3):37-39.
- Bwamiki, DP; Duxbury, JM; Esnard, J. 2003. Effect of banana nutritional status on host tolerance to the burrowing nematode *Radopholus similis*. In: Abstracts: 42<sup>nd</sup> annual meeting. Society of Nematologists. Cornell University, Ithaca, New York, USA. p. 328-329.
- Cássia, FRR; Aparecida, A; Hyidu, ME; Ruas, PF; Brito, RH; Azis, APA; Ferraz, S. 2006. Influencia de fatores edáficos sobre a população de *Meloidogyne javanica*, *Helicotylenchus multicinctus* e *Radopholus similis* em bananeira. XVII Reunião ACORBAT. Joinville, Santa Catarina, Brasil. 15-20 octubre 2006. p. 813-817.
- Chambers, KR. 1985. The role of potassium in plant disease: a review. Proceedings Potassium Symposium. p. 137-139.
- Chapman, HD; Brown, SM. 1942. Some fungal infections of citrus in relation to nutrition. Soil Science 54:303-312.
- Contín, A. 1973. Investigación de suelos. Métodos de laboratorio y procedimientos para recoger muestras. México. Traducción de "Soil survey laboratory methods and procedures for collecting soil samples. Soil Conservation Service 1972, United States Department of Agriculture, Washington, D.C. 90 p.
- Davide, RG. 1980. Influence of cultivar, age, soil texture, and pH on *Meloidogyne incognita* and *Radopholus similis* on banana. Plant Disease 64(6):571-573.
- Díaz, RA; Hunter, A. 1978. Metodologías de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal y de investigaciones en invernadero. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica. Proyecto Centroamericano de Fertilidad de Suelos. 68 p.
- Engelhard, A.W. 1989. Soilborne plant pathogens: management of diseases with macro and microelements. APS Press, The American Phytopathological Society. St. Paul, Minnesota, USA. 217 p.
- Farwell, AJ; Farina, MPW; Channon, P. 1980. The effects of nematodes on nutrient absorption by maize. Gewasproduksie/ Crop Production IX: 247-251.
- Ferreira, RRC; Aparecida, A; Mizobutsi, EH; Pereira, FR; Ribeiro, HB; Alexandre, PAA; Ferraz, S. 2006. Influencia de fatores edáficos sobre a população de *Meloidogyne javanica*, *Helicotylenchus multicinctus* e *Radopholus similis* em bananeira. In: XVII Reunião ACORBAT. Joinville, Santa Catarina, Brasil. p. 813-817.
- García, J; Mora, I. 2006. Efecto del calico soluble en rendimiento e incidencia de *Sigatoka negra* y *mancha de madurez* en banano. In: XVII Reunião ACORBAT, Joinville, Santa Catarina, Brasil. p. 377.
- Henríquez, HC; Cabalceta, AG. 1999. Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola. Universidad de Costa Rica. Escuela de Fito-tecnia / Facultad de Agronomía. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo, Costa Rica. 109 p.

- Jenkins, WR, Malek, RB. 1996. Influence of nematodes on absorption and accumulation of nutrients in vetch. *Soil Science* 101(1):46-49.
- Norton, C. 1979. Relationships of physical and chemical factors to populations of plant parasitic nematodes. *Annual Review of Phytopathology* 17:279-299.
- Okech, SHO; Gold, CS; Speijer, P; Ssali, H; Karamura, E. 2000. Relationships between soil fertility, banana weevil and nematodes in the East African Highland cooking banana in Ntungamo, South Western Uganda. *Acta Horticulturae* 540:505-514.
- Oteifa, BA. 1953. Development of the root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*, as affected by potassium nutrition of the host. *Phytopathology* 43:171-174.
- Pattison, T; Lindsay, S. 2006. Banana root and soil health user's manual. FR02025 soil and root health for sustainable banana production. Department of Primary Industries and Fisheries, Queensland, Australia. 56 p.
- Pattison, T. 2006. Banana farm management effects on soil health and plant-parasitic nematodes in Costa Rica. Final report. Queensland Department of Primary Industries and Fisheries, Australia. 35 p.
- Quénéhervé, P. 1988. Population of nematodes in soils under banana cv. Poyo in the Ivory Coast. 2. Influence of soil texture, pH and organic matter on nematode populations. *Revue Nematol.* 11(2):245-251.
- Rhoades, JD. 1982. Soluble salts. *In:* Page, AL; Miller, RH; Keeney, DR. eds. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Second Edition.* American Society of Agronomy, Inc., Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA. p. 167-179.
- Tabora, P; Okumoto, S; Elango, F. 2002. Organic and transition bananas: experience with effective microorganisms (EM). *In:* Riveros, AS; Pocasangre, LE; Rosales, FE. eds. *Inducción de resistencia y uso de tecnologías limpias para el manejo de plagas en plantas. Memorias del taller internacional realizado en el CATIE, Turrialba, Costa Rica.* CATIE-INIBAP. p. 87-93.
- Taylor, LQ; Loegering, WQ. 1953. Nematodes associated with root lesions in abaca. *Turrialba* 3(1-2):8-13.
- Turner, WD. 1994. Bananas and plantains. *In:* Schaffer, B, Andersen, PC. eds. *Handbook of environmental physiology of fruit crops. Volume II: Sub-tropical and tropical crops.* CRC Press Inc. Fla, USA. p. 37-64.
- United States Department of Agriculture. 1993. *Soil survey manual. Handbook No 18.* 437 p.

