

COMUNIDADES DE NEMATODOS EN CAÑA DE AZÚCAR BAJO DIFERENTES SISTEMAS DE LABRANZA Y COSECHA

E. A. Mondino^{1*}, O. C. H. Tavares², E. Lima², and R. L. L. Berbara¹

¹Laboratório de Biologia do Solo, Depto. de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, BR-465, km 7 Seropédica, 23890-000 RJ-Brasil; ²Laboratório de Fertilidade de Solos, Depto. de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, BR-465, km 7 Seropédica, 23890-000 RJ-Brasil. *Corresponding author: emondino@mdp.edu.ar

ABSTRACT

Mondino, E. A., O. C. H. Tavares, E. Lima, and R. L. L. Berbara. 2010. Communities of nematodes in sugarcane under different tillage and harvest systems. *Nematropica* 40:203-215.

This study aims to determine the variations of the nematode community in a long-term experiment under different systems of soil tillage, with and without burning of the straw of sugar cane in *Tabuleiro Costeiro*. The experiment was conducted in Linhares-ES, in a sandy soil *Argissolo Amarelo*. Community composition of nematodes was 79% plant-parasitic, 14.5% bacterivores, 4.7% omnivore-predators, and only 1.1% fungivores. There was no significant difference in the taxonomic diversity and disturbance indices between treatments. The average relative density for trophic groups showed significant differences for bacterivores, with higher densities in burned cane. Fungivore nematodes were not present in the conventional tillage system, while omnivores were not detected in burned cane. Principal Component Analysis separated the tillage systems (conventional and reduced tillage). In addition, certain specific taxa of nematodes were associated with different treatments. The systems studied differed in the degree of disturbance, with lower values observed in raw sugarcane and reduced tillage.

Key words: bioindicators; sugarcane; nematofauna; agricultural systems.

RESUMEN

Mondino, E. A., O. C. H. Tavares, E. Lima, and R. L. L. Berbara. 2010. Comunidades de nematodos en caña de azúcar bajo diferentes sistemas de labranza y cosecha. *Nematropica* 40:203-215.

Este estudio tuvo como objetivo determinar las variaciones de la comunidad de nematodos en un experimento de larga duración bajo diferentes sistemas de labranza del suelo con y sin quema del follaje en caña de azúcar sobre *Tabuleiro Costeiro*. El experimento fue conducido en Linhares-ES, sobre un suelo *Argissolo Amarelo* textura arenosa/media. La composición de la comunidad de nematodos presentó 79% de fitófagos, 14.5% de bacteriófagos, 4.7% de omnívoro-depredadores y apenas 1.1% de micófagos. No hubo diferencias significativas en los índices de diversidad taxonómica y los índices que evalúan disturbios entre tratamientos. La densidad relativa media para grupos tróficos presentó diferencias significativas para los bacteriófagos, con mayor densidad en caña quemada. Los nematodos fungívoros no se presentaron en el sistema de labranza convencional, mientras que los omnívoros no lo hicieron en caña quemada. El análisis de componentes principales separó los diferentes sistemas de labranza (labranza convencional y labranza reducida). Además, determinados taxones específicos de nematodos están relacionados con los diferentes tratamientos. Los sistemas estudiados se diferenciaron en el nivel de disturbio, siendo menor para labranza reducida y caña cruda.

Palabras claves: bioindicadores; caña de azúcar; nematofauna; sistemas de cultivo.

INTRODUCCIÓN

La expansión del cultivo de la caña de azúcar en el Brasil ocurrió en suelos de baja fertilidad natural como los suelos de *Tabuleiro Costeiro*, formados a partir de los sedimentos *Barreiras*. Estos suelos presentan bajo contenido de óxidos de hierro y aluminio, ausencia de minerales primarios meteorizados, predominio de caolinita en la fracción arcilla y de cuarzo en la fracción arena (Jacomine, 1996) y baja capacidad de retención de agua. Estas características, asociadas a las condiciones de clima y las actuales técnicas de manejo del cultivo de la caña de azúcar, han favorecido la reducción del potencial productivo de esos suelos, principalmente debido a la disminución del tenor de carbono orgánico del suelo promovida por el vigoroso laboreo del suelo en la siembra y por la quema del follaje antes de la cosecha. Esta práctica fue usual durante muchos años en el Brasil y el mundo. En los últimos años ha crecido mucho el área total de caña cosechada mecánicamente, sin la previa despaja con fuego (Wood, 1991; Trivelin *et al.*, 1997; Ceddia *et al.*, 1999). En ese nuevo sistema de cosecha de caña, las hojas secas, los punteros y las hojas verdes son cortados y lanzados sobre la superficie del suelo, formando el rastrojo.

La quema favorece la mineralización de la materia orgánica ya existente (Ceddia *et al.*, 1999), acelera el proceso erosivo y el deterioro de las propiedades físicas, químicas (Mendoza *et al.*, 2000) y biológicas del suelo. Con la quema se pierden cerca de 10 Mg·ha⁻¹·año⁻¹ de follaje, que contiene N (40-60 kg ha⁻¹), S (15-30 kg ha⁻¹) y C (4.500 kg ha⁻¹), (Urquiaga *et al.*, 1997; Resende *et al.*, 2006). Por otro lado, el sistema caña cruda favorece el aumento del tenor de materia orgánica (Ceddia *et al.*, 1999; Mendonza *et al.*, 2000; Canellas *et al.*, 2003), la reducción de la amplitud térmica (Oli-

veira, 2001), la reducción de la erosión, favorece la estructuración del suelo, promueve la manutención de nutrientes e incrementa la actividad microbiológica del suelo (Cerri *et al.*, 1992). Finalmente, el sistema de caña cruda aumenta los rendimientos de colmos en más de 25%, sugiriendo que la presencia del follaje en el terreno favorece la conservación de la humedad del suelo (Resende *et al.* 2006; Souza *et al.*, 2005). Por otro lado, la combinación de labranza mínima y cosecha de caña cruda, sobre Tabuleiro Costero, aumentó la productividad y agregó materia orgánica al sistema, en media 18,7 T. ha⁻¹ de hojas y puntas (follaje) (Tavares, 2007)

Las plantas cultivadas son el denominador común para la fauna del suelo y juegan un papel central en determinar la dinámica de la comunidad del suelo. El sistema radicular de la planta es el mayor componente biótico del suelo, proporcionando energía para la mayoría de la fauna del suelo (Freckman, 1985). Los nematodos tienen un papel importante en los procesos ecológicos del suelo y participan de algunas interacciones afectando el cultivo, interactuando directamente en el ecosistema como herbívoros e indirectamente como consumidores de la microflora, regulándola y liberando los nutrientes para las plantas (Coleman *et al.*, 1984). Los nematodos son abundantes y sus comunidades son diversas (Yeates, 2003). Su composición de especies refleja el sustrato, textura, clima, biogeografía, ciclos orgánicos y los disturbios naturales y antrópicos (Yeates, 1984; Neher, 2001). Esos atributos hacen que los nematodos sean útiles indicadores ecológicos (Freckman, 1988).

El análisis para determinar el efecto de las prácticas de manejo en la estructura y función de la comunidad de nematodos generalmente se basa en el número de especies, géneros o abundancia de grupos tróficos, biomasa, y diversidad, entre otros.

También se usan frecuentemente las asociaciones entre especies parásitas de plantas (Topham *et al.*, 1991). Se han desarrollado índices ecológicos adicionales para considerar la comunidad de nematodos como un indicador en ecosistemas acuáticos y terrestres, como son el índice madurez (IM) y el índice de parásitos de plantas (IPP) (Bongers, 1990; Bongers *et al.*, 1991). De la misma forma son utilizados índices que diagnostican la cadena trófica del suelo, como el índice de enriquecimiento (IE), índice de estructura (IS) e índice canal (IC) (Ferris *et al.*, 2001). Esos análisis ofrecen informaciones complementarias y cuando son usados en combinación revelan una información descriptiva y cuantitativa de la comunidad de nematodos del suelo (Bongers, 1990).

Cada vez es más necesario conocer los efectos de las prácticas agrícolas en agroecosistemas en general y sobre la biología del suelo en particular. Específicamente, no existen evaluaciones de los sistemas con caña de azúcar desde el punto de vista del impacto sobre la nematofauna del suelo. Por ello, este trabajo tiene como objetivo determinar las variaciones de la comunidad de estos organismos en un experimento de larga duración bajo diferentes sistemas de labranza del suelo, con y sin quema del follaje en caña de azúcar sobre *Tabuleiro Costeiro*.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló sobre un ensayo de larga duración que fue instalado en 1989, en el municipio de Linhares-Espírito Santo-Brasil; (37°45' Lat. Sur, 58°18' Long. Oeste) con una altitud de 28,0 (m.s.n.m). El municipio de Linhares forma parte de la zona fisiográfica denominada *Baixo do Rio Doce* (EMBRAPA/SNLCS, 1978). Esta se caracteriza por la ocurrencia de extensas áreas de relieve suave ondulado, donde

una serie de bajas mesetas componen el llamado *Tabuleiro Costeiro* "relieve tabuliforme", con declives raramente superiores a 3%. El clima de la región corresponde al tipo AW de la clasificación de Köppen, y la vegetación primaria es representada por la Selva Tropical Subperenifolia. El suelo se clasificó como *Argissolo amarelo* de textura arenosa/média (Ravelli Neto and Lima, 1987; EMBRAPA Solos, 2006). La variedad de caña de azúcar utilizada fue RB867515. La fertilización siempre fue uniforme para todo el área experimental siendo aplicados a la siembra 400 kg·ha⁻¹ de la formulación 05-20-20 y 400 kg·ha⁻¹ de la formulación 20-00-20 de NPK a la cosecha, con base en el análisis químico del suelo.

El área experimental fue trabajada bajo sistema convencional durante 16 años sin resiembra, con sistemas de cosecha de caña cruda y caña quemada. En 2005 se realizó la primera renovación del cañaveral con la introducción de un nuevo sistema de manejo del suelo, la labranza reducida. Así el Tratamiento 1 se definió como: área renovada con labranza reducida, cosechada como caña cruda (LR-C) y caña quemada (LR-Q) y el Tratamiento 2 como: área renovada con labranza convencional, cosechada como caña cruda (LC-C) y caña quemada (LC-Q).

La labranza reducida consistió en la destrucción de las socas mediante la utilización de herbicidas y la apertura de surcos para la siembra de los colmos. Para la labranza convencional se realizó una pasada de arado y dos de reja. La cosecha de caña cruda consistió en la defoliación manual del colmo dejando los residuos en el suelo. En la cosecha de caña quemada, el fuego se inició en todo el perímetro del área, de tal forma que su término sea en la parte central de la misma, posteriormente se realizó el corte.

El diseño experimental fue de bloques al azar en esquema de parcelas subdividas

con 4 repeticiones. La parcela comprendía 11 líneas de 22,0 m de largo, con un espaciamiento de 1,2 m, para un total de 16 unidades experimentales. Se consideraron como borde dos líneas de cada lado de la parcela. El muestreo se realizó en septiembre de 2007, antes de comenzar la cosecha. Cada tratamiento se muestreó en línea zigzag en diez puntos al azar en las líneas y entrelíneas, colectándose el suelo a 20 cm de profundidad, utilizando un barreno de 5 cm² de área. Esas diez muestras fueron homogenizadas para componer una muestra compuesta. Cada muestra fue conservada a 4°C, y todas fueron procesadas en un período de cinco días. Para la extracción de los nematodos se separó una alícuota de 100 mL de suelo de cada muestra homogeneizada manualmente y se la procesó mediante la técnica de flotación-centrifugación (Caveness y Jensen, 1955). La identificación de los nematodos fue realizada por observación en microscopio, llegando a la categoría de género, utilizándose la literatura sobre el tema (Jairajpuri and Ahmad, 1992; Fortuner *et al.*, 1987; Heyns, 1971; Siddiqui, 1985, Chaves *et al.*, 1995).

Se describió la comunidad de nematodos utilizando los siguientes parámetros ecológicos: Abundancia: abundancia total (número total de nematodos por 100 mL de suelo); y relativa conforme Magurran (1988). Diversidad: índice de Shannon-Wiener (H') que confiere mayor peso a las especies raras siendo, $H' = -\sum p_i \times \log_e(p_i)$, donde $p_i = \%$ del taxón "i" en la población total (Shannon & Wiener, 1949); Equitatividad, $J' = H'/H' \text{ max}$, donde $H' \text{ max} = \log_e S$, donde S = número total de géneros; Índice de Simpson (D_s) que da mayor peso a las especies comunes, siendo $D_s = 1/\sum (n_i / N)^2$, donde $n_i = n^\circ$ de individuos del taxón "i" (Simpson, 1949), los índices mayores significan dominancia de pocas especies o géneros. Disturbio:

índice de madurez (IM) incorpora características ecológicas de familias basado en la escala de colonizadores-persistentes (c-p) un índice mas bajo indica disturbios, índice de madurez 2-5 (IM2-5) en este son excluidos los nematodos con valor c-p = 1 y el índice de parásitos de plantas (IPP) el cual lista solo a los nematodos fitófagos. El IM, IM2-5 y el IPP fueron calculados por la misma fórmula, siendo igual a $\sum (v_i) \times f(i)$, donde $v(i) =$ valor c-p que varia de 1 a 5 y $f(i)$ la frecuencia del taxón i (Bongers, 1990). Se clasificaron los nematodos por sus hábitos alimenticios o por la morfología del estoma-esófago en: fitófagos, bacteriófagos, micófagos, depredadores y omnívoros según Yeates *et al.*, (1993).

El análisis faunal de la red trófica del suelo se estudió a partir de los índices de enriquecimiento (IE) y estructura (IS) que están basados en la importancia del grupo funcional de nematodos, como descriptores de la cadena trófica del suelo. IE es calculado así: $[IE = 100 \times (e / (e+b))]$ donde, $e = K_e \times N_e$, siendo, $K_e =$ peso atribuido al grupo [Ba_1 (Rhabditidae, Panagrolaimidae y Diplogasteridae) y Fu_2 (Aphelenchoididae, Aphelenchidae y Anguinidae)] y $N_e =$ abundancia de estos grupos y, $b = K_b \times N_b$ [Ba_2 (Cephalobidae) y Fu_2 (Aphelenchoididae, Aphelenchidae y Anguinidae)], siendo $K_b =$ peso atribuido a los grupos y, $N_b =$ abundancia de estos grupos; o (IS) es calculado como: $IS = 100 \times (s / (s+b))$ siendo los grupos $Ba_{3,5}$ (Prismatolaimidae), $Fu_{3,5}$ (Diphtherophoridae), $OM_{3,5}$ (Mononchidae, Dorylaimidae, Thornematidae y Qudsianematidae) y $Ca_{2,5}$ (Mononchidae, Dorylaimidae, Discolaimidae, Trypilidae, Aphelenchoididae y Aphelenchidae) y el índice Canal (IC), donde $IC = 100 \times (0,8 Fu_2 / (3,2 Ba_1 + 0,8 Fu_2))$ (Ferris *et al.*, 2001).

Se realizaron las pruebas de Lilliefors y Bartlett en todos los parametros estudiados para medir la normalidad y homocedastici-

dad. Los resultados fueron sometidos a análisis de variancia con aplicación de la prueba F y las médias comparadas entre si por la prueba de Tukey al 5% de probabilidad utilizando el programa SAEG (UFV, 1999). La ordenación de los datos fue realizada por el análisis de componentes principales utilizando el programa CANOCO (ter Braak, 1988).

RESULTADOS

La abundancia relativa media de los géneros de nematodos fluctuó, en los diferentes tratamientos, entre 0.002 y 0.395, el número de géneros varió entre 10 y 14 mientras que la riqueza acumulada fue de 22 géneros (Cuadro 1).

El 92% de la abundancia relativa estuvo representada por cuatro géneros: Los eudominantes (abundancia relativa $\geq 10\%$) *Helicotylenchus* spp. (32%), *Pratylenchus* sp. (31%) *Rhabditis* sp. (20%), y dominante (abundancia relativa $\geq 5,1\%$) *Criconemella* sp. (9%), (Cuadro 1). La composición de la comunidad de nematodos incluyó cuatro grupos principales con 21 géneros identificados en las muestras de suelo: fitófagos (9 géneros), bacteriófagos (8 géneros), micófagos (2 géneros) y omnívoro-depredador (2 géneros) (Cuadro 1). De los nematodos reconocidos, 79% pertenecieron a los fitófagos, 14,5% a los bacteriófagos, 4,7% a los omnívoro-depredadores y apenas 1,1% a los micófagos.

En el Cuadro 2 se muestran los valores de los índices descriptores de la comunidad de nematodos. No hubo diferencias significativas entre los índices de diversidad. Si bien, el mayor valor de H' fue en el tratamiento labranza reducida y menor en el tratamiento labranza convencional. Para los sistemas de cosecha ambos presentaron valores intermedios. El valor de Ds fue mayor en el tratamiento de labranza convencional y menor en labranza reducida.

Mientras que el índice de equitatividad (J') se presentó de forma inversa en estos tratamientos.

Los índices que evalúan disturbios no presentaron diferencias significativas. Si bien el IM y el IM2-5 fueron mayores en sistema de cosecha caña cruda. Mientras que el IPP fue el mismo para los dos sistemas de cosecha (Cuadro 3.)

En el Cuadro 4 se presentan la abundancia media de nematodos y la abundancia relativa media por grupos tróficos. La abundancia media no presentó diferencias significativas entre los sistemas de labranza ni los sistemas de cosecha. Mientras que la densidad relativa media para los distintos grupos tróficos, presentó diferencias significativas entre los sistemas de cosecha para los nematodos bacteriófagos, siendo mayor, la densidad, en caña quemada. Por otro lado, los fungívoros no se presentaron en el sistema de labranza convencional, mientras que los omnívoros-depredadores no fueron encontrados en el sistema de cosecha de caña quemada (Cuadro 4).

Los valores medios de IE e IS, que diagnostican la cadena trófica del suelo, no presentaron diferencias significativas (datos no presentados). En la Fig. 1, puede observarse que todos los tratamientos se distribuyeron en el cuadrante B, diferenciándose en los valores del IE. El cuadrante B se caracteriza por presentar disturbio bajo para moderado, condición de la cadena trófica en maduración, enriquecimiento por N, canal de descomposición balanceada y baja relación C/N (Ferris *et al.*, 2001).

El IC, indicador de la vía preferencial de la descomposición de la materia orgánica, no presentó diferencias significativas entre los tratamientos, si bien fue mayor para labranza reducida y menor para labranza convencional (Cuadro 2).

El análisis de componentes principales (ACP) para los diferentes taxones de

Cuadro 1. Grupos tróficos, abundancia relativa, riqueza genérica y acumulada de los géneros de nematodos en caña de azúcar en un suelo Argissolo Amarelo de Tabuleiro Costeiro, Linhares -ES-Brasil.

| Taxones | Labranza Convencional | | Labranza Reducida | | Valor cp |
|-------------------------------|-----------------------|---------|-------------------|---------|----------|
| | Cruda | Quemada | Cruda | Quemada | |
| Fitófagos | | | | | |
| <i>Criconemella</i> | 0,065 | 0,1175 | 0,115 | 0,0525 | 3 |
| <i>Dorylaimelus</i> | 0,025 | 0,02 | 0,0075 | 0,0025 | 5 |
| <i>Helicotylenchus</i> | 0,395 | 0,2075 | 0,3925 | 0,28 | 3 |
| <i>Meloidogyne</i> | 0,0025 | | | | 3 |
| <i>Pratylenchus</i> | 0,39 | 0,25 | 0,245 | 0,3725 | 3 |
| <i>Radopholus</i> | | | 0,005 | | 3 |
| <i>Tylenchus</i> | 0,01 | 0,0075 | 0,01 | 0,0025 | 2 |
| <i>Trichodorus</i> | | 0,01 | 0,0175 | 0,0025 | 4 |
| <i>Xiphinema</i> | 0,0025 | 0,005 | 0,0025 | | 5 |
| Bacteriófagos | | | | | |
| <i>Acrobeloides</i> | 0,005 | | 0,0125 | 0,0375 | 2 |
| <i>Cruznema</i> | 0,0025 | | | | 2 |
| <i>Eucephalobus</i> | 0,0075 | 0,01 | | | 2 |
| <i>Mesorhabditis</i> | | | | 0,015 | 1 |
| <i>Monhystera</i> | | | | 0,005 | 2 |
| <i>Prismatolaimus</i> | | 0,0075 | | 0,035 | 3 |
| <i>Rhabditis</i> | 0,0825 | 0,365 | 0,175 | 0,1675 | 1 |
| <i>Seleborca</i> | | | 0,0025 | | 2 |
| Micófagos | | | | | |
| <i>Aphelenchus</i> | | | 0,0025 | | 2 |
| <i>Ditylenchus</i> | | | 0,005 | 0,0175 | 2 |
| Omnivoros-Depredadores | | | | | |
| <i>Eudorylaimus</i> | | | 0,0075 | | 4 |
| <i>Dorylaimido s.l</i> | 0,0075 | | | 0,01 | 4 |
| <i>Labronema</i> | 0,005 | | | | 4 |
| Riqueza genérica | 13 | 10 | 14 | 13 | |
| <i>Riqueza acumulada</i> | 22 | | | | |

nematodos explicó 77,9% de la variabilidad total en las dos primeras componentes, siendo que 41,9% están relacionados al F1 y 36% al F2 (Fig. 2). El ACP separó los tratamientos en relación a los diferentes siste-

mas de cultivo, labranza convencional y labranza reducida. Además, puede observarse la relación de determinados taxones de nematodos con los diferentes tratamientos, como el caso de *Labronema*, *Meloidogyne*

Cuadro 2. Índices de la comunidad de nematodos y densidad total média, en caña de azúcar en un suelo Argisolo Amarelo de Tabuleiro Costeiro, Linhares -ES-Brasil.

| Índices | Labranza | | | | Cosecha | | | |
|----------|----------|----------------|--------------|---|---------|---|---------|---|
| | Reducida | | Convencional | | Cruda | | Quemada | |
| H' | 1,49 | A ^x | 1,29 | A | 1,39 | a | 1,39 | a |
| Ds | 0,28 | A | 0,37 | A | 0,32 | a | 0,33 | a |
| J' | 0,73 | A | 0,67 | A | 0,70 | a | 0,70 | a |
| Densidad | 64 | A | 56 | A | 61 | a | 59 | a |
| IC | 8,12 | A | 5,15 | A | 6,17 | a | 7,10 | a |

IC = índice canal; Densidad = individuos /100ml de suelo.

^xValores medios con la misma letra no son significativamente diferentes.

Cuadro 3. Índices de perturbación, de la comunidad de nematodos en caña de azúcar en un suelo Argisolo Amarelo de Tabuleiro Costeiro, Linhares -ES-Brasil.

| Labranza | Cosecha | | |
|--------------|---------------------|---------|---------------------|
| | Cruda | Quemada | Total |
| | IM | | |
| Reducida | 1,46 | 1,48 | 1,47 A ^x |
| Convencional | 1,89 | 1,54 | 1,71 A |
| Total | 1,68 a ^y | 1,51 | a |
| | IM 2-5 | | |
| Reducida | 3,32 | 2,45 | 2,89 A |
| Convencional | 3,26 | 2,85 | 3,06 A |
| Total | 3,29 a | 2,65 | a |
| | IPP | | |
| Reducida | 3,03 | 3,00 | 3,02 A |
| Convencional | 3,01 | 3,04 | 3,02 A |
| Total | 3,02 a | 3,02 | a |

IM = Índice de madurez, IM 2-5 = índice de madurez incluye solamente c-p = 2-5; IPP = índice de madurez para fitoparasitos.

^xLetras minúsculas en la horizontal y mayúsculas en la vertical.

^yValores medios con la misma letra no son significativamente diferentes.

y *Cruzinema* que están asociados al LC-C; *Mesorhabditis* y *Monhystera* asociados al LR-Q; mientras que, *Radopholus*, *Seleborca*, *Eudorylaimus* y *Aphelenchus* están asociados al LR-C.

DISCUSIÓN

El sistema de caña de azúcar presentó una baja riqueza de géneros y fue dominado por los nematodos fitófagos y bacteriófagos, este resultado concuerda por lo reportado por Freckman & Caswel (1985) quienes indicaron que, los agroecosistemas en general son dominados por estos grupos funcionales. De la misma forma Mondino *et al.*, (2006); Cares y Huang (1991), Gomes *et al.*, (2003) y Mondino *et al.*, (2009) reportaron resultados coincidentes para climas subtropicales y tropicales de América del Sur.

Entre los nematodos fitófagos *Meloidogyne incognita* y *Meloidogyne javanica* son considerados los de mayor impacto en la productividad de la caña de azúcar (Spaull y Cadet, 1990; Cadet y Spaull, 2003), reportándose reducciones en la productividad de la caña de azúcar de 9 - 15 T.ha-1 (Cadet

Cuadro 4. Densidad total y densidad relativa de grupos tróficos de nematodos en caña de azúcar en un suelo Argissolo Amarelo de Tabuleiro Costeiro, Linhares -ES-Brasil.

| Labranza | Cosecha | | Total | |
|--------------|----------------------------------|--------------------|-------|----------------|
| | Cruda | Quemada | | |
| | individuos /100ml de solo | | | |
| Reducida | 248 | 163 | 205 | A ^x |
| Convencional | 231 | 303 | 267 | A |
| Total | 239 | a ^y 233 | | a |
| | fitófagos/100 individuos | | | |
| Reducida | 80 | 71 | 75 | A |
| Convencional | 89 | 62 | 75 | A |
| Total | 84 | a 67 | | a |
| | bacteriófagos/100 individuos | | | |
| Reducida | 19 | 26 | 23 | A |
| Convencional | 10 | 38 | 24 | A |
| Total | 14 | b 32 | | a |
| | fungívoros/100 individuos | | | |
| Reducida | 0,75 | 1,75 | 1,25 | |
| Convencional | 0 | 0 | 0 | |
| Total | 0,38 | 0,88 | | |
| | Onívoros-predador/100 individuos | | | |
| Reducida | 0,75 | 0 | 0,38 | |
| Convencional | 0,5 | 0 | 0,25 | |
| Total | 0,63 | 0 | | |

^xLetras minúsculas en la horizontal y mayúsculas en la vertical.

^yValores medios con la misma letra no son significativamente diferentes.

y Spaul, 2003). En este trabajo se encontró *Meloidogyne* sp. en muy baja densidad. Esta observación se correlaciona con la buena productividad media (92,3 T.ha-1) alcanzada en el experimento (Tavares, 2007).

Los índices ecológicos de la comunidad de nematodos, se destacaron positivamente para el sistema de labranza reducida, presentando mayor H' menor Ds y mayor J', indicativo de comunidades equilibradas, con ausencia de géneros dominantes y con una distribución compensada de

número de nematodos en los diferentes géneros presentes. Esto permite inferir, que a pesar del poco tiempo de aplicación de las prácticas conservacionistas, éstas inducen mejoras en las condiciones edáficas que favorecen las comunidades de nematodos.

El sistema de labranza convencional influyó negativamente en la presencia de fungívoros, lo cual fue coincidente con lo reportado por Brmez *et al.*, (2006) quienes encontraron una reducción significativa

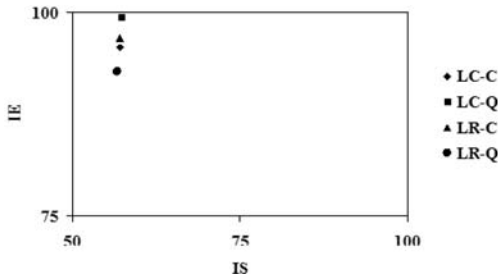


Fig. 1. Perfil faunal basado en la abundancia de nematodos para los cuatro tratamientos (notar que la escala de los ejes están ajustados para facilitar la comparación). IS = índice de estructura; IE = índice de enriquecimiento; LR-C = Labranza Reducida, cosechada como caña cruda; LR-Q = Labranza Reducida, cosechada como caña quemada; LC-C = Labranza convencional, cosechada como caña cruda y LC-Q = Labranza convencional, cosechada como caña quemada.

del género *Aphelenchoides* después de la acción del arado. Mientras que el sistema de cosecha con caña quemada también influyó negativamente en la presencia de los nematodos omnívoros (Cuadro 4).

Los valores de IM calculados en este trabajo fueron bajos. Indicando un nivel de disturbio elevado para todo el sistema. Estos bajos valores estarían asociados a una mayor frecuencia de nematodos oportunistas (r-estrategas) y en ocasiones a la disminución de nematodos especialistas (estrategas-k). Esta observación es coincidente con otras publicaciones (Bongers, 1990; Porazinska *et al.* 1999). Las prácticas agrícolas, como la incorporación de la materia orgánica al suelo, estimulan la actividad microbiana y proveen recursos para especies de nematodos oportunistas. Consecuentemente, ocurre en general un rápido decrecimiento en los valores de IM seguido por un incremento gradual durante la sucesión (Bongers y Ferris, 1999). El mayor valor del IM₂₋₅ en el sistema de cosecha caña cruda, indica un estado de maduración mayor debido a la existencia de una fuente de energía proveniente del follaje

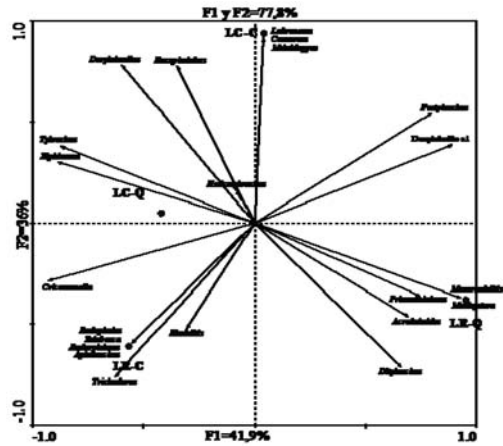


Fig. 2. Análisis de Componentes Principales para la comunidad de nematodos del suelo encontrados en caña de azúcar en un suelo Argissolo Amarelo de Tabuleiro Costeiro, Linhares -ES-Brasil. LR-C = Labranza Reducida, cosechada como caña cruda; LR-Q = Labranza Reducida, cosechada como caña quemada; LC-C = Labranza convencional, cosechada como caña cruda y LC-Q = Labranza convencional, cosechada como caña quemada.

de la caña de azúcar que queda depositada sobre la superficie del suelo. Este manejo permitiría una sucesión más extensa y probablemente una mayor retención de Carbono en el suelo, evidenciada en este trabajo por la mayor presencia de dorylaimidos de los géneros *Labronema* y *Eudorylaimus* encontrados al final del ciclo de crecimiento de la caña de azúcar.

Según Freckman y Ettema, (1993) la frecuencia del disturbio en el suelo está inversamente relacionada a la magnitud del IM, pero positivamente correlacionada con el IPP. Este índice tiende a responder a los ambientes enriquecidos de forma inversa al IM, aparentemente en respuesta a la aplicación de fertilizantes (Bongers *et al.*, 1997). En nuestro estudio la fertilización uniforme y el mismo cultivar de caña de azúcar fueron determinantes en el elevado valor del IPP obtenido en todos los tratamientos, indicando una alta producción primaria, principalmente en las raíz

ces, lo que permitió una mayor capacidad de carga de fitoparásitos en este órgano (Bongers *et al.*, 1997; Bongers y Ferris, 1999).

En la red trófica del suelo, la descomposición de la materia orgánica puede ocurrir por diferentes canales. Por un lado, los materiales con alto contenido de celulosas e lignina y alta relación C:N son descompuestas por la vía dominada por los hongos; por el otro, los tejidos húmedos, N-enriquecido son descompuestos por la vía bacteriana (Wardle y Yeates, 1993). En estudio de descomposición del rastrojo de caña de azúcar mostró que pasado un año de permanencia del rastrojo en campo, se verificó una reducción de masa de aproximadamente 20%, originaria, en su mayor parte, del contenido celular y de hemicelulosa (Siqueira y Franco, 1988; Oliveira *et al.*, 1999). En nuestro estudio todos los tratamientos presentaron elevadas densidades de nematodos bacteriófagos indicativo, además del disturbio, de la pequeña mineralización líquida, en el período de un año agrícola, que presentan los residuos de caña de azúcar (Trivelin *et al.*, 1995).

El predominio de nematodos oportunistas refleja ambientes altamente disturbados y enriquecidos por nutrientes (Ferris *et al.*, 2001). Tales efectos pueden resultar de la utilización de abono verde y de la aplicación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos. Las gramíneas (pastizales naturales) presentan redes tróficas estructuradas y relativamente con baja productividad primaria. Sin embargo, en pastizales manejados las redes tróficas han alcanzado cierta estructura, al tiempo que exhiben un alto nivel de productividad primaria (Yeates y van der Meulen, 1996). La ubicación de los diferentes tratamientos en el cuadrante B, los elevados valores conseguidos para los índices IE y los menores valores del IC indican una alta actividad bacteriana (Yeates y

van der Meulen, 1996) como también una alta presencia de nematodos de la familia Rhabditidae (Ferris *et al.* 2001), consecuencia de la fertilización nitrogenada (Bongers y Bongers, 1998), realizada (100 kg. ha⁻¹ de N) uniformemente en el área.

El análisis de componentes principales muestra que los tratamientos estudiados están relacionados con determinados taxones de nematodos. La nematofauna de esas áreas difirió considerablemente entre sí, siendo el manejo del cultivo determinante en la distribución de la comunidad de nematodos en caña de azúcar sobre *Tabuleiro Costeiro*.

En este trabajo pudimos observar que la combinación de la labranza reducida y la cosecha caña cruda mantuvo la diversidad y promovió condiciones favorables para los nematodos fungívoros y omnívoros, reflejando un menor estrés en este sistema. La combinación de labranza convencional y la cosecha caña quemada no fue favorable para los nematodos fungívoros y omnívoros, demostrando así el alto nivel de perturbación promovida por el corte e inversión del pan de suelo y por la quema del follaje durante los 17 años de estas prácticas en suelos de *Tabuleiros Costeros*.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a LASA por el área experimental, a los Laboratorios de Fertilidad y Biología del suelo de la UFRRJ por el uso de las instalaciones en los diferentes análisis realizados, a CAPES por el apoyo económico y agradecen a los Dres. Eliseo Chaves y Juvenil Cares por la lectura crítica del manuscrito.

LITERATURA CITADA

- Bongers, T. 1990. The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia* 83:14-19.

- Bongers, T., R. Alkemade, and G. W. Yeates. 1991. Interpretation of disturbance-induced maturity decrease in marine nematode assemblages by means of the Maturity Index. *Marine Ecology Progress Series* 76:135-142.
- Bongers, T., H. Van Der Meulen, y G. Korthals. 1997. Inverse relationship between the nematode maturity index and plant parasite index under enriched nutrient conditions. *Applied Soil Ecology* 6:195-199.
- Bongers, T., y M. Bongers. 1998. Functional diversity of nematodes. *Applied Soil Ecology* 10:239-251.
- Bongers, T., y H. Ferris. 1999. Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring. *Trends in Evolution and Ecology* 14:224-228.
- Brmez, M., M. Ivezic, y E. Raspuđic. 2006. Effect of mechanical disturbances on nematode communities in arable land. *Helminthologia*. 43:117-121.
- Cadet, P., and Spaull, V. W. 2003. Effect of nematodes on the sustained production of sugarcane in South Africa, *Field Crops Research* 83:91-100.
- Canellas, L. P., A. C. X. Velloso, C. R. Marciano, J. F. G. P. Ramalho, V. M. Rumjanek, C. E. Rezende, y G. A. Santos. 2003. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 27:935-944.
- Cares, J. H., y S. P. Huang. 1991. Nematode fauna in natural and cultivated cerrados of Central Brazil. *Fitopatologia Brasileira*. 16:199-209.
- Caveness, F. E., y H. J. Jensen. 1955. Modification of centrifugal flotation technique for the isolation and concentration of nematodos and their eggs form soil and plant tissue. *Proceedings of the Helminthological Society of Washington* 22:87-89.
- Ceddia, M. B., L. H. C. Anjos, E. Lima, A. Ravelli Neto, y L. A. Silva. 1999. Sistemas de colheita da cana-de-açúcar e alterações nas propriedades físicas de um solo Podzólico Amarelo no Estado do Espírito Santo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 34:1467-1473.
- Cerri, C. C., J. F. L. Moraes, y B. Volkoff. 1992. Dinâmica do carbono orgânico em solos vinculados à pastagens da Amazônia brasileira. *INIA, Investigaçao Agropecuária*, 1:96-102.
- Chaves E., M. Echeverria, y M. Torres. 1995. Clave para determinar Géneros de Nemátodos del Suelo de la República Argentina. *Estación Experimental Agropecuaria Balcarce INTA - Facultad de Ciencias Agrarias- Universidad Nacional de Mar del Plata*. 91 pp.
- Coleman, D. C., R. V. Anderson, C. V. Cole, J. F. McClellan, L. W. Woods, J. A. Trofymow, y E. T. Elliott. 1984. Roles of protozoa and nematodes in nutrient cycling. Pp. 17-28 *in* R. L. Todd, y J. E. GIDDENS, Ed. *Microbial-plant interactions*. ASA Spec. Publ. 47. Madison. USA
- Elliot, E. T., y C. V. Cole. 1989. A perspective on agroecosystem science. *Ecology*. 70: 597-1602.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Espírito Santo. *Boletim técnico*, Rio de Janeiro, RJ, EMBRAPA/SNLCS, n.45, 1978, 461 p.
- EMBRAPA-Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2nd ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006.
- Ferris, H., T. Bongers, y R. G. M. De Goede. 2001. A framework for soil food web diagnostics: extension of the nematode faunal analysis concept. *Applied Soil Ecology* 18:13-29.
- Fortuner, R., y D. J. A Raski. 1987. Review of Neotylenchoidea - Thorne, 1941 (Nemata: Tylenchida). *Revue de Nématologie*, 10: 257-267.
- Freckman, D. W., y E. P. Caswell. 1985. The ecology of nematodos in agroecosystems. *Annual Reviews in Phytopathology* 23: 275-295.
- Freckman, D. W. 1988. Bacterivorous nematodes and organic-matter decomposition. *Agricultura, Ecosystem and Environment* 24:195-217.
- Freckman, D. W., y C. H. Ettema. 1993. Assessing nematode communities in agroecosystems of varying human intervention. *Agriculture Ecosystems and Environment* 45:239-261.
- Gomes, G. S., S. P. Huang, y J. E. Cares. 2003. Nematode community, trophic structure and population fluctuation in soybean fields. *Fitopatologia Brasileira*. 28:258-266.
- Heyns, J. 1971. A guide to the plant & soil nematodes of south Africa. Cape Town. A. A. Balkema. Pp. 233.
- Jacomine, P. K. T. 1996. Distribuição geográfica, características e classificação dos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros. Pp. 13-26 *in* L. R. Q. Nogueira, y L. C. Nogueira Ed. *REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS*. EAUFBA/GVFBA; EMBRAPA/CNPMP, Cruz das Almas, Bahia.
- Jairajpuri, M. S., y W. Ahmad. 1992. Dorylaimida, free-living, predaceous and plant-parasitic nematodes. *New York*. E. J. Brill.
- Magurran, A. E. 1988. *Ecological diversity and its measurements*. Cambridge, UK. University Press. Pp. 192.
- Mendoza, H. N. S., E. Lima, L. H. C. Anjos, L. A. Silva, M. B. Ceddia, y M. V. M. Antunes. 2000. Pro-

- priedades químicas e biológicas de solo de tabuleiro cultivado com cana-de-açúcar com e sem queima da palhada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 24:201-207.
- Mondino, E. A., E. J. Chaves, y A. M. Clausen. 2006. Distribution of nematodes in potato fields soil in Andean Valleys of Argentina. *Revista Facultad de Agronomía UBA*. 26: 141-148.
- Mondino, E. A., O. C. H. Tavares, A. G. Ebeling, A. F. Figueira, E. I. Quintero, e R. L. L. Berbara. 2009. Avaliação das comunidades de nematóides do solo em agroecossistemas orgânicos. *Acta Scientiarum Agronomy*. 31:509-515.
- Neher, D. A. 2001. Role of Nematode in soil health and their use as indicator. *Journal of Nematology* 33:161-168.
- Oliveira, J. C. M., L. C. Timm, T. T. Tomnaga, F. A. M. Cássaro, K. Reichardt, O. O. S. Bacchi, D. Dourado Neto, y G. M. DE S. Câmara. 2001. Soil temperature in a sugar-cane crop as a function of the management system. *Plant Soil* 230:61-66.
- Oliveira, M. W. de, P. C. O. Trivelin, C. P. Penatti, y M. de C. Piccolo. 1999. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de cana-de-açúcar em campo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 34:2359-2362.
- Porazinska, D. L., L. W. Duncan, R. McSorley, y J. H. Graham. 1999. Nematode communities as indicators of status and processes of a soil ecosystem influenced by agricultural management practices. *Applied Soil Ecology* 13:69-86.
- Ravelli Neto, A., y E. Lima. Caracterização de uma toposequência de solos sobre sedimentos do Terciário e Quaternário em Linhares-ES. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21., 1987, Campinas. Programas e resumos. Campinas: SBCS, 1987. p. 166.
- Resende, A. S., R. P. Xavier, O. C. Oliveira, S. Urquiaga, B. J. R. Alves, y R. M. Boddey. 2006. Long-term effects of pre-harvest burning and nitrogen and vinasse applications on yield of sugar cane and soil carbon and nitrogen stocks on a plantation in Pernambuco, N.E. Brazil. *Plant Soil*, 281:339-351.
- Shannon C. E., and W. Weaver. The mathematical theory of information. Urbana: University of Illinois Press, 1949.
- Siddiqui, R. M. 1985. Tylenchida parasites of plants and insects. Commonwealth Institute of Parasitology, St. Albans, United Kingdom. p. 645.
- Simpson, E. H. 1949. Measurements of diversity. *Nature* 163:188.
- Siqueira, J. O., y A. A. Franco. 1988. Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas. Brasília: MEC/ABEAS/ESAL/FAEPE, 236p.
- Souza, Z. M., R. de M. Prado, A. C. S. Paixão, y L. G. Cesarin. 2005. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 4: 249-256.
- Spaull, V. W., y P. Cadet. 1990. Nematode parasites of sugarcane. Pp. 461-491 in M. Luc, R. A. Sikora, and J. Bridge, *Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture*. CAB International, Wallingford.
- Tavares, O. C. H. Crescimento da Cana Planta sob Diferentes Sistemas de Plantio e Colheita. 2007, 72f. Seropédica: UFRRJ, 2007. (Dissertação, Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo).
- Tavares, O. C. H., E. Lima, y E. Zonta. 2010. Crescimento e produtividade da cana planta cultivada sob diferentes sistemas de preparo do solo e de colheita. *Acta Scientiarum Agronomy*. (en prensa)
- ter Braak, C. J. F. 1988. CANOCO—an extension of DECORANA to analyze species-environment relationships. *Plant Ecology* 75: 159-160.
- Topham, P. B., B. Boag, y J. W. McNicol. 1991. An assessment of some measures of association between species based on presence/absence and applied to plant-parasitic nematode data. *Nematologica*. 37:470-480.
- Trivelin, P. C. O., R. L. Victoria, y J. C. S. Rodrigues. 1995. Aproveitamento por soqueira de cana-de-açúcar de final de safra do nitrogênio da aquamônia-15N e uréia-15N aplicado ao solo em complemento à vinhaça. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 30:1375-1385.
- Trivelin, P. C. O., J. A. Bendassolli, y M. W. Oliveira. 1997. Potencialidade da mistura de aquamônia com vinhaça na fertilização de canaviais colhidos sem despalha a fogo. Parte I: Estabilidade química da mistura. *STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos*, 16:26-29.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA - UFV. Sistema de análises estatísticas e genéticas - SAEG. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 138p. (versão 8.0).
- Urquiaga, S., A. S. Resende, B. J. R. Alves, R. M. Boddey, y J. Dobreiner. 1997. A fixação biológica de nitrogênio como suporte energético do pró-álcool no Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 69:114.
- Wardle, D. A., and G. W. Yeates. 1993. The dual importance of competition and predation as regulatory forces in terrestrial ecosystems: Evidence from decomposer food-webs. *Oecologia* 93:303-306.
- Wood, A. W. 1991. Management of crop residues following green harvesting of sugarcane in North Queensland. *Soil & Tillage Research* 20:69-85.

- Yeates, G. W. 2003. Nematodes as soil indicators: functional and biodiversity aspects. *Biology and Fertility of Soils* 37:199-210.
- Yeates, G. W. 1984. Variation in soil nematode diversity under pasture with soil and year. *Soil Biology and Biochemistry* 16:95-102.
- Yeates, G. W., y H. van der Meulen. 1996. Recolonization of methyl-bromide sterilized soils by plant and soil nematodes over 52 months. *Biology and Fertility of Soils* 21:1-6.
- Yeates, G. W., T. Bongers, R. G. M. De Goede, D. W. Freckman, y S. S. Georgieva. 1993. Feeding habits in soil nematode families and genera- An outline for soil ecologists. *Journal of Nematology* 25:315-331.

Received:

6/VIII/2009

Accepted for publication:

1/XI/2010

Recibido:

Aceptado para publicación:

