

NEMATOFAUNA ASOCIADA A LA RIZÓSFERA DE *Saccharum officinarum* EN LA REGIÓN COSTA-CENTRO DE VERACRUZ, MÉXICO

NEMATODES ASSOCIATED TO *Saccharum officinarum* RHIZOSPHERE IN THE CENTRAL COAST REGION OF VERACRUZ, MÉXICO

Damaris Desgarenes^{1,2}, Gloria Carrión^{1*}, Ángel E. Núñez-Sánchez², Ramón Zulueta², Jorge A. Zárate-Contreras²

¹Red de Biodiversidad y Sistemática, Instituto de Ecología, A. C. 91070. Km. 2.5 Carretera antigua a Coatepec # 351. El Haya, Xalapa, Veracruz, México. (gloria.carrion@inecol.edu.mx).

²Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana. 91090. Circuito Gonzalo Aguirre Beltrán s/n, Colonia Lomas del Estadio, Xalapa, Veracruz, México.

RESUMEN

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es un cultivo importante en el estado de Veracruz, México, su rendimiento ha disminuido en años recientes y una causa de la baja productividad podría ser la alta densidad de nemátodos fitoparásitos. El conocimiento de éstos y de los nemátodos de vida libre, así como la evaluación de sus densidades poblacionales, son importantes para determinar estrategias de control. Por tanto, el objetivo de este estudio fue identificar la nematofauna asociada a la rizósfera de caña de azúcar en seis predios de las zonas de abastecimiento de los ingenios La Gloria y El Modelo, en la región costa-centro del estado de Veracruz. Se usó un diseño completamente al azar para cuantificar el número de individuos por especie de nemátodo y por grupo trófico; además se estimó el índice de diversidad trófica y el índice de riqueza. El número de individuos por grupo trófico se analizó con un ANDEVA factorial, y los demás datos se analizaron con un ANDEVA de una vía. Se identificaron 12 morfotipos de nemátodos de los órdenes Tylenchida, Dorylaimida, Rhabditida y Aphelenchida. Los nemátodos fitófagos fueron: *Criconemoides*, *Helicotylenchus*, Longidoridae, *Tylenchus*, *Xiphinema* y los demás fueron nemátodos bacteriófagos, micófagos y omnívoro-predadores (*Acrobeles*, *Aphelenchus*, *Aporcelaimellus*, Aporcelaimidae, Cephalobidae, *Cruznema*, *Thornenema*). Los fitoparásitos más abundantes en promedio en los seis predios fueron *Helicotylenchus* (47 ± 23 100 cm⁻³ de suelo) y *Criconemoides* (31 ± 44 100 cm⁻³ de suelo). La abundancia de los nemátodos fitoparásitos no fue lo suficientemente elevada (> 50 100 cm⁻³ de suelo) para asociarla con la disminución del rendimiento en el cultivo de caña de azúcar.

ABSTRACT

Sugarcane (*Saccharum officinarum*) is an important crop in the state of Veracruz, México, its yield has declined in recent years and a cause of low productivity could be the high density of plant-parasitic nematodes. Knowledge of these and the free-living nematodes, as well as assessing their population densities, are important in determining control strategies. Therefore, the aim of this study was to identify the nematode fauna associated with the rhizosphere of sugarcane in six sites in the area of supply of the sugar mills La Gloria and El Modelo, in the region-central coast of Veracruz. A completely randomized design was used to quantify the number of individuals per species of nematodes and trophic group; besides, the trophic diversity index and the index of wealth were estimated. The number of individuals per trophic group was analyzed with a factorial ANOVA, and other data were analyzed with a one-way ANOVA. Twelve morphotypes of nematodes of the orders Tylenchida, Dorylaimida, Rhabditida and Aphelenchida were identified. Phytophagous nematodes were: *Criconemoides*, *Helicotylenchus*, Longidoridae, *Tylenchus*, *Xiphinema* and the rest were bacteriophagous, mycophagous nematodes and omnivorous predators, (*Acrobeles*, *Aphelenchus*, *Aporcelaimellus*, Aporcelaimidae, Cephalobidae, *Cruznema*, *Thornenema*). The most abundant plant-parasitic nematodes on average in the six sites were *Helicotylenchus* (47 ± 23 100 cm⁻³ of soil) and *Criconemoides* (31 ± 44 100 cm⁻³ of soil). The abundance of plant-parasitic nematodes was not sufficiently high (> 50 100 cm⁻³ of soil) to be associated with the decrease of the yield in the cultivation of sugarcane.

*Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: noviembre, 2010. Aprobado: septiembre, 2011.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 45: 785-795. 2011.

Key words: free-living nematodes, plant-parasitic nematodes, density, trophic diversity, sugarcane.

Palabras clave: nemátodos de vida libre, nemátodos fitoparásitos, densidad, diversidad trófica, caña de azúcar.

INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) es cultivada en climas tropicales y subtropicales, obteniéndose azúcar, alcohol, papel y biocombustible (Bond *et al.*, 2000; Bond *et al.*, 2004a; FAO, 2005). México es el quinto productor de caña de azúcar en el mundo y su cultivo tiene un fuerte impacto socioeconómico que genera empleos e ingresos (FAO, 2005; UNC, 2010). La caña de azúcar se siembra en 15 estados mexicanos: Campeche, Chiapas, Colima, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Tabasco, Tamaulipas y Veracruz, con un rendimiento promedio de 66 t ha⁻¹ (Servin, 2003). Veracruz es el principal productor nacional de caña de azúcar (40 % de la producción total), con un rendimiento promedio de 75 t ha⁻¹ (SEDARPA, 2005; SIAP, 2007; UNC, 2010). Como en otras regiones productoras del mundo, en Veracruz la caña es un monocultivo cuyo manejo disminuye la materia orgánica del suelo y la diversidad microbiana donde existen algunos supresores naturales de patógenos de este cultivo, y además propicia altas densidades de población de algunos patógenos (Blair y Stirling, 2007; Severino *et al.*, 2010).

Las principales plagas y enfermedades de la caña de azúcar en México son: la escaldadura de la hoja [*Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson], el gusano barrenador (*Diatraea saccharalis* Fab.) y nemátodos fitoparásitos (Jiménez y Contreras, 2008). Los nemátodos fitoparásitos de la caña de azúcar están presentes en prácticamente todas las zonas cañeras del mundo (Bond *et al.*, 2000; Bond *et al.*, 2004b), causando síntomas como clorosis y disminución de biomasa, por lo que afectan directamente al rendimiento del cultivo (Perichi *et al.*, 2002; Rodríguez y Sánchez, 2002; Crow, 2005). Además, los daños están asociados a la presencia de enfermedades causadas por hongos y bacterias (Rashid y Singh, 2002; Bond *et al.*, 2004a; Somasekhar, 2005).

Hay más de 310 especies de nemátodos endo- y ecto-parásitos, incluidas en 48 géneros registrados en el cultivo de caña en el mundo (Cadet y Spaull, 2005) (Cuadro 1). En México, los principales nemátodos

INTRODUCTION

Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) is cultivated in tropical and subtropical climates, and produces sugar, alcohol, paper and biofuel (Bond *et al.*, 2000; Bond *et al.*, 2004a, FAO, 2005). México is the fifth largest producer of sugarcane in the world and its cultivation has a strong socioeconomic impact that generates jobs and income (FAO, 2005; UNC, 2010). Sugarcane is grown in 15 Mexican states: Campeche, Chiapas, Colima, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Tabasco, Tamaulipas and Veracruz with an average yield of 66 t ha⁻¹ (Servin, 2003). Veracruz is the largest domestic producer of sugarcane (40 % of total production), with an average yield of 75 t ha⁻¹ (SEDARPA, 2005; SIAP, 2007; UNC, 2010). As in other producing regions of the world in Veracruz sugarcane is a monoculture whose management reduces soil organic matter and microbial diversity where there are some natural suppressors of pathogens of this crop, and also encourages high population densities of some pathogens (Blair and Stirling, 2007; Severino *et al.*, 2010).

The main pests and diseases of sugarcane in México are: the leaf scald [*Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson], the borer (*Diatraea saccharalis* Fab.) and plant-parasitic nematodes (Jiménez and Contreras, 2008). The plant-parasitic nematodes of sugarcane are present in virtually all sugar cane areas of the world (Bond *et al.*, 2000, Bond *et al.*, 2004b), causing symptoms such as chlorosis and reduction of biomass and therefore directly affect the yield of the crop (Perichi *et al.*, 2002; Rodríguez and Sánchez, 2002; Crow, 2005). In addition, the damage is associated with the presence of diseases caused by fungi and bacteria (Rashid and Singh, 2002; Bond *et al.*, 2004a; Somasekhar, 2005).

There are over 310 species of nematodes endo- and ecto-parasites, included in 48 genera recorded in sugarcane cultivation in the world (Cadet and Spaull, 2005) (Table 1). In México, the main plant-parasitic nematodes in cane areas are: *Criconebella caballeroi* (Cid del Prado) Luc et Raski in Morelos; *Pratylenchus* spp. in Tabasco; *Pratylenchus* spp. in the states of Veracruz, Sinaloa, Tabasco, Chiapas and Michoacán; *Criconebella* spp. in Veracruz, Morelos, Sinaloa, Tamaulipas, Michoacán and Chiapas (Montes, 2000).

Cuadro 1. Nemátodos fitoparásitos asociados con caña de azúcar en los principales países productores del mundo.**Table 1. Plant-parasitic nematodes associated with sugarcane in the major producing countries of the world.**

Nemátodos	Brasil	India	Australia	Cuba	EE.UU.
<i>Criconeimoides</i>	•	•	•	•	•
<i>Helicotylenchus</i>	•	•	•	•	•
<i>Hemicycliophora</i>	•	•	•		
<i>Hoplolaimus</i>	•	•	•	•	
<i>Longidorus</i>		•	•		
<i>Meloidogyne</i>	•	•	•	•	•
<i>Paralongidorus</i>		•	•		
<i>Paratrichodorus</i>	•	•	•	•	•
<i>Paratylenchus</i>		•	•	•	
<i>Pratylenchus</i>	•	•	•	•	•
<i>Rotylechulus</i>		•	•	•	
<i>Scutellonema</i>			•	•	
<i>Trichodorus</i>	•	•	•	•	•
<i>Tylenchorhynchus</i>	•	•	•	•	•
<i>Xiphinema</i>	•	•	•		

Tomado de Ramírez (1978), Crozzoli (2002), Perichi *et al.* (2002), Rodríguez y Sánchez (2002), Cadet y Spaul (2005), Crow (2005) y Severino *et al.* (2010) ♦ Taken from Ramírez (1978), Crozzoli (2002), Perichi *et al.* (2002), Rodríguez and Sánchez (2002), Cadet and Spaul (2005), Crow (2005) and Severino *et al.* (2010).

fitoparásitos en las zonas cañeras son: *Criconeimella caballeroi* (Cid del Prado) Luc *et* Raski en Morelos; *Paratylenchus* spp. en Tabasco; *Pratylenchus* spp. en los estados de Veracruz, Sinaloa, Tabasco, Chiapas y Michoacán; *Criconeima* spp. en Veracruz, Morelos, Sinaloa, Tamaulipas, Michoacán y Chiapas (Montes, 2000).

Los ingenios La Gloria y El Modelo, ubicados en la región costa centro del estado de Veracruz, con áreas de abastecimiento de 17 214 y 10 640 ha, tienen el mayor rendimiento por hectárea de caña (82 t ha^{-1}) y azúcar estándar (9.7 t ha^{-1}) en todo el estado (UNC, 2010). Sin embargo, en los últimos 10 años estos rendimientos han disminuido 1 a 2 t ha^{-1} en promedio, lo que representa pérdidas de millones de pesos (UNC, 2010). Esta reducción podría estar asociada a la presencia de los nemátodos fitoparásitos. El análisis de la densidad de población es importante para determinar las estrategias del control de nemátodos fitoparásitos (DGIEA, 1991; Severino *et al.*, 2010). Por tanto, los objetivos de este estudio fueron identificar la nematofauna de la rizósfera del cultivo de caña y analizar su densidad en predios de las zonas de abastecimiento de ambos ingenios azucareros.

The mills La Gloria and El Modelo, located in the central coast region of the State of Veracruz, with areas of supply of 17 214 and 10 640 ha, have the highest cane yield per hectare (82 t ha^{-1}) and standard sugar (9.7 t ha^{-1}) throughout the state (UNC, 2010). However, in the last 10 years these yields have declined 1 to 2 t ha^{-1} on average, representing losses of millions of pesos (UNC, 2010). This reduction could be associated with the presence of plant-parasitic nematodes. The analysis of the density of population is important to determine the strategies for control of plant-parasitic nematodes (DGIEA, 1991; Severino *et al.*, 2010). Therefore, the objectives of this study were to identify the nematofauna of the rhizosphere of sugarcane and analyze its density in plots of the supply areas of both mills.

MATERIALS AND METHODS

Study area

This study was conducted at six plots (1 ha each) planted with sugar cane variety MEX-290 in Veracruz. Three of them supply the mill La Gloria and are in the localities of Tinajitas,

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Este estudio se realizó en seis predios (1 ha cada uno) cultivados con caña de azúcar variedad MEX-290 en Veracruz. Tres de ellos abastecen al ingenio La Gloria y se encuentran en las localidades de Tinajitas, Buenos Aires y La Bocanita, en el municipio de Actopan (19° 30' N y 96° 37' O), en la zona centro del estado con suelos tipo feozem, a una altitud de 260 m. Su clima es cálido subhúmedo con una temperatura promedio de 24.8 °C y precipitación media anual de 860 mm (García, 1987; INEGI, 2008). Los otros tres predios abastecen al ingenio El Modelo, y están en Caño Prieto, El Cura y La Conquista, en el municipio de Paso de Ovejas ubicado en la zona semiárida de la porción central del estado (19° 17' N y 96° 26' O) a 40 m de altitud y presenta suelos de tipo vertisol (García, 1987; INEGI, 2008).

Determinación y cuantificación de nemátodos

En cada sitio de estudio (1 ha) se tomaron, antes de la zafra (noviembre 2008-febrero 2009), cinco muestras de 100 cm³ de suelo a 20 cm de radio del tallo de las plantas y 20 cm de profundidad. Las muestras se mantuvieron a 18 °C en bolsas de polietileno etiquetadas hasta llegar al laboratorio. De cada muestra se extrajeron los nemátodos migratorios mediante la técnica de tamizado-centrifugado (s'Jacob y van Bezooijen, 1984). Los nemátodos fueron fijados con formol al 4 %, aclarados y montados con los métodos de Seinhorst (1959, 1962) y s'Jacob y van Bezooijen (1984). Con claves especializadas para los órdenes Dorylaimida (Jairajpuri y Ahmad, 1992), Rhabditida (Andrássy, 1984), Aphelenchida (Hunt, 1993) y Tylenchida (Siddiqi, 2000), los ejemplares fueron identificados a nivel de familia, y a género cuando fue posible. Todos los ejemplares están depositados en el laboratorio de la Red de Biodiversidad y Sistemática del Instituto de Ecología, A. C., Xalapa, Veracruz. Los nemátodos fueron clasificados en grupos tróficos siguiendo la clasificación de Yeates *et al.* (1993). Además de extraer los nemátodos de muestras de suelo, se recolectaron las raíces de plantas de caña del mismo lugar donde se tomó el suelo, para observarlas al microscopio estereoscópico y verificar o descartar la presencia de nemátodos agalladores (*Meloidogyne* spp.). Con un microscopio invertido (Leica DMIL 090-181.001) y con base en características morfológicas se cuantificaron los individuos de cada especie determinada.

Buenos Aires and La Bocanita, in the municipality of Actopan (19° 30' N and 96° 37' W) in the central area of the state with soils feozem type, at an altitude of 260 m. The climate is warm subhumid with an average temperature of 24.8 °C and average annual rainfall of 860 mm (García, 1987, INEGI, 2008). The other three plots supply the mill El Modelo and they are in Caño Prieto, El Cura and La Conquista, in the municipality of Paso de Ovejas which is located in a semiarid area of the central part of the state (19° 17' N and 96° 26' W) at 40 m of altitude and have vertisol soils (García, 1987; INEGI, 2008).

Determination and quantification of nematodes

In each study site (1 ha) before the harvest (November 2008-February 2009) five samples of 100 cm³ of soil at 20 cm of the radius of the stem of plants and 20 cm deep were taken. The samples were kept at 18 °C in polythene bags properly labeled till they were carried out to the laboratory. From each sample migratory nematodes were extracted using the sieving-centrifugation technique (s'Jacob and van Bezooijen, 1984). Nematodes were fixed with 4 % formaldehyde, rinsed and mounted with the methods of Seinhorst (1959, 1962) and s'Jacob and van Bezooijen (1984). With keys specialized for the orders Dorylaimida (Jairajpuri and Ahmad, 1992), Rhabditida (Andrássy, 1984), Aphelenchida (Hunt, 1993) and Tylenchida (Siddiqi, 2000), the specimens were identified at family level, and at genus level when possible. All specimens are deposited in the laboratory of the Red de Biodiversidad y Sistemática del Instituto de Ecología, A. C., Xalapa, Veracruz. Nematodes were classified into trophic groups following the classification of Yeates *et al.* (1993). Besides extracting nematodes from soil samples the roots of sugarcane plants were collected from the same place where soil was taken to observe them at the stereomicroscope and verify or discard the presence of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.). With an inverted microscope (Leica DMIL 090-181001) and based on morphological characteristics individuals of each determined species were quantified.

Data analysis

The statistical design was completely randomized with five replicates at each site. The registered nematode fauna was analyzed using the number of individuals found per 100 cm³ of soil and the following indexes were calculated: 1) species richness (SR), $SR = S - 1 / \ln(N)$, where S is the total number of taxa on nematode fauna and N is the number of individuals identified in each taxon; 2) trophic diversity (T), $T = 1 / \sum P_i^2$, where P_i is the ratio of the trophic group in the nematode fauna. The

Análisis de datos

El diseño estadístico fue completamente al azar con cinco repeticiones en cada sitio. La nematofauna registrada fue analizada usando el número de individuos encontrado por cada 100 cm³ de suelo y se calcularon los siguientes índices: 1) riqueza de especies (SR), $SR = S - 1/\ln(N)$, donde S es el número total de taxones en la nematofauna y N el número de individuos identificados en cada taxón; 2) diversidad trófica (T), $T = 1/\sum P_i^2$, donde P_i es la proporción del grupo trófico en la nematofauna. El número de individuos por grupo trófico se analizó con un ANDEVA factorial, tomando como factores el grupo trófico y la localidad. Los datos del número de individuos por especie, índice de diversidad trófica por localidad y el número total de nemátodos por localidad se analizaron con un ANDEVA de una vía. En los casos donde hubo diferencias significativas las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Los análisis estadísticos se realizaron con el programa Statistica 8.0 para Windows (Statsoft Inc., 2007).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la rizósfera del cultivo de caña se identificaron 12 morfotipos de nemátodos de los órdenes Tylenchida, Dorylaimida, Rhabditida y Aphelenchida, pertenecientes a 10 familias y a nueve géneros (Cuadro 2). El valor más alto del índice de riqueza de especies (SR) fue para la localidad de Buenos Aires ($SR = 10.012$), con 10 de las 12 especies encontradas. En las demás

number of individuals per trophic group was analyzed with a factorial ANOVA, taking as factors the trophic group and the locality. The data of number of individuals per specie, index of trophic diversity per locality and the total number of nematodes per locality were analyzed with a one-way ANOVA. In cases where there were significant differences means were compared with the Tukey test ($p \leq 0.05$). The statistical analyses were performed with the program Statistica 8.0 for Windows (Statsoft Inc., 2007).

RESULTS AND DISCUSSION

In the rhizosphere of sugarcane cultivation 12 morphotypes of nematodes of the orders Tylenchida, Dorylaimida, Rhabditida and Aphelenchida were identified belonging to 10 families and nine genera (Table 2). The highest value of the index of species richness (SR) was for the locality Buenos Aires ($SR = 10.012$), with 10 of the 12 species found. In the other localities there were fewer than 10 species of the total found (Table 3).

Trophic groups

Four trophic groups of nematodes were found: phytophagous (FF), bacteriophagous (BF), mycophagous (MF) and omnivore-predators (OP). In the group of phytophagous nematodes three subgroups were recorded, following the classification of Yeates *et al.* (1993): semi-endoparasites

Cuadro 2. Nemátodos asociados a la rizósfera del cultivo de caña en las localidades de estudio.
Table 2. Nematodes associated with the rhizosphere of sugarcane crop in the localities of study.

Grupo trófico [†]	Familia	Género	Localidad [‡]
Fitófagos	Hoplolaimidae	<i>Helicotylenchus</i>	T, LB, BA, CP, EC, LC
	Longidoridae	—	BA
	Macroposthoniinae	<i>Criconeoides</i>	T, LB, BA, CP, EC, LC
	Xiphinematidae	<i>Xiphinema</i>	BA
	Tylenchinae	<i>Tylenchus</i>	T, LB, BA, CP, EC, LC
Bacteriófagos	Cephalobidae	—	BA
		<i>Acrobeles</i>	CP, EC, LC
Micófagos	Rhabditidae	<i>Cruzanema</i>	T, LB, BA, CP, EC, LC
	Aphelenchidae	<i>Aphelenchus</i>	T, LB, BA, CP, EC, LC
Omnívoro-Predadores	Aporcelaimidae	—	EC
		<i>Aporcelaimellus</i>	T, LB, BA, CP, EC, LC
	Dorylaimidae	<i>Thornenema</i>	T, BA, CP, EC, LC

[†]De acuerdo con Yeates *et al.* (1993); [‡]T: Tinajitas, LB: La Bocanita, BA: Buenos Aires, CP: Caño Prieto, EC: El Cura, LC: La Conquista. [§]According to Yeates *et al.* (1993); [§]T: Tinajitas, LB: La Bocanita, BA: Buenos Aires, CP: Caño Prieto, EC: El Cura, LC: La Conquista.

localidades se presentaron menos de 10 especies del total encontrado (Cuadro 3).

Grupos tróficos

Se encontraron cuatro grupos tróficos de nemátodos: fitófagos (FF), bacteriófagos (BF), micófagos (MF) y omnívoro-predadores (OP). En el grupo de nemátodos fitófagos se registraron tres subgrupos, siguiendo la clasificación de Yeates *et al.* (1993): semiendoparásitos (*Helicotylenchus*), ectoparásitos (*Criconemoides*), Longidoridae, (*Xiphinema*) y ficófagos (*Tylenchus*). El índice de diversidad trófica (T) fue significativo ($F_{(5,24)} = 4.308$; $p \leq 0.006$) entre las localidades de Tinajitas (2.057) y La Conquista (3.169) (Cuadro 3). Esto fue similar a resultados de estudios realizados en suelos cultivados donde la diversidad trófica es baja (Stirling *et al.*, 2007), en contraste con suelos sin perturbación donde hay valores de $T = 13.33$ (Pen-Mouratov *et al.*, 2008).

Además de los cinco nemátodos fitófagos, se registraron sólo siete taxones de los demás grupos tróficos encontrados (Cuadro 2). Esta baja diversidad coincide con los estudios realizados por Stirling *et al.* (2007), quienes registran 10-15 taxones dentro de los nemátodos de vida libre. En el número de nemátodos por grupo trófico hubo diferencias estadísticas significativas ($F_{(15,96)} = 1.746$; $p \leq 0.05$), ya que en todas las localidades el mayor número de individuos fue el de los nemátodos FF.

Después de los nemátodos fitófagos (FF) los grupos con mayor abundancia fueron los bacteriófagos (BF) y omnívoro-predadores (OP). Los nemátodos del grupo BF fueron los segundos en abundancia en las localidades de Tinajitas, La Bocanita y Caño Prieto; mientras que en las localidades de Buenos Aires, El Cura y La Conquista, el segundo grupo en abundancia fue el OP. Dentro de este último se encontraron tres diferentes taxones con >10 y <75 individuos 100 cm^{-3} de suelo (Cuadro 4), lo que representa 38 % de los nemátodos de vida libre. En las seis localidades estudiadas la abundancia del grupo OP estuvo determinada principalmente por la presencia del género cosmopolita *Aporcelaimellus*. Por el contrario, *Thornenema* y los especímenes de la familia Aporcelaimidae tuvieron una abundancia <10 individuos 100 cm^{-3} de suelo y sólo en tres de los seis predios estudiados (Cuadro 4). De

(*Helicotylenchus*), ectoparásitos (*Criconemoides*), Longidoridae, (*Xiphinema*) and phytophagous (*Tylenchus*). The trophic diversity index (T) was significant ($F_{(5,24)} = 4.308$; $p \leq 0.006$) between the localities Tinajitas (2.057) and La Conquista (3.169) (Table 3). This was similar to results from studies done in cultivated soils where trophic diversity is low (Stirling *et al.*, 2007), in contrast to undisturbed soils where there are values of $T = 13.33$ (Pen-Mouratov *et al.*, 2008).

In addition to the five phytophagous nematodes, only seven taxa of the other trophic groups found were recorded (Table 2). This low diversity is consistent with studies done by Stirling *et al.* (2007), who recorded 10-15 taxa within free-living nematodes. In the number of nematodes per trophic group there were significant statistical differences ($F_{(15,96)} = 1.746$; $p \leq 0.05$), since in all localities the largest number of individuals was that of nematodes FF.

After the phytophagous nematodes (FF) the groups with greater abundance were the bacteriophagous (BF) and omnivore-predators (OP). Nematodes of BF group were second in abundance in the localities of Tinajitas, La Bocanita and Caño Prieto; while in the localities of Buenos Aires, El Cura and La Conquista, the second group in abundance was the OP. Within the latter there were three different taxa with >10 and <75 individuals 100 cm^{-3} of soil (Table 4), representing 38 % of free-living nematodes. In the six localities studied the abundance of group OP was

Cuadro 3. Índices de diversidad trófica y riqueza en las localidades de estudio.

Table 3. Trophic diversity indexes and richness in the localities of study.

Localidad	Índices	
	$SR^{\dagger}$ (n=6)	$T^{\ddagger}$ (n=30)
Tinajitas	7.002	2.057 b
La Bocanita	6.002	2.706 ab
Buenos Aires	10.012	2.964 a
Caño Prieto	9.012	2.949 a
El Cura	8.334	2.641 ab
La Conquista	8.407	3.169 a

$^{\dagger}SR$: Riqueza, $^{\ddagger}T$: Diversidad trófica. Números con letras diferentes indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$) $\diamond$ $^{\dagger}SR$: Richness, $^{\ddagger}T$: Trophic diversity. Numbers with different letters indicate significant difference ($p \leq 0.05$).

Cuadro 4. Número promedio de nemátodos encontrados por cada 100 cm³ de suelo en las seis localidades estudiadas.
Table 4. Average number of nematodes found per each 100 cm³ of soil in the six localities studied.

Localidad	Fitófagos					Ficófa. [¶]	Micófagos		Bacteriófagos			Omnívoro-Predadores		
	Semien. [†]	Ectoparásitos					Aphe. ^{§§}	Acro. ^{pp}	Ceph. ^{ooo}	Cruz. ^{†††}	Apo. ^{¶¶¶}	Apr. ^{§§§}	Tho. ^{ppp}	
		Helic. [§]	Crico. ^p	Long. ^a	Xiph. ^{††}									Tylen. ^{¶¶}
Tinajitas	44±11bc	25±10ab	0	0	49±19bc	19±19ab	0	0	39±19ab	7±5ab	0	0		
La Bocanita	27±30ab	0	0	0	32±16ab	8±5ab	0	0	27±14ab	14±8ab	0	0		
Buenos Aires	62±27bc	4±5ab	1±0.45a	1±0.45a	53±52bc	36±15ab	0	1±0.45a	22±14ab	65±27bc	0	11±10ab		
Caño Prieto	48±16bc	85±30c	0	0	41±10ab	47±22bc	33±20ab	0	45±7bc	54±27bc	0	3±2ab		
El Cura	36±17ab	60±75bc	0	0	30±12ab	30±16ab	2±3a	0	16±7ab	37±8ab	1±0.45a	0		
La Conquista	64±15bc	10±10ab	0	0	47±21bc	33±8ab	19±11ab	0	40±15ab	55±13bc	0	0		

[†]Semiendoparásitos, [¶]Ficófagos, [§]*Helicotylenchus*, ^p*Criconeimoides*, ^aLongidoridae, ^{††}*Xiphinema*, ^{¶¶}*Tylenchus*, ^{§§}*Aphelenchus*, ^{pp}*Acrobeles*, ^{ooo}Cephalobidae, ^{†††}Cruznema, ^{¶¶¶}*Aporcelaimellus*,
^{§§§}Aporcelaimidae, ^{ppp}*Thornemema*. Números con letras diferentes indican diferencia significativa entre localidades (p≤0.05).

[†]Semi-endoparasites, [¶]Phycophages, [§]*Helicotylenchus*, ^p*Criconeimoides*, ^aLongidoridae, ^{††}*Xiphinema*, ^{¶¶}*Tylenchus*, ^{§§}*Aphelenchus*, ^{pp}*Acrobeles*, ^{ooo}Cephalobidae, ^{†††}Cruznema, ^{¶¶¶}*Aporcelaimellus*,
^{§§§}Aporcelaimidae, ^{ppp}*Thornemema*. Numbers with different letters indicate significant difference between localities (p≤0.05).

manera similar, Stirling *et al.* (2007) registran sólo tres taxones de nemátodos del grupo OP, con un promedio de 63 individuos 100 cm^{-3} de suelo. En algunas zonas alpinas donde aún se conserva la vegetación nativa, los nemátodos OP presentan una abundancia (>100 individuos 100 cm^{-3} de suelo) y diversidad (>15 especies) mayores (Hoschitz y Kauffmann, 2004). En el presente estudio el patrón de abundancia en orden decreciente fue fitófagos, omnívoro-predadores, bacteriófagos y micófagos. Esto es diferente a lo encontrado en estudios donde después de los FF, el orden en la abundancia es BF, MF y OP (Fiscus y Neher, 2002; Yeates y Bongers, 1999; Stirling *et al.*, 2007).

Densidad de nemátodos

El número de nemátodos por localidades fue diferente ($F_{(5,24)} = 5.497$; $p \leq 0.001$). Los nemátodos más abundantes fueron *Aphelenchus*, *Aporcelaimellus*, *Criconemoides*, *Cruznema*, *Helicotylenchus*, y *Tylenchus* (Cuadro 4). El mayor número de nemátodos se registró en Caño Prieto ($\bar{x} = 367 \pm 122$) donde *Criconemoides* sp. fue el más abundante, seguido por La Conquista ($\bar{x} = 268 \pm 54$), donde el más abundante fue *Helicotylenchus* sp., y Buenos Aires ($\bar{x} = 244 \pm 78$) donde *Aporcelaimellus* sp. tuvo más individuos (Cuadro 4). En las demás localidades en promedio hubo <210 nemátodos por cada 100 cm^3 de suelo (El Cura: $\bar{x} = 209 \pm 87$; Tinajitas: $\bar{x} = 181 \pm 67$; La Bocanita: $\bar{x} = 117 \pm 60$) (Cuadro 4).

También hubo diferencias estadísticamente significativas entre el número de individuos agrupados por especie ($F_{(11,288)} = 42.364$; $p \leq 0.001$). Dentro de los nemátodos de vida libre los que registraron mayor abundancia fueron *Tylenchus* sp. ($\bar{x} = 42 \pm 25$), *Aporcelaimellus* sp. ($\bar{x} = 39 \pm 27$), *Cruznema* sp. ($\bar{x} = 31 \pm 16$), y *Aphelenchus* sp. ($\bar{x} = 29 \pm 19$). Las demás especies de vida libre presentaron <10 individuos en promedio.

De los cuatro diferentes nemátodos fitoparásitos encontrados, *Criconemoides* sp. ($\bar{x} = 31 \pm 44$) y *Helicotylenchus* sp. ($\bar{x} = 47 \pm 23$) en promedio presentaron las mayores cantidades de individuos y en algunas localidades se registró el número límite de nemátodos (50 individuos 100 cm^{-3} de suelo) indicado para obtener buenos rendimientos en el cultivo de caña de azúcar (Cadet y Spaull, 2005).

determined mainly by the presence of the cosmopolitan genus *Aporcelaimellus*. By contrast, *Thornemema* and specimens of the Aporcelaimidae family were present with an abundance <10 individuals 100 cm^{-3} of soil and only in three of the six plots studied (Table 4). Similarly, Stirling *et al.* (2007) recorded only three taxa of nematodes of the group OP, with an average of 63 individuals 100 cm^{-3} of soil. In some alpine areas where the native vegetation is still preserved, nematodes OP have a higher abundance (>100 individuals 100 cm^3 of soil) and diversity (>15 species) (Hoschitz and Kauffmann, 2004). In this study the pattern of abundance in descending order was phytophagous, omnivore-predators, bacteriophagous and mycophagous. This is different to that found in studies where after the FF, the order in abundance is BF, MF and OP (Fiscus and Neher, 2002; Yeates and Bongers, 1999; Stirling *et al.*, 2007).

Density of nematodes

The number of nematodes per localities was different ($F_{(5,24)} = 5.497$; $p \leq 0.001$). The most abundant nematodes were *Aphelenchus*, *Aporcelaimellus*, *Criconemoides*, *Cruznema*, *Helicotylenchus*, and *Tylenchus* (Table 4). The largest number of nematodes was recorded in Caño Prieto ($\bar{x} = 367 \pm 122$) where *Criconemoides* sp. was the most abundant, followed by La Conquista ($\bar{x} = 268 \pm 54$) where the most abundant was *Helicotylenchus* sp., and Buenos Aires ($\bar{x} = 244 \pm 78$) where *Aporcelaimellus* sp. had more individuals (Table 4). In the other localities on average there were <210 nematodes per each 100 cm^3 of soil (El Cura: $\bar{x} = 209 \pm 87$; Tinajitas: $\bar{x} = 181 \pm 67$; La Bocanita: $\bar{x} = 117 \pm 60$) (Table 4).

There were also differences statistically significant between the number of individuals grouped by species ($F_{(11,288)} = 42.364$; $p \leq 0.001$). Within free-living nematodes which recorded the greatest abundance were *Tylenchus* sp. ($\bar{x} = 42 \pm 25$), *Aporcelaimellus* sp. ($\bar{x} = 39 \pm 27$), *Cruznema* sp. ($\bar{x} = 31 \pm 16$), and *Aphelenchus* sp. ($\bar{x} = 29 \pm 19$). Other free-living species had <10 individuals on average.

Of the four different plant parasitic nematodes found, *Criconemoides* sp. ($\bar{x} = 31 \pm 44$) and *Helicotylenchus* sp. ($\bar{x} = 47 \pm 23$) showed on average the largest numbers of individuals and in some localities the limit number of nematodes (50

Criconemoides sp. se ha registrado como parásito de caña de azúcar prácticamente en todos los países productores de este cultivo (Singh, 1973; Cadet y Spaul, 2005; Crow, 2005). En México, además de *Criconemoides*, se han encontrado otros géneros (*Criconema* spp., *Mesocriconema* spp.) de la familia Criconematidae asociados a caña de azúcar (Montes, 2000). En el presente estudio *Helicotylenchus* sp. fue el fitoparásito más abundante (47 individuos 100 cm⁻³ de suelo). Sin embargo, este valor fue menor que el registrado en EE.UU., Australia y Brasil, donde la densidad poblacional es >600 individuos 100 cm⁻³ de suelo (Bond *et al.*, 2000; Blair y Stirling, 2007; Severino *et al.*, 2010). Las comunidades de nemátodos fitoparásitos dominadas por *Helicotylenchus* spp. son menos patogénicas que aquéllas dominadas por *Meloidogyne* spp. (Cadet *et al.*, 2007).

Xiphinema sp. sólo se registró en uno de los seis predios estudiados y con una abundancia inferior a 10 individuos 100 cm⁻³ de suelo. Esto coincide con los estudios realizados por Stirling *et al.* (2005) y Blair y Stirling (2007), donde *Xiphinema* sp. estuvo presente sólo en 10 % de los sitios evaluados y su abundancia fue <10 individuos 100 cm⁻³ de suelo. En el presente estudio no se registró la presencia de *Meloidogyne* spp., aunque era uno de los fitoparásitos que se esperaba encontrar porque está ampliamente distribuido en regiones tropicales, subtropicales y cálidas, y es una plaga importante para la caña de azúcar y otros cultivos (Bond *et al.*, 2004b; Stirling, 2006; Stirling *et al.*, 2006).

CONCLUSIONES

En el área estudiada la densidad de poblaciones y la riqueza de especies de los nemátodos asociados a la rizósfera del cultivo de caña de azúcar, fueron bajas en comparación con la densidad de estos organismos en Australia, Brasil y EE.UU. Debido a esto, las poblaciones de las dos especies de nemátodos fitoparásitos (*Helicotylenchus* sp. y *Criconemoides* sp.) más abundantes, no necesariamente están relacionadas con la disminución de los rendimientos del cultivo de caña de azúcar en la región. La baja productividad de este cultivo puede deberse al empobrecimiento del suelo, como consecuencia de más de 50 años de monocultivo en la zona.

individuals 100 cm⁻³ of soil) was recorded, number indicated to obtain good yields in the cultivation of sugarcane (Cadet and Spaul, 2005). *Criconemoides* sp. has been recorded as parasite of sugarcane in practically all the crop-producing countries (Singh, 1973; Cadet and Spaul, 2005; Crow, 2005). In México, in addition to *Criconemoides*, other genera have been found (*Criconema* spp., *Mesocriconema* spp.) of the family Criconematidae associated to sugarcane (Montes, 2000). In this study *Helicotylenchus* sp. was the phytoparasite most abundant (47 individuals 100 cm⁻³ of soil). However, this value was lower than that recorded in the U.S., Australia and Brazil, where population density is >600 individuals 100 cm⁻³ of soil (Bond *et al.*, 2000; Blair and Stirling, 2007; Severino *et al.*, 2010). The communities of plant-parasitic nematodes dominated by *Helicotylenchus* spp. are less pathogenic than those dominated by *Meloidogyne* spp. (Cadet *et al.*, 2007).

Xiphinema sp. was only registered in one of the six plots studied and with abundance less than 10 individuals 100 cm⁻³ of soil. This coincides with studies by Stirling *et al.* (2005) and Blair and Stirling (2007), where *Xiphinema* sp. was present only in 10 % of the sites evaluated and its abundance was <10 individuals 100 cm⁻³ of soil. In the present study the presence of *Meloidogyne* spp. was not registered, though it was one of the plant-parasitic nematodes expected to be found because it is widely distributed in tropical, subtropical and warm regions, and is a major pest to sugarcane and other crops (Bond *et al.*, 2004b; Stirling, 2006; Stirling *et al.*, 2006).

CONCLUSIONS

In the study area population density and species richness of nematodes associated with the rhizosphere of sugarcane cultivation were low compared with the density of these organisms in Australia, Brazil and the U.S. Due to this, the populations of the two more abundant species of plant-parasitic nematodes (*Helicotylenchus* sp. and *Criconemoides* sp.), are not necessarily related to the decrease in crop yields of sugarcane in the region. The low productivity of this crop may be due to soil depletion as a result of more than 50 years of monoculture in the area.

—End of the English version—

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Arturo Bonet y a Tania Hernández por las observaciones y sugerencias al manuscrito. El presente estudio fue financiado por el Instituto de Ecología, A. C. (20030-10138) y la Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana (6953).

LITERATURA CITADA

- Andrássy, I. 1984. Klasse Nematoda (Ordnungen Monhysterida, Desmoscolecida, Araeolaimida, Chromadorida, Rhabditida). Akademie-Verlag, Berlin. 509 p.
- Blair, B. L., and G. R. Stirling. 2007. The role of plant-parasitic nematodes in reducing yield of sugarcane in fine-textured soils in Queensland, Australia. *Austr. J. Exp. Agric.* 47: 620-634.
- Bond, J. P., E. C. McGawley, and J. W. Hoy. 2000. Distribution of plant-parasitic nematodes on sugar cane in Louisiana and efficacy of nematicides. *J. Nematol.* 32: 493-501.
- Bond, J. P., E. C. McGawley, and J. W. Hoy. 2004a. Sugarcane growth as influenced by nematodes and *Pythium arrhenomanes*. *Nematropica* 34: 245-256.
- Bond, J. P., E. C. McGawley, and J. W. Hoy. 2004b. The impact of nematodes on sugarcane cultivars. *Nematropica* 34: 235-243.
- Cadet, P., and V. W. Spaul. 2005. Nematodes parasites of sugarcane. In: Luc, M., R. A. Sikora, and J. Bridge (eds). *Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture*. CAB International, London. pp: 645-674.
- Cadet, P., S. D. Berry, G. W. Leslie, and V. W. Spaul. 2007. Management of nematodes and a stalk borer by increasing within-field sugarcane cultivar diversity. *Plant Pathol.* 56: 526-535.
- Crow, W. T. 2005. Plant-parasitic nematodes on sugarcane in Florida. Entomology and Nematology Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. <https://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/IN/IN52900.pdf> (Consultado: septiembre, 2010).
- Crozzoli, R. 2002. Especies de nemátodos fitoparásitos en Venezuela. *Interciencia* 27: 354-364.
- DGIEA (Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola). 1991. Aspectos técnicos sobre cuarenta y cinco cultivos agrícolas de Costa Rica. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José, Costa Rica. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/tec-cana.pdf> (Consultado: agosto, 2010).
- Fiscus, D. A. and D. A. Neher. 2002. Distinguishing sensitivity of free-living soil nematode genera to physical and chemical disturbances. *Ecol. Applications* 12: 565-575.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2005. Major Food and Agricultural Commodities and Producers. [http://www.fao.org/ess/top/commodity.html?lang=en&item=156\\$year=2005](http://www.fao.org/ess/top/commodity.html?lang=en&item=156$year=2005) (Consultado: febrero, 2008).
- García, E. 1987. Modificaciones al Sistema Climático de Clasificación de Köppen. Cuarta Edición. Talleres Larios, México. 217 p.
- Hoschitz, M., and R. Kaufmann. 2004. Nematode community composition in five alpine habitats. *Nematology* 6: 737-747.
- Hunt, D. 1993. Aphelenchida, Longidoridae and Trichodoridae: their Systematics and Bionomics. CAB International, Oxfordshire. 352 p.
- INEGI (Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática). 2008. Archivo Histórico de Localidades, Veracruz de Ignacio de la Llave. <http://www.inegi.gob.mx/geo/default.aspx?c=338&e=30> (Consultado: febrero, 2008).
- Jairajpuri, M. S., and W. Ahmad. 1992. *Dorylaimida Free-Living, Predaceous and Plant-Parasitic Nematodes*. Brill Academic Publisher, Leiden. 458 p.
- Jiménez, O., y N. Contreras. 2008. Detección de *Xanthomonas albilineans* agente causal de la escaldadura foliar de la caña de azúcar usando la técnica de Elisa y medios selectivos. *Bioagro* 20: 209-213.
- Montes B., R. 2000. Nematología Vegetal en México (Investigación documental). Fuentes, G. (ed). Segunda Edición. Sociedad Mexicana de Fitopatología, México. 98 p.
- Pen-Mouratov, S., S. Rodríguez-Zaragoza, and Y. Steinberger. 2008. The effect of *Cercidium praecox* and *Prosopis laevigata* on vertical distribution of soil free-living nematode communities in the Tehuacán Desert, Mexico. *Ecol. Res.* 23: 973-982.
- Perichi, G., R. Crozzoli, y N. Greco. 2002. Nemátodos fitoparásitos asociados a la caña de azúcar en Venezuela, estado Carabobo. *Fitopatología Venezolana* 15: 26-29.
- Ramírez, A. 1978. Reconocimiento de nemátodos asociados con la caña de azúcar en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 2: 39-46.
- Rashid, A., and N. Singh. 2002. Role of plant parasitic nematodes on the incidence and severity of sugarcane wilt. *Sugar Tech.* 4: 61-62.
- Rodríguez, M. G., y L. Sánchez. 2002. Nemátodos asociados a plantas de caña de azúcar en Cuba con síntomas de amarillamiento (YLS) y sin estos. *Revista de Protección Vegetal* 17: 59-63.
- SEDARPA (Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesca). 2005. Anexo estadístico. <http://www.oedrus-veracruz.gob.mx/pbi/produccion.html> (Consultado: febrero, 2008).
- Seinhorst, J. W. 1959. A rapid method for the transfer of nematodes form fixative to anhydrous glycerine. *Nematologica* 4: 67-69.
- Seinhorst, J. W. 1962. On the killing, fixation and transferring to glycerin of nematodes. *Nematologica* 8: 29-32.
- Servin J., R. 2003. Azúcar. Colegio de Postgraduados Campus Córdoba/Fundación Produce Veracruz, México. 127 p.
- Severino, J. J., C. R. Dias-Arieira, and D. J. Tessman. 2010. Nematodes associated with sugarcane (*Saccharum* spp.) in sandy soils in Paraná, Brazil. *Nematropica* 40: 11-120.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2007. Información estratégica estatal. <http://www.siap.gob.mx/> (Consultado: febrero, 2008).
- Siddiqi, M.R. 2000. *Tylenchida: Plants and Insects*. Segunda Edición. CABI, St. Albans. 848 p.
- Singh, N. D. 1973. A note on plant parasitic nematodes associated with sugarcane in Trinidad. *Nematropica* 3: 54-55.
- s'Jacob, J. J., and J. van Bezooijen. 1984. A manual for practical work in nematology. Department of Nematology, Wageningen Agricultural University, Wageningen. 77 p.
- Somasekhar, N. 2005. Nematode control in cane. The Hindu Online Edition of India National Newspaper. <http://www.>

- hindu.com./seta/2005/03/17/stories/2005031700401700.htm (Consultado: febrero, 2010).
- StatSoft Inc. 2007. Statistica for Windows v. 8.0. Data analysis software system, Tulsa, Oklahoma, USA.
- Stirling, G. R. 2006. Susceptibility of sugarcane varieties to two species of root-knot nematodes (*Meloidogyne javanica* and *M. incognita*), and implications for crops grown in rotation with sugarcane. *Proc. Austr. Soc. Sugar Cane Technol.* 28: 345-350.
- Stirling, G. R., J. E. Berthelsen, A. T. James, and J. R. Agnew. 2006. The impact of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) on legume crops grown in rotation with sugarcane. *Proc. Austr. Soc. Sugar Cane Technol.* 28: 351-358.
- Stirling, G. R., P. Moody, and A.M. Stirling. 2007. The potential of nematodes as an indicator of the biological status of sugarcane soils. *Proc. Austr. Soc. Sugar Cane Technol.* 29: 339-351.
- Stirling, G. R., E. J. Wilson, A. M. Stirling, C. E. Pankhurst, P. W. Moody, M. J. Bell, and N. Halpin. 2005. Amendments of sugarcane trash induce suppressiveness to plant-parasitic nematodes in sugarcane soil. *Austr. Plant Pathol.* 34: 20-211.
- UNC (Unión Nacional de Cañeros). 2010. Estadísticas de la agroindustria de la caña de azúcar 2000-2009. <http://www.caneros.org.mx/estadísticas/> (Consultado: agosto, 2010).
- Yeates, G. W., and T. Bongers. 1999. Nematode diversity in agroecosystems. *Agric. Ecosystem and Environ.* 74:113-135.
- Yeates, G.W., T. Bongers, R. G. M. de Goede, D. W. Freckman, and S. S. Georgieva. 1993. Feeding habits in soil nematode families and genera-an outline for soil ecologists. *J. Nematol.* 25: 315-331.