

Nematofauna del Jardín Botánico Universitario “Baltasar Trujillo” Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela

Guillermo Perichi^{*1}, Anyuris Vegas², Renato Crozzoli¹, Alexis Medina³, Diego Diamond⁴, Zunilde Lugo⁵ y Miguel Rosales⁶

¹Instituto y Departamento de Zoología Agrícola, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Apdo. 4579. Maracay 2101, Aragua, Venezuela
²Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). El Limón, Aragua, Venezuela. ³INIA-Miranda, Altos Mirandinos, Los Teques. Venezuela. ⁴INIA-Aragua, Unidad de Protección Vegetal, El Limón, Aragua, Venezuela. ⁵INIA-Mérida, Laboratorio de Fitopatología, Departamento de Nematología Agrícola, Apdo. 5101, municipio Libertador, Mérida. Venezuela. ⁶Asesores Café, C.A., Altos Mirandinos, Los Teques. Venezuela

RESUMEN

A fin de conocer los nematodos presentes en el Jardín Botánico Universitario “Baltasar Trujillo” se colectaron al azar muestras compuestas de suelo en dos periodos cronológicamente diferentes (octubre-diciembre 2018) y (mayo-julio 2021) en los alrededores de la vegetación adyacente a cada punto de muestreo. Simultáneamente, al último muestreo en el sitio principal de estudio se tomaron muestras de suelo rizosférico de los herbazales cercanos, así como, en algunas áreas deforestadas del municipio Guaicapuro del estado Miranda con el objeto de comparar sus índices de diversidad y de función ecosistémica con los obtenidos del Jardín Botánico. Los grupos tróficos más abundantes fueron los herbívoros (*Helicotylenchus*), bacterívoros (*Rhabditis*), omnívoros (Dorylaimidae), depredadores (*Miconchus*, *Mylonchulus*, *Sporonchulus* y Trypilidae) y fungívoros (*Aphelenchoides* y *Aphelenchus*). La red trófica del suelo en el Jardín Botánico “Baltasar Trujillo”, herbazales y áreas deforestadas de acuerdo a los índices calculados se caracterizan por presentar en general disturbios de bajos a moderados, N-enriquecidos, con canales de descomposición predominantemente bacterianos, una baja relación C/N y en procesos de maduración. También, se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0,001$) entre sitios o uso del suelo para cada huella metabólica estimada, especialmente, en las áreas deforestadas donde la huella metabólica compuesta con un valor de 25,45 de μg de C/100 cm^3 de suelo presentó una reducción muy significativa (53-77% con relación a los demás ambientes) del carbono consumido o utilizado por los nematodos edáficos en el flujo de materia y energía dentro de la red trófica del suelo.

Palabras clave: Biodiversidad, ecología, huella metabólica, nematodos, suelo, Venezuela.

*Autor de correspondencia: Guillermo Perichi

E-mail: perichig@hotmail.com

Nematode fauna of the University Botanical Garden “Baltasar Trujillo”, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela

ABSTRACT

In order to know the nematodes present in the “Baltasar Trujillo” University Botanical Garden, samples composed of soil were randomly collected in two chronologically different periods (October-December 2018) and (May-July 2021) in the surroundings of the adjacent vegetation to each sampling point. Simultaneously to the last sampling in the main study site, rhizospheric soil samples were taken from nearby grasslands, as well as in some deforested areas of the Guaicupuro municipality of Miranda State in order to compare their diversity and ecosystem function indices with those obtained from the Botanical Garden. The most abundant trophic groups were herbivores (*Helicotylenchus*), bacterivores (*Rhabditis*), omnivores (Dorylaimidae), predators (*Miconchus*, *Mylonchulus*, *Sporonchulus* and Trypidae) and fungivorous (*Aphelenchoides* and *Aphelenchus*). The soil food web in the “Baltasar Trujillo” Botanical Garden, grasslands and deforested areas according to the calculated indices are characterized by presenting in general low to moderate disturbances, N-enriched, with predominantly bacterial decomposition channels, a low C/N ratio and in maturation processes. Also, highly significant statistical differences ($p < 0.001$) were found between sites or land use for each estimated metabolic footprint, especially, in deforested areas where the composite metabolic footprint with a value of $25.45 \mu\text{g C}/100 \text{ cm}^3$ of soil presented a very significant reduction (53-77% in relation to the other environments) of the carbon consumed or used by edaphic nematodes in the flow of matter and energy within the soil food web.

Key words: Biodiversity, ecology, metabolic footprint, nematodes, soil, Venezuela.

INTRODUCCIÓN

Las ciudades de importancia siempre han designado áreas geográficas para la protección, recreación y estudio de las plantas (locales y foráneas). Entre estas zonas, los jardines botánicos son uno de los más conocidos. Estos, no solo son centros para la conservación de plantas o estudio de la sistemática vegetal, en ellos, se pueden también conducir trabajos sobre la estructura comunitaria de diferentes grupos animales y microorganismos tales como aves, insectos, murciélagos y nematodos edáficos, fundamentalmente porque no son zonas cultivadas y por ende ausencia de rotación de cultivos y existencia de un amplio rango de especies vegetales creciendo en un área limitada (Correa *et al.*, 2014; Gubin y Sigareva, 2014; Chen y Sun, 2018; Tapias *et al.*, 2020). Los nematodos edáficos son una parte integral de los ecosistemas del suelo y tienen un papel esencial en muchos procesos biológicos tales como el flujo de materia y energía en las redes tróficas (Admasu y Admasu, 2020). En Venezuela, la investigación nematológica se ha

centrado en el estudio de los nematodos fitoparásitos, sin embargo, el creciente impacto de las actividades humanas en los ecosistemas requiere que estos organismos sean estudiados desde un punto de vista integral pues su uso como bioindicadores permiten inferir el estado y las condiciones de las redes tróficas, así como también las funciones que cumplen en ecosistemas naturales y manejados (Ferris y Bongers, 2009; Gubin y Sigareva, 2014).

El Jardín Botánico Universitario “Baltasar Trujillo” es un centro de investigación ubicado en la Universidad Central de Venezuela, núcleo Maracay, estado Aragua y dentro de sus propósitos se encuentran la docencia, la extensión, la investigación y la preservación de especies vegetales. Cuenta con aproximadamente 534 especies de plantas y es refugio para una gran variedad de animales (Correa *et al.*, 2014). Tapias *et al.* (2020), señalan que para proteger los ecosistemas cercanos a los centros urbanos es necesario generar información sobre su diversidad biológica, condición indispensable para sustentar también su manejo adecuado. Por tales razones, el presente

trabajo pretende: a) Determinar la abundancia y ocurrencia de las principales familias y géneros de nematodos edáficos allí presentes. b) Clasificar los nematodos de acuerdo a su composición alimentaria [nematodos bacterívoros, depredadores (carnívoros), herbívoros (parásitos de plantas) y omnívoros] y estrategias de vida [colonizadores: r-estrategas (c) y persistentes: k-estrategas (p)]. c) Calcular los principales índices de diversidad, familia de madurez y de red trófica. d) Estimar la huella metabólica de los diferentes grupos tróficos de nematodos y d) Comparar los índices obtenidos con los calculados para otros ambientes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El Jardín Botánico Universitario “Baltasar Trujillo”, se encuentra localizado en la Facultad de Agronomía (FAGRO), Universidad Central de Venezuela, Maracay (UCV). Dicha área se ubica dentro de la planicie aluvial (Formación geológica “Las Mercedes”) de la cuenca del Río Güey, vertiente sur del Parque Nacional “Henri Pittier”, Municipio Girardot del estado Aragua (coordenadas: 10,269917; -67,608429), al norte del lago de Valencia, a una altura de 444 m.s.n.m. Atravesado en su totalidad por el canal encauzado del Río Güey, sobre su margen este se encuentra la carretera asfaltada que conduce a los edificios de los departamentos de Botánica, Ecología y la Sección de Fitopatología. A ambos lados del canal y la carretera se encuentran sembradas diversas especies de plantas nativas y foráneas, desde grandes árboles que alcanzan los 30 m de altura, hasta arbustos y malezas diversas. El clima es biestacional, con una época seca desde noviembre hasta abril y un período de lluvias de mayo a octubre. La temperatura media anual es 25°C, la precipitación media anual es 1063 mm y la evaporación media anual es 1080 mm. La parte alta de la cuenca corresponde a la zona de vida Bosque Seco Premontano (BSP) y la parte baja a Bosque Seco Tropical (BST) (Viloria *et al.*, 2009; Correa *et al.*, 2014).

Obtención de la muestras de suelo

La presente investigación se basó en el análisis nematológico de 134 muestras compuestas (MC) de

suelo en el área de estudio anteriormente señalada en dos periodos cronológicamente diferentes [octubre-diciembre del 2018 (67 muestras) y mayo-julio del 2021 (67 muestras)]. Simultáneamente, al último muestreo en el sitio principal de estudio se tomaron MC en herbazales (36 muestras) dominado por la especie *Sorghum halepense* (L.) Pers. en FAGRO-UCV, así como, en algunas áreas deforestadas (30 muestras) del municipio Guaicupuro, estado Miranda con el objeto de comparar sus índices de diversidad y de función ecosistémica (basados en la nematofauna edáfica) con los obtenidos del Jardín Botánico. Cada MC estuvo conformada por 5-8 submuestras tomadas al azar con un barreno o pala hasta profundidad de 30 cm en los alrededores de la vegetación adyacente a cada punto de muestreo hasta completar 1,5-2 kg de suelo. El material colectado en cada uno de los puntos, se dispuso individualmente en una bolsa plástica transparente de 5 kg de capacidad previamente identificada. Luego, se trasladó al Laboratorio de Nematología Agrícola (FAGRO-UCV) para su correspondiente procesamiento.

Procesamiento y contaje de los nematodos (abundancia absoluta, relativa y ocurrencia)

El suelo (100 cm³) se procesó con el método de Cobb modificado por Crozzoli (2014) y la suspensión así obtenida se pasó a un filtro de algodón modificado por Crozzoli y Rivas (1984) y luego a un plato de Oostenbrink durante 24 h. Transcurrido el tiempo y con ayuda de un microscopio estereoscópico 511-94A de Leitz-Wetzlar se procedió al contaje (dos veces) e identificación de las principales familias o géneros con base a la morfología de la región labial, cavidad bucal o estoma, tipo de faringe y estructuras asociadas, posición de la vulva y aspectos generales de la región posterior (cola). En aquellos casos, donde la diagnosis para un taxón de nematodo en particular fue difícil se prepararon láminas temporales con algunos ejemplares y luego estos observados y fotografiados con un microscopio SM-LUX de Leitz-Wetzlar a 10X-40X equipado con una cámara ocular MD-35 de AmScope®. Para una correcta identificación se utilizó la clave de Chaves *et al.* (2019) y las dispuestas en el sitio web de NEMAPLEX (2021). Finalmente, se calculó la abundancia absoluta (sumatoria de los

nematodos), relativa (abundancia absoluta de cada taxón/abundancia total nematodos), la ocurrencia (%) de los nematodos [(número de muestras que contiene un taxón particular)*100/(total de muestras colectadas)] y el valor de prominencia (VP) [densidad poblacional* $\sqrt{\text{frecuencia de ocurrencia}}/10$] en cada entorno muestreado (Vicente *et al.*, 2015; Ghaderi y Hamzezarghani, 2020).

Clasificación de ecológica de los nematodos

Una vez identificados los nematodos en los taxones anteriormente mencionados se clasificaron de acuerdo a sus grupos tróficos [bacterívoros, depredadores (carnívoros), fungívoros, herbívoros (fitoparásitos) y omnívoros] y estrategias de vida [colonizadores: r-estrategas (*c*) y persistentes: k-estrategas (*p*)] usando para ello los tipos de alimentación referidos por Yeates *et al.* (1993) y la escala *c-p* (escala de 1 a 5) propuesta por Bongers (1990). Los nematodos en el extremo inferior de la escala (1) fueron considerados como ‘*c*’, oportunistas de ambientes enriquecidos e indicaron la disponibilidad de nutrientes y en el extremo superior (5) ‘*p*’ señalando redes tróficas complejas y estabilidad del ecosistema (Sánchez-Moreno y Ferris, 2018).

Cálculo de los índices de diversidad, familia de madurez y de red trófica

Para inferir la diversidad y función ecosistémica de los nematodos presentes en el Jardín Botánico “Baltasar Trujillo” y compararlos con herbazales y áreas deforestadas se procedió calcular los índices de diversidad, madurez y de red trófica de acuerdo a la fórmulas presentadas en el Cuadro 1. Los índices de madurez, en esencia indican el grado de perturbación de un ambiente en particular, el nivel de enriquecimiento y el impacto de ciertos contaminantes bajo condiciones agrícolas y los de red trófica permiten evaluar el estado general de la misma y el tipo de descomposición de la materia orgánica (MO) que predomina en un ecosistema dado; ya sea natural o manejado (Varela-Benavides, 2018). Para el cálculo de estos últimos índices, se combinaron los cinco grupos de *c-p* (escala de 1 a 5) y los cinco grupos tróficos fundamentales [bacterívoros, depredadores

(carnívoros), fungívoros, herbívoros (fitoparásitos) y omnívoros]. Las combinaciones posibles de estas dos clasificaciones resultaron en 16 grupos funcionales, en cuyas abundancias relativas (dominancia) se basaron los cálculos de los índices de la red trófica (Ferris *et al.*, 2001; Dupont *et al.*, 2009; Ferris, 2010).

Estimación de huellas metabólicas

Para conocer, la cantidad de carbono medio consumido (C expresados en $\mu\text{g}/100 \text{ cm}^3$ de suelo) por los nematodos durante el proceso de respiración y reproducción fueron estimados mediante el programa en línea Nematode Indicator Joint Analysis (NINJA) de Sieriebriennikov *et al.* (2014) los valores de huella metabólica compuesta (HMC), enriquecimiento (HME), estructura (HMS) y de los grupos tróficos bacterívoros (HMB), depredadores (HMD), fungívoros (HMF), herbívoros (HMH) y omnívoros (HMO) teniendo en cuenta que cuanto mayor sea la cantidad de C utilizado por un determinado taxón mayor será la magnitud de su función dentro del ecosistema (Ferris, 2010; Varela-Benavides, 2018). Posteriormente, los valores obtenidos de los sitios bajo estudio se representaron gráficamente con ayuda de una hoja de cálculo Excel de Microsoft® Corporation (gráfico de araña con eje radial ajustado a una escala logarítmica de base 10) con la finalidad de realizar una evaluación comparativa de la red trófica del suelo en función de presión de herbívoros (fitoparásitos), servicios de mineralización y servicios de supresión de plagas prestados por los nematodos de acuerdo a Sánchez-Moreno y Ferris (2018) y Domene *et al.*, 2021).

Procesamiento de los datos y análisis estadísticos

El cálculo de los índices de diversidad biológica se realizó con el programa PAST (Paleontological Statistics) versión 2.17b de Hammer *et al.* (2001) y los ecológicos basados en la abundancia relativa de los nematodos mediante el programa NINJA. Posteriormente, los resultados de los diferentes índices y de huellas metabólicas fueron sometidos a un análisis de varianza (ANAVAR) previa comprobación de los supuestos con la prueba de Shapiro-Wilk para normalidad y la de Bartlett para

Cuadro 1. Fórmulas para el cálculo de los índices de diversidad y función ecosistémica (madurez y red trófica) con base a la nematofauna presente en el Jardín Botánico Universitario “Baltasar Trujillo”.

Índices de diversidad	Fórmula ¹	Referencia
Dominancia de Simpson (<i>D</i>)	$D = \sum (pi)^2$	Neher y Darby (2009)
Shannon-Weiner (<i>H'</i>)	$H' = \sum_{i=1}^s pi \times \ln \times pi$	Idem
Familia de índices de madurez	Fórmula	Referencia
Índice de madurez (<i>IM</i>)	$IM' = \sum_{i=1,f} v(i) \times n(i) / \sum_{i=1,f} n(i)$ Solo para nematodos de vida libre	Ferris y Bongers (2009)
Índice de madurez (<i>IM2-5</i>)	Idem (excluye a los nematodos <i>c-p</i> 1)	Idem
Índice de parásitos de plantas (<i>IPP</i>)	Idem (excluye a los de vida libre)	Idem
Índices de red trófica	Fórmula	Referencia
Índice basal (<i>IB</i>)	$IB = \frac{b}{(b + e + s)} \times 100$	Ferris (2010)
Índice de canal (<i>IC</i>)	$IC = \frac{(Fu_2 \times w_2)}{(Ba_1 \times w_1 + Fu_2 \times w_2)} \times 100$	Idem
Índice de enriquecimiento (<i>IE</i>)	$IE = \frac{e}{(b + e)} \times 100$	Idem
Índice de estructura (<i>IS</i>)	$IS = \frac{s}{(b + s)} \times 100$	Idem

⁽¹⁾Se calculó el índice $\sum IM$ de acuerdo Ferris y Bongers (2009). La determinación de los componentes *b*, *e* y *s* dentro de las fórmulas de la red trófica se realizaron de acuerdo a Ferris *et al.* (2001) y Ferris (2010). Donde $w_1 = 3,2$ y $w_2 = 0,8$ (constantes).

igualdad de varianzas. En aquellos casos donde fue necesaria una transformación para estabilizar la normalidad se usó el logaritmo natural [$\text{Log}(x + 1)$]. Cuando no se cumplieron los supuestos, ni aún con los datos transformados se usó la prueba de Kruskal-Wallis. Las medias de los índices y de huellas metabólicas entre los sitios se compararon entre sí, con la prueba de Mínima Diferencia Significativa (MDS) o de comparación de medias (rango) no paramétricas a un nivel de significancia de $P < 0,05$ según sea el caso (Salas y Achinelly, 2020). Las pruebas estadísticas fueron realizadas con el programa STATISTIX 8.0 (NH Analytical Software, Roseville, MN, USA).

El triángulo *c-p* y el gráfico del perfil de red alimentaria fueron generados automáticamente mediante el programa NINJA. Con el triángulo *c-p*, se diferenció la nematofauna basal (*c-p* 1 y *c-p* 2) indicadora de enriquecimiento de los grupos *c-p* 3-5, indicadores de estructura de acuerdo a de Goede *et al.* (1993). Mientras que, la condición del suelo en cada uno de los entornos fue categorizada con base a la nematofauna registrada (nube de puntos) en cada cuadrante (Cuadrantes A, B, C y D) del gráfico de red alimentaria con ayuda del Cuadro 2 (Ferris *et al.*, 2001).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Abundancia, ocurrencia, composición trófica y estrategias de vida

La abundancia total de nematodos edáficos tanto de vida libre como de formas parásitas de las plantas para los años 2018 y 2021 en el Jardín Botánico “Baltasar Trujillo” fue de 3013 ejemplares distribuidos en 18 taxones (13 géneros y 5 familias) y 4564 individuos (lo que representa un incremento de 51,5% con relación al año 2018) repartidos en 31 taxones (20 géneros y 11 familias), respectivamente. Así mismo, todos los grupos tróficos (bacterívoros, depredadores, fungívoros, herbívoros y omnívoros) estuvieron representados en menor o mayor proporción (Cuadro 3 y 4).

Los rhabdítidos, dentro de los nematodos de vida libre fueron lo más abundantes con una población de 17,34 ejemplares/100 cm³ de suelo, una ocurrencia de 80,60% en las muestras y un valor prominencia (VP) de 15,57 para el 2108. Con relación al año 2021, la densidad poblacional de *Rhabditis* se duplicó a 33 ejemplares/100 cm³ de suelo (VP = 32,20) estando el género presente prácticamente en todas las muestras analizadas,

Cuadro 2. Esquema de interpretación de la condición del suelo de acuerdo al perfil de la red alimentaria generado el gráfico correspondiente (enriquecimiento *vs* estructura).

Condición general	Cuadrante A	Cuadrante B	Cuadrante C	Cuadrante D
Disturbio	Alto	Bajo a moderado	Sin disturbio	Estresado
Enriquecimiento	N-enriquecido	N-enriquecido	Moderado	Agotado
Canales de descomposición	Bacteriano	Balanceado	Fúngico	Fúngico
Relación C/N	Bajo	Bajo	Moderado a alto	Alto
Condición de la red trófica	Perturbado	Madurando	Estructurado	Degradado

Cuadro 3. Taxones identificados, grupo trófico, valor de *c-p*, abundancia, ocurrencia (%) y valor de prominencia (VP) de los nematodos edáficos detectados en el Jardín Botánico "Baltasar Trujillo" durante el 2018.

Familia o género	Grupo trófico	<i>c-p</i>	Abundancia			Ocurrencia	VP
			Absoluta (Ejemplares)	Promedio/100 cm ³ de suelo (rango)	Relativa (%)		
Alaimidae	B	4	31	0,46 (1-5)	1,00	22,40	0,22
Cephalobidae	B	2	0	0	0	0	0
Diplogastridae	B	1	0	0	0	0	0
<i>Monhystera</i>	B	2	0	0	0	0	0
Monhysteridae	B	2	0	0	0	0	0
Rhabditidae	B	1	0	0	0	0	0
<i>Rhabditis</i>	B	1	1162	17,34 (1-242)	38,60	80,60	15,57
<i>Clarkus</i>	D	4	0	0	0	0	0
<i>Iotonchus</i>	D	4	0	0	0	0	0
<i>Miconchus</i>	D	4	0	0	0	0	0
Mononchidae	D	4	0	0	0	0	0
<i>Mononchus</i>	D	4	0	0	0	0	0
<i>Mylonchulus</i>	D	4	121	1,81 (1-28)	4,00	38,80	1,13
<i>Sporonchulus</i>	D	4	28	0,42 (1-19)	0,90	9,00	0,13
<i>Tripyla</i>	D	3	0	0	0	0	0
Tripylidae	D	3	59	0,88 (1-16)	2,00	16,40	0,36
<i>Aphelenchoides</i>	F	2	0	0	0	0	0
<i>Aphelenchus</i>	F	2	10	0,15 (4-6)	0,30	3,00	0,03
Criconematidae	H	3	86	1,28 (1-54)	2,90	9,00	0,38
<i>Helicotylenchus</i>	H	3	689	10,28 (1-132)	22,90	47,80	7,11
<i>Hemicriconemoides</i>	H	3	0	0	0	0	0
<i>Hemicycliophora</i>	H	3	0	0	0	0	0
Heteroderidae (J2)	H	3	0	0	0	0	0
<i>Hirschmanniella</i>	H	3	0	0	0	0	0
Hoplolaimidae	H	3	22	0,33 (10-12)	0,70	3,00	0,06
<i>Meloidogyne</i> (J2)	H	3	25	0,37 (1-14)	0,80	4,50	0,08
<i>Mesocriconema</i>	H	3	0	0	0	0	0
<i>Paratylenchus</i>	H	2	62	0,93 (2-60)	2,10	3,00	0,16
<i>Pratylenchus</i>	H	3	99	1,48 (1-90)	3,30	7,50	0,40
<i>Psilenchus</i>	H	2	22	0,33 (4-18)	0,70	3,00	0,06
<i>Quinisulcius</i>	H	3	0	0	0	0	0
<i>Radopholus</i>	H	3	0	0	0	0	0
<i>Rotylenchulus</i>	H	3	282	4,21 (2-192)	9,40	10,40	1,36
Trichodoridae	H	4	0	0	0	0	0
Tylenchidae	H	2	0	0	0	0	0
<i>Tylenchorhynchus</i>	H	3	1	0,01 (1-1)	0,0	1,50	0,00
<i>Tylenchulus</i>	H	3	0	0	0	0	0
<i>Tylenchus</i>	H	2	11	0,16 (2-9)	0,40	3,00	0,03
<i>Xiphinema</i>	H	5	40	0,60 (1-16)	1,30	11,90	0,21
Actinolaimidae	O	5	0	0	0	0	0
Aporcelaimidae	O	5	0	0	0	0	0
<i>Aporcelinus</i>	O	5	0	0	0	0	0
<i>Discolaimus</i>	O	4	0	0	0	0	0
Dorylaimidae	O	4	263	3,93 (1-24)	8,70	79,10	3,49

¹Grupo tróficos: Bacterívoros (B), Depredadores (D), Fungívoros (F), Herbívoros (H) y Omnívoros (O).

Cuadro 4. Taxones identificados, grupo trófico, valor de *c-p*, abundancia, ocurrencia (%) y valor de prominencia (VP) de los nematodos edáficos detectados en el Jardín Botánico “Baltasar Trujillo” durante el 2021.

Familia o género	Grupo ¹ trófico	<i>c-p</i>	Abundancia			Ocurrencia	VP
			Absoluta (Ejemplares)	Promedio/100 cm ³ de suelo (rango)	Relativa (%)		
Alaimidae	B	4	0	0	0	0	0
Cephalobidae	B	2	17	0,25 (2-4)	0,40	9,00	0,08
Diplogastridae	B	1	0	0	0	0	0
<i>Monhystera</i>	B	2	0	0	0	0	0
Monhysteridae	B	2	0	0	0	0	0
Rhabditidae	B	1	19	0,28 (19-19)	0,40	1,5	0,03
<i>Rhabditis</i>	B	1	2185	32,61 (3-151)	47,90	97,00	32,12
<i>Clarkus</i>	D	4	0	0	0	0	0
<i>Iotonchus</i>	D	4	0	0	0	0	0
<i>Miconchus</i>	D	4	60	0,90 (1-6)	1,30	41,80	0,58
Mononchidae	D	4	1	0,01 (1-1)	0,00	1,50	0,00
<i>Mononchus</i>	D	4	0	0	0	0	0
<i>Mylonchulus</i>	D	4	35	0,52 (1-6)	0,80	25,40	0,26
<i>Sporonchulus</i>	D	4	67	1,00 (14-22)	1,50	32,80	0,57
<i>Tripyla</i>	D	3	12	0,18 (1-5)	0,30	9,00	0,05
Tripylidae	D	3	63	0,94 (9-19)	1,40	28,40	0,50
<i>Aphelenchoides</i>	F	2	8	0,12 (1-4)	0,20	4,50	0,03
<i>Aphelenchus</i>	F	2	160	2,39 (1-18)	3,50	53,70	1,75
Criconeematidae	H	3	0	0	0	0	0
<i>Helicotylenchus</i>	H	3	643	9,60 (1-203)	14,10	74,60	8,29
<i>Hemicriconeemoides</i>	H	3	13	0,19 (2-4)	0,30	6,00	0,05
<i>Hemicycliophora</i>	H	3	0	0	0	0	0
Heteroderidae (J2)	H	3	13	0,19 (1-10)	0,30	4,50	0,04
<i>Hirschmanniella</i>	H	3	0	0	0	0	0
Hoplolaimidae	H	3	33	0,49 (1-10)	0,70	7,50	0,13
<i>Meloidogyne</i> (J2)	H	3	152	2,27 (1-49)	3,30	19,40	1,00
<i>Mesocriconeema</i>	H	3	2	0,03 (1-1)	0,00	3,00	0,01
<i>Paratylenchus</i>	H	2	10	0,15 (1-5)	0,20	6,00	0,04
<i>Pratylenchus</i>	H	3	8	0,12 (1-3)	0,20	9,00	0,04
<i>Psilenchus</i>	H	2	52	0,78 (2-15)	1,10	11,90	0,27
<i>Quinisulcius</i>	H	3	0	0	0	0	0
<i>Radopholus</i>	H	3	0	0	0	0	0
<i>Rotylenchulus</i>	H	3	26	0,39 (1-7)	0,60	10,40	0,13
Trichodoridae	H	4	11	0,16 (1-6)	0,20	6,00	0,04
Tylenchidae	H	2	283	4,22 (1-41)	6,20	41,80	2,73
<i>Tylenchorhynchus</i>	H	3	27	0,40 (1-8)	0,60	9,00	0,12
<i>Tylenchulus</i>	H	3	0	0	0	0	0
<i>Tylenchus</i>	H	2	14	0,21 (2-9)	0,30	4,50	0,04
<i>Xiphinema</i>	H	5	112	1,67 (1-13)	2,50	40,30	1,06
Actinolaimidae	O	5	13	0,19 (1-6)	0,30	6,00	0,05
Aporcelaimidae	O	5	103	1,54 (1-18)	2,30	46,30	1,05
<i>Aporcelinus</i>	O	5	17	0,25 (1-7)	0,40	7,50	0,07
<i>Discolaimus</i>	O	4	26	0,39 (1-13)	0,60	11,90	0,13
Dorylaimidae	O	4	379	5,66 (1-50)	8,30	85,10	5,22

¹Grupo tróficos: Bacterívoros (B), Depredadores (D), Fungívoros (F), Herbívoros (H) y Omnívoros (O).

siendo, su abundancia relativa y ocurrencia cercanas al 48 y 100%, respectivamente. Otros bacterívoros recuperados, fueron algunos representantes de la familia Alaimidae y Cephalobidae. Sin embargo, sus poblaciones presentaron un $VP < 0,1$ (Cuadro 3 y 4). Ahora bien, se considera que una población significativa de estos nematodos, especialmente *Rhabditis*, pudiese indicar una elevada actividad de bacterias relacionadas con la mineralización del nitrógeno (N) en el suelo (Mattos *et al.*, 2006).

Mientras que, los dorylaímidos con una abundancia relativa entre 9 y 12% del total fueron en su conjunto los nematodos edáficos de vida libre más abundantes y frecuentes en el Jardín Botánico después de los rhabdítidos y con una población promedio de 3,93 y 8,02 individuos/100 cm³ durante los años 2018 y 2021, respectivamente (Cuadro 3 y 4).

Los nematodos depredadores *Miconchus*, *Mylonchulus*, *Sporonchulus* y trypílidos (familia Trypilidae) fueron también detectados en el área estudiada. La abundancia relativa de estos organismos en el primer muestreo representó ca del 7% del total de nematodos identificados, sin embargo, en el último su presencia con relación al total de la nematofauna fue ligeramente inferior con una representación del 5,3%. La densidad poblacional en el Jardín Botánico osciló entre 1 y 28 nematodos/100 cm³ suelo (Cuadro 3 y 4). La importancia de estos nematodos es dual y radica en los servicios de supresión de antagonistas o plagas dentro de los ecosistemas ya sean estos naturales o manejados, pero, también contribuyen con la liberación de nutrientes en formas disponibles, lo que les permite expresar su mayor potencial genético a las plantas y tolerar cierta carga poblacional de nematodos herbívoros (fitoparásitos) en las raíces (Devi y George, 2018).

Con relación a los fungívoros, solamente los géneros *Aphelenchoides* ($VP < 0,1$ en 2021) y *Aphelenchus* [$VP < 0,1$ (2018); $VP = 1,75$ (2021)] fueron identificados en el Jardín Botánico "Baltasar Trujillo". Sin embargo, el primero de ellos no fue detectado durante el lapso estudiado del 2018 mientras que el segundo apenas representó el 0,30% (10 individuos en total) de toda la composición nematológica (Cuadro 3 y 4).

Entre los herbívoros identificados para el 2018, los más abundantes fueron *Helicotylenchus* con una abundancia relativa de 22,90% y una población de 10,28 individuos/100 cm³ de suelo ($VP = 7,11$) y *Rotylenchulus* con el 9,40% del total de la composición comunitaria y una población promedio de 4,21 ejemplares/100 cm³ de suelo ($VP = 1,36$). El resto de los taxones identificados dentro de este grupo trófico presentaron valores de prominencia muy bajos ($VP < 1$). Sin embargo, *Pratylenchus* fue uno de los géneros más representativos con densidades poblacionales que oscilaron entre 1 y 90 ejemplares/100 cm³ de suelo, especialmente, dentro de las gramíneas del jardín (Cuadro 3). Con relación al último muestreo, *Helicotylenchus* seguido de *Psilenchus* junto con otros tilénchidos (familia Tylenchidae), *Meloidogyne* y *Xiphinema* fueron los nematodos más representativos dentro este gremio trófico. También, es importante mencionar la detección de algunos juveniles de segundo estadio (J2) de la familia Heteroderidae (nematodos quistes) asociados a las cactáceas del lugar (Cuadro 4).

Composición alimentaria y estrategias de vida

Al comparar las proporciones de los diferentes grupos tróficos presentes en el Jardín Botánico "Baltasar Trujillo" con los sitios de referencia (herbazales y áreas deforestadas) podemos observar que los nematodos herbívoros dominaron dentro de la estructura comunitaria con excepción del año 2021 donde los nematodos predominantes dentro del jardín fueron los bacterívoros del género *Rhabditis* con un 48,70% (Figura 1). También, se encontraron diferencias en la composición de unos sitios con relación a otros, por ejemplo, en los herbazales de FAGRO-UCV el nematodo fungívoro *Aphelenchus* por sí solo representó el 9,40% del total de la nematofauna donde las plantas de condición herbácea eran fundamentalmente predominante (Figura 2). Mientras que el género depredador *Sporonchulus* fue encontrado en el Jardín Botánico asociado solamente a la vegetación del bosque seco tropical (bosque semideciduo) o reductos de este como es el caso de las áreas recientemente deforestadas del municipio Guaicupuro del estado Miranda. Ahora bien, en los herbazales con *Mylonchulus* y trypílidos, este gremio trófico apenas representó el 1,1% de toda su composición nematológica (Figura 1).

En general, las proporciones de los diferentes grupos tróficos de nematodos edáficos en cada uno de los sitios o entornos mencionados se corresponden con los señalados por la literatura donde la actividad antropogénica interviene en menor o mayor grado (Landi *et al.*, 2019; Salas y Achinelly, 2020; Yang *et al.*, 2021).

Numerosos estudios señalan que el tipo de vegetación presente en un área determinada y los cambios dinámicos que ocurren con el tiempo; tienen efectos significativos sobre la composición taxonómica de los nematodos edáficos, su abundancia y distribución espacio-temporal. Sin embargo, la actividad humana, el tipo de suelo (clase textural), la disponibilidad de agua, el contenido de MO y muchos otros factores pueden influir notablemente sobre las comunidades de nematodos. Por tales razones y su particular ubicuidad estos organismos son usados como bioindicadores y develar su estructura comunitaria permite en esencia capturar los cambios funcionales en respuesta a un cambio

ambiental (Cesarz *et al.*, 2015; Lu *et al.*, 2020; Thuo *et al.*, 2020).

En cuanto a las estrategias de vida (Figura 2), los resultados muestran una alta proporción (nube de puntos en el triángulo) de nematodos *c-p* 1 (oportunistas de enriquecimiento) en el Jardín Botánico “Baltasar Trujillo” y en las demás áreas muestreadas donde los suelos al parecer se encuentran altamente enriquecidos por MO evidentemente, estos organismos juegan un papel importante en su mineralización. Los *c-p* 2 como *Aphelenchus*, fueron dominantes solamente en los suelos de FAGRO-UCV cubiertos por herbazales. Además, se puede apreciar que estos suelos exhiben una tendencia hacia la inestabilidad (estrés) dentro de la red alimentaria edáfica. Los nematodos *c-p* 1 y *c-p* 2 de acuerdo a Sánchez-Moreno y Ferris (2018) son organismos con ciclos de vida muy cortos, alto potencial reproductivo (*r*-estrategas) y con la particularidad de resistir perturbaciones ambientales.

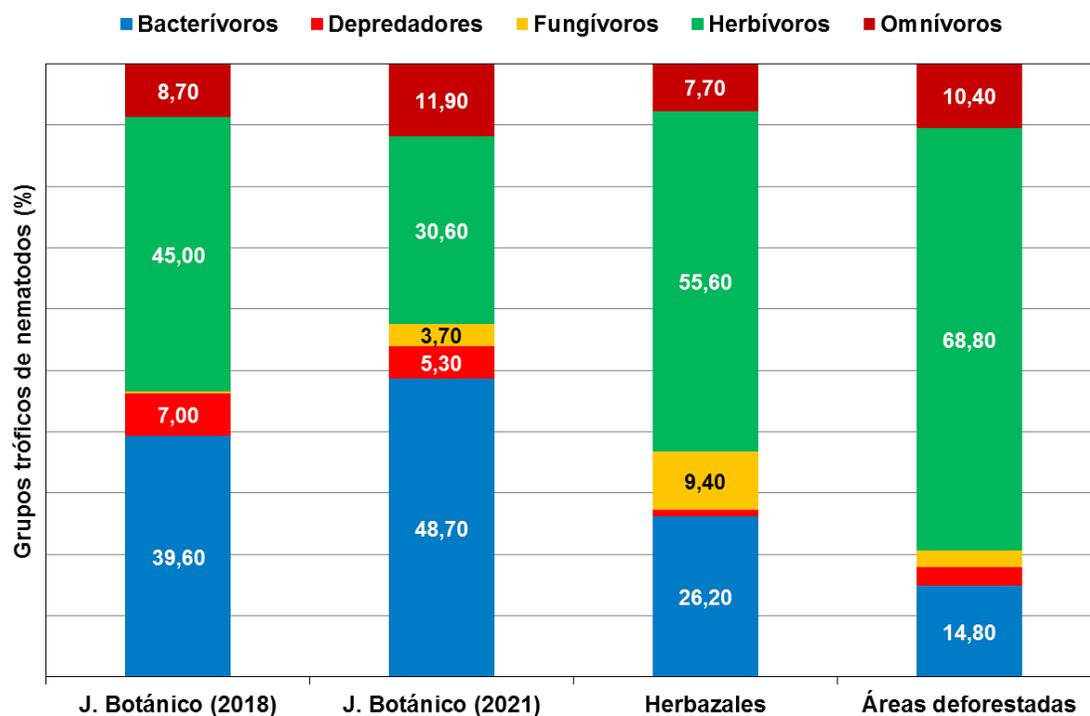


Figura 1. Composición alimentaria de los nematodos edáficos presentes en el Jardín Botánico “Baltasar Trujillo” y en los sitios de comparación. **Leyenda.** (J. Botánico)=Jardín Botánico.

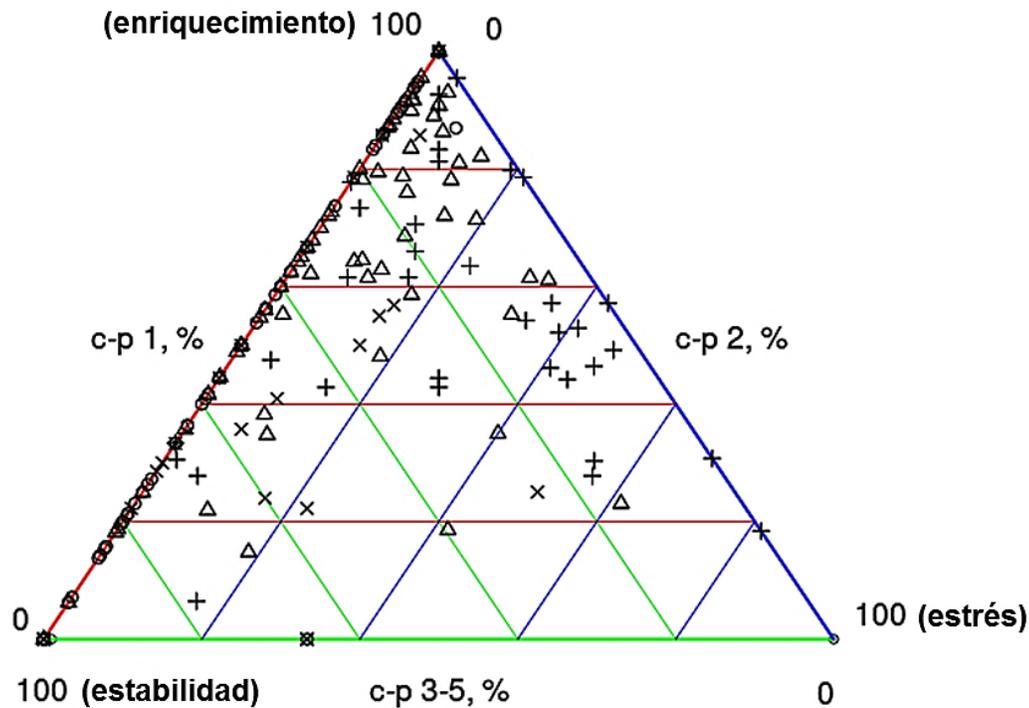


Figura 2. Triángulo *c-p* de proporción no ponderada de los grupos *c-p* 1, *c-p* 2 y *c-p* 3-5 de nematodos edáficos presentes en el Jardín Botánico "Baltasar Trujillo" y en los sitios o entornos de comparación. **Leyenda.** (o)=Jardín Botánico (2018), (Δ)=Jardín Botánico (2021), (+)=Herbazales y (x)=Áreas deforestadas del municipio Guaicapuro, estado Miranda.

Así mismo, la proporción de nematodos *c-p* 3-5 (muy sensibles a las condiciones del entorno) presentes en el Jardín Botánico (especialmente en el segundo muestreo) y en las áreas deforestadas del municipio Guaicapuro del estado Miranda indican suelos más estables y con poco estrés a pesar de la poca existencia de cobertura vegetal en este último (Figura 2). No obstante, la deforestación si bien es cierto que es una actividad muy drástica en los trópicos y que la misma implica una pérdida significativa de la diversidad biológica incluyendo la de los nematodos edáficos investigaciones previas también reportan que la riqueza biológica en algunos casos no declina proporcionalmente con el nivel de disturbio provocado (Bloemers *et al.*, 1997; Lazarova *et al.*, 2021).

Índices de diversidad, familia de madurez y de red trófica

Las pruebas de Shapiro-Wilk y Bartlett fueron satisfactorias para realizar un ANAVAR por

vía paramétrica ($p > 0,05$) solamente en el índice ΣIM . En consecuencia, los análisis estadísticos para los índices de diversidad, familia de madurez con excepción del antes mencionado y el de red trófica fueron realizados mediante su equivalente no paramétrico de Kruskal-Wallis. Se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0,001$) entre sitios o uso del suelo para cada índice calculado (Cuadro 5).

Las media de los índice de dominancia de Simpson (D) y el de Shannon-Weiner (H'), indicaron en términos globales una baja a moderada diversidad nematológica entre condiciones ambientales o sitios (Cuadro 5). La mayor heterogeneidad en el estudio fue encontrada en el último muestreo realizado en el Jardín Botánico "Baltasar Trujillo" y los herbazales de FAGRO-UCV con unos índices de diversidad muy similares estadísticamente hablando ($D=0,40$; $H'=1,30$ y $0,39$; $1,27$, respectivamente) y cuya heterogeneidad puede ser atribuible a la cobertura

vegetal, precipitación abundancia poblacional y ciertos factores edáficos descritos por Núñez (2007) tales como suelos profundos con altos índices de humedad y MO puesto que ambas áreas están ubicadas geográficamente en la planicie aluvial de la cuenca del Río Güey.

Similares resultados de diversidad han sido señalados en diferentes partes del mundo con diferentes usos y/o manejo del suelo (Varela-Benavides, 2018; Machado *et al.*, 2020).

Así mismo en el Cuadro 5, podemos apreciar que el valor de *IM* en las áreas deforestadas del

municipio Guaicapuro del estado Miranada fue superior en términos absolutos y también contradictorio ($IM=2,64$) puesto que el concepto original planteado por Bongers (1990) expresa en una escala de 1 hasta 5 que valores de *IM* cercanos al extremo inferior se corresponden con ambientes perturbados y los próximos al límite superior con entornos estables. Sin duda la deforestación es una actividad de enorme impacto ambiental, pero, de acuerdo Bloemers *et al.* (1997) en los trópicos el *IM* en muchos casos no declina cuando se incrementa la magnitud de la perturbación.

Por otra parte, los valores calculados de la

Cuadro 5. Valores promedios de índices de diversidad \pm desviación estándar, familia de madurez y de red trófica calculados para el Jardín Botánico “Baltasar Trujillo” y los sitios o entornos de comparación.

Índices	Sitio o entorno				Estadísticos		
	J. Botánico (2018)	J. Botánico (2021)	Herbazales	Áreas deforestadas	F*	H**	p
<i>D</i>	0,54 \pm 0,22 a	0,40 \pm 0,18 b	0,39 \pm 0,15 b	0,46 \pm 0,23 ab	-	20,35	<0,001
<i>H'</i>	0,84 \pm 0,40 b	1,30 \pm 0,42 a	1,27 \pm 0,32 a	1,08 \pm 0,53 ab	-	39,54	<0,001
<i>IM</i>	2,55 \pm 1,04 a	1,99 \pm 0,72 b	1,87 \pm 0,64 b	2,64 \pm 1,02 a	-	17,12	<0,001
<i>IM2-5</i>	3,89 \pm 0,27 a	3,63 \pm 0,56 a	2,93 \pm 0,75 b	3,98 \pm 0,50 a	-	39,21	<0,001
ΣIM	2,70 \pm 0,82 a	2,22 \pm 0,61 b	2,26 \pm 0,52 b	2,77 \pm 0,56 a	8,95	-	<0,001
<i>IPP</i>	3,09 \pm 0,61 a	2,92 \pm 0,53 a	2,63 \pm 0,41 b	3,08 \pm 0,18 a	-	24,37	<0,001
<i>IB</i>	0,21 \pm 1,43 c	2,11 \pm 3,76 b	7,92 \pm 8,24 a	2,04 \pm 3,44 b	-	80,73	<0,001
<i>IC</i>	1,89 \pm 13,48 c	3,53 \pm 7,48 b	11,21 \pm 12,43 a	12,35 \pm 28,15 ab	-	57,86	<0,001
<i>IE</i>	99,05 \pm 6,74 a	96,71 \pm 6,03 b	90,06 \pm 9,26 c	92,34 \pm 14,47 b	-	68,74	<0,001
<i>IS</i>	99,23 \pm 4,58 a	90,71 \pm 14,28 b	63,03 \pm 34,1 c	95,77 \pm 6,05 ab	-	81,19	<0,001

¹Las medias entre filas seguidas de la misma letra son estadísticamente iguales ($p>0,05$) de acuerdo a la prueba MDS (*ANAVAR) o de comparación de medias (rango) no paramétricas (**Kruskal-Wallis con H corregido) según sea el caso. **Leyenda.** (J. Botánico)=Jardín Botánico.

familia de índices de madurez y siguiendo los criterios de interpretación expuestos por Sánchez-Moreno y Ferris (2018) sugieren que los suelos en cada uno de los sitios en su conjunto muestran desde una rápida a equilibrada descomposición de la MO, mediana a alta fertilidad (enriquecidos), con moderadas perturbaciones ambientales y una baja a mediana presión de nematodos fitoparásitos (herbívoros).

En cuanto a los índices de la red trófica, el *IB* mostró diferencias altamente significativas ($p < 0,001$) en el Jardín Botánico (2018) y los herbazales (Cuadro 5). Estas diferencias, se deben a que estos fueron los sitios con la menor y mayor densidad poblacional de nematodos fungívoros, respectivamente. No obstante, valores de $IB < 30$ indican en términos generales una baja proporción de nematodos basales tipo *c-p* 2 y donde la condición de la red trófica del suelo de acuerdo a Ferris y Bongers (2009) está aparentemente preservada.

Un resultado similar al índice anterior mostró el *IC* (Cuadro 5), indicando que todos los sitios se caracterizaron (al ser interpretado el índice) por presentar poca participación fúngica en la mineralización de los nutrientes, un bajo secuestro del C en formas complejas del mismo y la dominancia de los nematodos bacterívoros con relación al resto de las formas libres presentes en cada uno de los suelos y/o condiciones ambientales evaluadas (Sánchez-Moreno y Ferris, 2018; Ghaderi y Hamzezarghani, 2020).

Por último, los valores de índices de enriquecimiento (*IE*) y estructura (*IS*) obtenidos de cada uno de los sitios y su correspondiente nube de puntos dentro de la representación gráfica (Cuadro 5; Figura 3) en su mayoría se encuentran en el cuadrante 'B' (Cuadro 2; Figura 3). Por tanto, estos resultados parecen respaldar la interpretación previamente obtenida con el triángulo *c-p* y la familia de índices de madurez. La

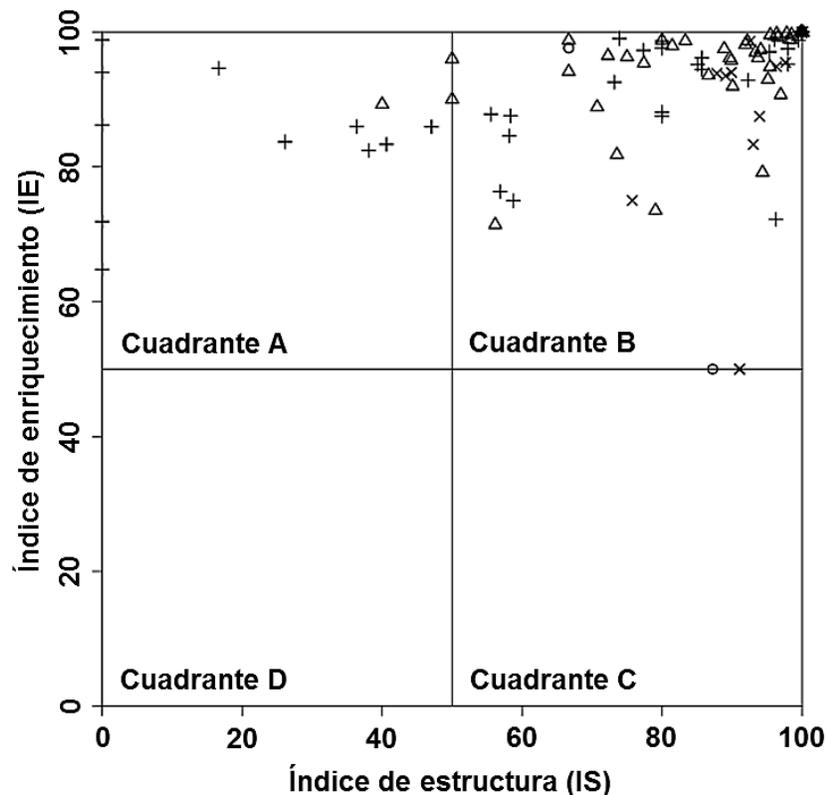


Figura 3. Condición de la red trófica del suelo en cada sitio o entorno muestreado con base a intersección de los índices *IE* e *IS* de acuerdo a Ferris *et al.* (2001). **Leyenda.** (o)=Jardín Botánico (2018), (Δ)=Jardín Botánico (2021), (+)=Herbazales y (x)=Áreas deforestadas del municipio Guaicapuro, estado Miranda.

Cuadro 6. Valores promedios de huella metabólica (μg de C/100 cm^3 de suelo) \pm desviación estándar compuesta (HMC), enriquecimiento (HME), estructura (HMS) y de los grupos tróficos de nematodos (bacterívoros, depredadores, fungívoros, herbívoros y omnívoros) edáficos estimados para el Jardín Botánico “Baltasar Trujillo” y los sitios o entornos de comparación.

Huella	Sitio o entorno				Estadísticos ¹		
	J. Botánico (2018)	J. Botánico (2021)	Herbazales	Áreas deforestadas	F*	H**	p
HMC	54,15 \pm 93,35 b	109,53 \pm 81,21 a	82,89 \pm 69,24 a	25,45 \pm 23,33 c	28,20	-	<0,001
HME	36,49 \pm 89,70 b	69,58 \pm 63,80 a	58,15 \pm 61,72 a	8,68 \pm 11,59 b	-	69,35	<0,001
HMS	9,88 \pm 9,91 b	20,49 \pm 21,00 a	14,13 \pm 25,78 b	8,30 \pm 8,50 b	-	19,46	<0,001
HMB	36,53 \pm 89,69 b	69,00 \pm 63,90 a	55,81 \pm 60,54 a	8,47 \pm 11,30 b	-	67,48	<0,001
HMD	1,76 \pm 2,95 b	2,47 \pm 2,71 a	0,84 \pm 1,73 b	0,90 \pm 1,73 b	-	24,30	<0,001
HMF	0,04 \pm 0,22 c	0,61 \pm 0,95 b	2,46 \pm 3,06 a	0,22 \pm 0,4 bc	-	76,14	<0,001
HMH	7,79 \pm 26,78 b	19,43 \pm 54,00 a	10,50 \pm 11,70 a	8,46 \pm 14,82 ab	-	21,97	<0,001
HMO	8,03 \pm 8,95 b	18,02 \pm 19,72 a	13,29 \pm 24,69 b	7,40 \pm 8,15 b	-	16,90	<0,001

¹Las medias entre filas seguidas de la misma letra son estadísticamente iguales ($p > 0,05$) de acuerdo a la prueba MDS (*ANAVAR) o de comparación de medias (rango) no paramétricas (**Kruskal-Wallis con H corregido) según sea el caso. **Leyenda.** (J. Botánico)=Jardín Botánico.

red trófica del suelo en el Jardín Botánico “Baltasar Trujillo”, herbazales y áreas deforestadas se caracterizan por presentar en general disturbios de bajos a moderados, N-enriquecidos, con canales de descomposición predominantemente bacterianos, una baja relación C/N y en procesos de maduración. Sin embargo, algunos valores de enriquecimiento y estructura provenientes de suelos donde se asientan los herbazales (planicie aluvial) se ubicaron en el cuadrante ‘A’, lo que sugiere una condición de disturbio alta y de red trófica perturbada en algunos puntos del muestreo (Cuadro 2; Figura 3) como lo señala Ferris *et al.*, (2001).

Huellas metabólicas

Se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0,001$) entre sitios o uso del suelo para cada huella metabólica estimada, especialmente, en las áreas deforestadas donde la

HMC con un valor de 25,45 de μg de C/100 cm^3 de suelo presentó una reducción muy significativa (53-77% con relación a los demás ambientes) del C consumido o utilizado por los nematodos edáficos en el flujo de materia y energía dentro de la red trófica (Cuadro 6).

En consecuencia, los servicios de mineralización de la MO y de supresión de plagas (Figura 4) se ven seriamente comprometidos en ambientes deforestados. Una posible explicación de porqué en este trabajo el *IM* de las áreas deforestada fue superior a los sitios donde está presente la cobertura vegetal (Jardín Botánico y herbazales) se debe al hecho de una menor participación de los nematodos bacterívoros (indicadores de enriquecimiento) en la mineralización de la MO (HMB en áreas deforestadas=8,47 μg de C/100 cm^3 de suelo). Los índices de madurez de acuerdo a Ferris (2010) y Varela-Benavides (2018) solo tienen una función

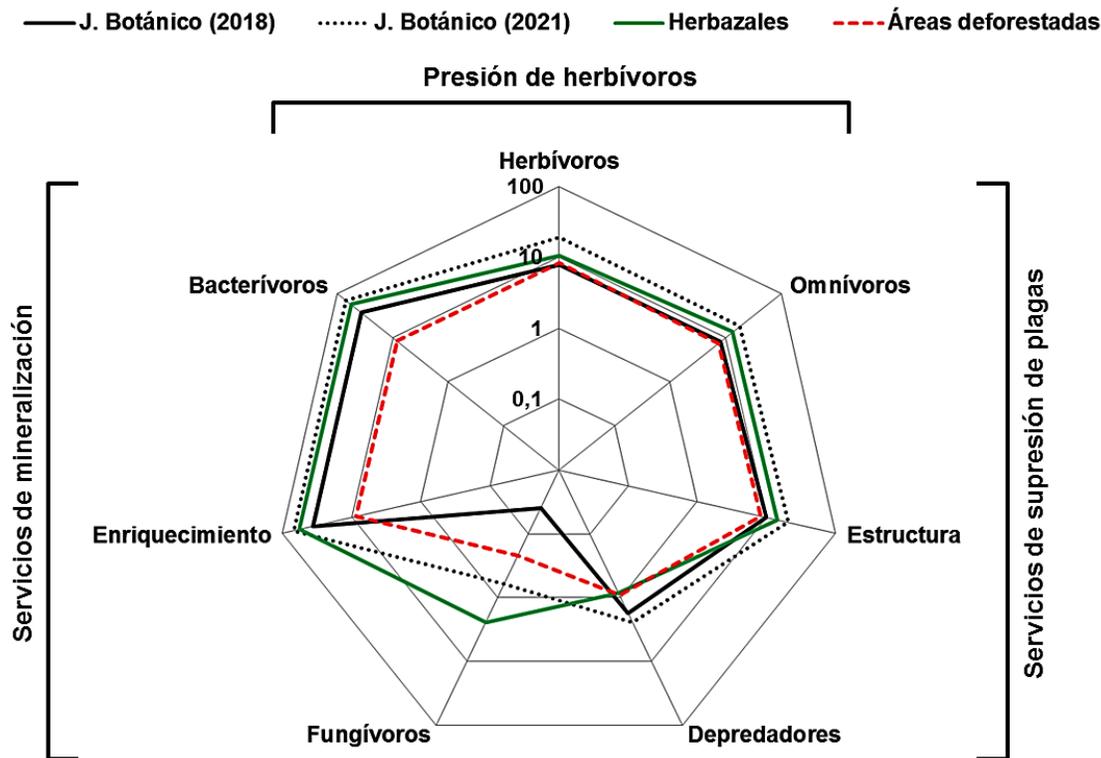


Figura 4. Diagrama de araña de las huellas metabólicas de los nematodos presentes en el Jardín Botánico “Baltasar Trujillo” así como en los sitios o entornos de comparación (el eje radial fue ajustado a una escala logarítmica de base 10). **Leyenda.** (J. Botánico)=Jardín Botánico.

descriptiva y no evalúan la cantidad de carbono (energía) usado por los nematodos como un indicador de la magnitud de los servicios prestados por estos dentro los ecosistemas.

La deforestación o la pérdida de la cobertura vegetal del suelo pueden conducir a una reducción significativa de la huella metabólica compuesta de los nematodos edáficos.

CONCLUSIONES

En el Jardín Botánico “Baltasar Trujillo” y en los sitios de comparación (herbazales y áreas deforestadas) los grupos tróficos de nematodos más abundantes en estricto orden fueron los herbívoros (parásitos de plantas) seguido por los bacterívoros, omnívoros, depredadores (carnívoros) y fungívoros.

La diversidad de nematodos en el Jardín Botánico “Baltasar Trujillo” de acuerdo a los resultados obtenidos fue baja en el periodo seco del 2018 ($H' = 0,84 \pm 0,40$) y moderada en el periodo lluvioso del 2021 ($H' = 1,30 \pm 0,42$).

RECOMENDACIONES

Realizar estudios similares a este, pero, con otras condiciones agroecológicas a fin de validar el uso de los nematodos como indicadores de perturbaciones ambientales en la red trófica del suelo debido a la actividad antrópica.

Evitar la deforestación intensiva en los sistemas de explotación agrícola pues conlleva a un deterioro de los servicios ecosistémicos prestados por los nematodos en el suelo.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor, desea expresar su agradecimiento a la Dra. Dinora Sánchez de la Unidad de Diversidad Biológica del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC) por la revisión crítica del manuscrito original y las pertinentes sugerencias suministradas. Así como, al Dr. Jesús Manzanilla actual Embajador de Venezuela en la República de Kenia por la donación de algunos insumos de laboratorio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Admasu, F., and Y. Admasu. 2020. Agro-ecological importance of nematodes (round worms). *Acta Scientific Agriculture* 4:156-162.
- Bloemers, G.F.; M. Hodda; P.J.D. Lamshead, J.H. Lawton and F.R. Wanless. 1997. The effects of forest disturbance on diversity of tropical oil nematodes. *Oecologia* 111: 575-582.
- Bongers, T. 1990. The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia* 83: 14-19.
- Cesarz, S.; P.B. Reich; S. Scheu; L. Ruess; M. Schaefer and N. Eisenhauer. 2015. Nematode functional guilds, not trophic groups, reflect shifts in soil food webs and processes in response to interacting global change factors. *Pedobiologia* 58: 23-32.
- Chaves, E. M.M. Echeverría; H.M. Álvarez y A. Salas. Clave para determinar géneros de nematodos del suelo de la República Argentina. Fundación de Historia Natural Félix de Azara. Centro de Ciencias Naturales y Antropológicas. Universidad Maimónides, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. 107 pp.
- Chen, G. and W. Sun. 2018. The role of botanical gardens in scientific research, conservation, and citizen science. *Plant Diversity* 40: 181-188.
- Correa, C., A. Solórzano y C. Vereá. 2014. La avifauna del Jardín Botánico Universitario "Baltasar Trujillo", Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. *Revista Venezolana de Ornitología* 4: 4-17.
- Crozzoli, R. 2014. La Nematología Agrícola en Venezuela. Ediciones de la Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay, estado Aragua. 500 p. (CD).
- Crozzoli, R. y D. Rivas. 1987. Uso de toallas faciales de producción nacional como alternativa al filtro de algodón en la limpieza de muestras nematológicas. *Fitopatología Venezolana* 1: 32-33.
- de Goede, R.G.M.; T. Bongers and C.H. Ettema. 1993. Graphical presentation and interpretation of nematode community structure: *c-p* triangles. *Mededelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen, Rijksuniversiteit Gent* 58: 743-750.
- Devi, G. and J. George. 2018. Predatory nematodes as bio-control agent against plant-parasitic nematode-A review. *Agricultural Reviews* 39: 55-61. DOI: 10.18805/ag.R-1715.
- Domene, X.; S. Mattana and S. Sánchez-Moreno. 2021. Biochar addition rate determines contrasting shifts in soil nematode trophic groups in outdoor mesocosms: An appraisal of underlying mechanisms. *Applied Soil Ecology* 158:1-11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103788>.
- Dupont, S.T.; H. Ferris and M. Van Horn. 2009. Effects of cover crop quality and quantity on nematode-based soil food webs and nutrient cycling. *Applied Soil Ecology* 41: 157-167.
- Ferris, H., T. Bongers and 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.
- Ferris H. 2010. Form and function: Metabolic footprints of nematodes in the soil food web. *European Journal of Soil Biology* 46: 97-104.

- Ferris, H. and T. Bongers. 2009. Indices developed specifically for analysis of nematode assemblages. In *Nematodes as environmental indicators*. Wilson, M. and T. Kakouli-Duarte (eds). Cab International. London, U.K. pp. 124-145.
- Ghaderi, R. and H. Hamzezarghani. 2020. Nematode community structure in potato fields of Kurdistan province, western Iran. *Journal Crop Protection* 10: 1-12.
- Gubin, A.I. and Sigareva, D.D. 2014. Species composition and structure of the communities of plant-parasitic and free-living soil nematodes in the greenhouses of botanical gardens of Ukraine. *Vestnik zoologii*, 48: 195-202.
- Hammer, Ø.; D. Harper and P. Ryan. 2001. Past: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Paleontologia Electronica* 4:1-9 (Programa estadístico).
- Landi, S.; G. d' Errico; R. Papini; E. Gargani; S. Simoncini, T. Amoriello, R. Ciccoritti and K. Carbone. 2019. Communities of plant-parasitic and free-living nematodes in Italian hop crops. *Redia* 102: 141-148.
- Lazarova, S.; D. Coyne; M.G. Rodríguez; B. Peteira and A. Ciancio. 2021. Functional diversity of soil nematodes in relation to the impact of agriculture-A review. *Diversity* 13:1-23. DOI: <https://doi.org/10.3390/d13020064>.
- Lu, Q.; T. Liu, N. Wang; Z. Dou, K. Wang and Y. Zuo. 2020. A review of soil nematodes as biological indicators for the assessment of soil health. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering* 7: 275-281.
- Machado, A.; M. Zagatto; F. Neto; S. da Silva and L. Júnior. Impact of crop management systems on soil nematode communities in South Brazil. *Scientia Agricola* 70: 1-7. DOI: 10.1590/1678-992X-2020-0088.
- Mattos, J.K.; S.P. Huang e C.M. Pimentel. Grupos tróficos da comunidade de nematóides do solo em oito sistemas de usos da terra nos Cerrados do Brasil Central. *Nematología Brasileira* 30: 267-273.
- Neher, D. and B.J. Darby. 2009. General community indices that can be used for analysis of nematode assemblages. In *Nematodes as environmental indicators*. Wilson, M. and T. Kakouli-Duarte (eds). Cab International. London, U.K. pp. 107-123.
- NEMAPLEX (The Nematode-Plant Expert Information System. A Virtual Encyclopedia on Soil and Plant Nematodes). 2021. Taxonomic Keys. Consultado 20 sep. 2021. Disponible en http://nemaplex.ucdavis.edu/Uppersmnus/nematamnu.htm#Taxonomic_keys.
- Núñez, Y. 2007. Relación suelo-paisaje en un sector de la cuenca alta del río Güey, correspondiente a la formación geológica Las Brisas. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía. UCV.
- Salas, A. and M.F. Achinelly. 2020. Community structure of soil nematodes associated with the rhizosphere of *Solanum lycopersicum* in a major production area in Argentina: A case study among agroecosystem types. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 20:43-54. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42729-019-00099-8>.
- Sánchez-Moreno, S. and H. Ferris. 2018. Nematode ecology and soil health. In *Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture*. Sikora, R.A., D. Coyne, J. Hallmann and P. Timper (eds.). CAB International. Boston, EUA. pp. 62-86.
- Sieriebriennikov, B.; H. Ferris and R.G.M de Goede. 2014. NINJA: An automated calculation system for nematode-based biological monitoring. *European Journal of Soil Biology* 61: 90-93.
- Tapias, Y.; B. Rivas; R. Barros. 2020. Caracterización de la comunidad de murciélagos del Jardín Botánico de Maracaibo, Zulia, Venezuela. *Anartia* 31:102-113.

- Thuo, A.K.; G.N. Karuku; J.W. Kimenju; G.M. Kariuki; P.K. Wendot and H. Malakeberhan. 2020. Factors influencing the relationship between nematode communities and edaphic factors on selected soil groups in Kenya: vertisols, cambisols and arenosols. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 23: 1-17.
- Varela-Benavides, I. 2018. Abundancia, diversidad y huella metabólica de comunidades de nematodos en diferentes zonas de vida en la Región Huetar Norte de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 66: 1709-1720.
- Vicente, T.F.; A.A. Montenegro; E.M. Pedrosa, R.V. Júnior; J.S. da Silva and U.E. Tavares. 2015. Community structure and spatial variability of soil nematodes in an alluvial soil in a semiarid region of Pernambuco state, Brazil. *Nematoda* 2:1-12. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/nematoda.08015>.
- Viloria, J.; Y. Nuñez; G. Machado; G. Elizalde y M. Pineda. 2009. Variación espacial del suelo y el paisaje en la cuenca alta del río Güey, Aragua, Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía (UCV)* 35: 67-78.
- Yang, B.; S. Banerjee; C. Herzog; A. Corona-Ramírez, P. Dahlin and M.G.A. van der Heijden. 2021. Impact of land use type and organic farming on the abundance, diversity, community composition and functional properties of soil nematode communities in vegetable farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 318:1-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107488>.
- Yeates, G. W.; T. Bongers; R.G.M de Goede, D.W. Freckman and S.S. Georgieva. Feeding habits in soil nematode families and genera- An outline for soil ecologists. *Journal of Nematology* 25: 315-331.