

## Nota técnica

# Evaluación de arvenses como hospedantes alternos de nematodos fitoparásitos en cafetales en Costa Rica

## Assessment of weeds as alternative hosts of plant-parasitic nematodes in coffee plantations in Costa Rica

Walter Peraza-Padilla<sup>2</sup>, Martha Orozco-Aceves<sup>3</sup>

### Resumen

Las arvenses pueden ser hospedantes alternos de nematodos fitoparásitos (NF); sin embargo, no existe una metodología que evalúe el riesgo fitosanitario de la presencia de estas en los cultivos. El objetivo de esta investigación fue determinar si las arvenses presentes en dos plantaciones de café (orgánico y convencional) constituyen un riesgo al ser hospedantes alternos de NF. El estudio se llevó a cabo en dos fincas localizadas en Aserri, San José, Costa Rica, durante agosto de 2010. En las plantaciones se identificaron las arvenses más importantes, se cuantificaron los nematodos de los géneros *Meloidogyne*, *Pratylenchus* y *Helicotylenchus* en suelo y raíz de las arvenses seleccionadas, y en los cafetos. Mediante análisis permutacional de varianzas, se determinaron los géneros de NF cuyas poblaciones en arvenses fueron significativamente diferentes de las de cafetos. Con base en estos resultados, las arvenses se clasificaron como: reservorio, trampa, u hospedante poco susceptible de NF. Este criterio de clasificación, además del ciclo de vida y tipo de parasitismo de los NF, fueron utilizados para asignar valores numéricos a las arvenses. Con los valores numéricos se calculó un Índice de Riesgo Fitosanitario (IRF), el cual presentó un valor máximo de 10 para la arvense *Oplismenus burnannii* en la finca orgánica, y un valor máximo de 24 para *Commelina diffusa*, *Emilia fosbergii*, *Delilia biflora* y *Spermacoce hirta*, en la finca convencional. Los resultados indican que la presencia de estas arvenses en cafetales puede constituir un riesgo potencial para los cafetos desde el punto de vista nematológico.

**Palabras clave:** *Helicotylenchus*, *Meloidogyne*, plantas hospederas, *Pratylenchus*.

### Abstract

There is potential for weeds to be alternative hosts of plant-parasitic nematodes (PPN), but a methodology that assesses the phytosanitary risk derived from the presence of weeds in plantations is not available. This research was conducted in order to determine if the presence of weeds in coffee plantations (organic and conventional) represented a phytosanitary risk due to their role as alternative hosts of PPN. The research was developed into two plantations

<sup>1</sup> Recibido: 8 de marzo, 2017. Aceptado: 8 de junio, 2017. Esta investigación formó parte del curso "Problema especial II" de la Maestría en Agricultura Ecológica de la Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional, Costa Rica.

<sup>2</sup> Universidad Nacional, Escuela de Ciencias Agrarias, Laboratorio de Nematología. Apartado 86-3000, Heredia, Costa Rica. [walter.peraza.padilla@una.cr](mailto:walter.peraza.padilla@una.cr) (autor para correspondencia).

<sup>3</sup> Universidad Nacional, Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas. Apartado 86-3000, Heredia, Costa Rica. [martha.orozco.aceves@una.cr](mailto:martha.orozco.aceves@una.cr)



located in Aserrí, San José, Costa Rica during August, 2010. The most important weeds were identified in the plantations, also nematodes of the genera *Meloidogyne*, *Pratylenchus* and *Helicotylenchus* were quantified in soil and roots from selected weeds and coffee plants. A permutational analysis of variance was executed in order to determine the genera of PPN that significantly differed from the ones found in weeds to the ones found in coffee plants. Based on these results, the weeds were classified as: reservoir, trap crop, or weak host of PPN. This classification criterion, in addition to life cycle and type of parasitism of the PPN were used to assign numerical values to the weeds. The values were used to calculate the Phytosanitary Risk Index (PRI) that acquired a maximum value of 10 for the weed *Piper umbellatum* in the organic plantation, and a maximum value of 24 for *Commelina diffusa*, *Emilia fosbergii*, *Spananthe paniculata*, *Delilia biflora*, and *Spermacoce hirta* in the conventional plantation. The results indicated that from a nematological perspective the presence of these weeds in coffee plantation could be a potential risk for coffee plants.

**Keywords:** *Helicotylenchus*, *Meloidogyne*, host plants, *Pratylenchus*.

## Introducción

Las arvenses (o malezas) son especies no deseadas en los cultivos agrícolas, incluyendo el cultivo del café, debido, entre otros aspectos, a que pueden ser hospedantes alternos de nematodos fitoparásitos (NF) (Babatola, 1980; Thomas et al., 2005; Castillo et al., 2008; Kokalis-Burelle y Roszkopf, 2012; Ntidi et al., 2012). No obstante, esta suposición puede no ser cierta para todas las arvenses, ya que existen especies que tienen efectos positivos en los agroecosistemas, por ejemplo, pueden ser empleadas como cultivos “trampa”, los cuales contribuyen a disminuir la densidad poblacional de NF en el cultivo principal (Thomas et al., 2005). Además, estas especies pueden favorecer la diversidad ecológica y proteger y mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo (Ordoñez et al., 2001; Ramos et al., 2014).

Existe un gran número de arvenses asociadas a cafetos en Costa Rica; sin embargo, las más frecuentemente encontradas en fincas cafetaleras y que presentan un alto índice de propagación son *Emilia fosbergii* Nicolson, *Paspalum conjugatum* P. J. Bergius, *Paspalum paniculatum* L. y *Commelina diffusa* Burm. f. (Mata-Pacheco, 1999). *Emilia fosbergii*, *P. conjugatum* y *P. paniculatum* son altamente competidoras en plantaciones de cafetos, mientras que *C. diffusa*, presenta interferencia muy baja con el cultivo, por lo que, su eliminación no sería necesaria y más bien se recomendaría para su manejo las podas (Salazar e Hincapié, 2007). Por otra parte, no existe información que indique si estas arvenses pueden ser reservorios de NF, por lo tanto, su ocurrencia en campos dedicados al cultivo de cafetos pueda constituir un riesgo fitosanitario, o por el contrario, podrían ser especies trampa, cuya presencia sea positiva para el desarrollo del cultivo.

Los NF que más problemas causan en plantaciones de café pertenecen a los géneros *Meloidogyne*, *Pratylenchus* y *Helicotylenchus* (Araya-Vargas, 1990; Araya, 1994; Peraza-Padilla, 2010; García, 2012). De especial importancia es el género *Meloidogyne*, causante de pérdidas de entre el 10 y el 70% en el rendimiento de los cultivos (Gómez y Rivera, 1987; Inomoto et al., 1998; Herrera y Marbán-Mendoza, 1999; Oliveira et al., 1999; Campos y Villain, 2005), y su amplia distribución en Costa Rica. Algunas de las especies de mayor relevancia son *M. incoginta* Kofoid y White 1919, *M. javanica* Treub 1885, *M. mayaguensis* Rammah y Hirschmann 1988, *M. arabicida* López y Salazar 1989 y *M. exigua* Goeldi 1892 (López y Salazar, 1989), esta última es la más patogénica y diseminada en plantaciones de café en el país. Además, estos nematodos agalladores parasitan una gran cantidad de arvenses (Singh, et al., 2010; Gharabadiyan et al., 2012; Kokalis-Burelle y Roszkopf, 2012; Ntidi et al., 2012).

En Costa Rica el control de arvenses en el cultivo del café toma importancia desde el punto de vista económico, ya que es una actividad que representa del 30 al 40% de los costos de producción, dependiendo del

tipo de manejo (Salazar e Hincapié, 2005; Salazar e Hincapié, 2007). En Costa Rica el café se produce bajo las modalidades: convencional, de bajos insumos y orgánica. En cada caso, el tipo de manejo tiene una fuerte influencia en la dinámica del sistema café-arvenses-nematodos fitoparásitos, así como en las acciones que se realicen para el control tanto de arvenses como de NF. Por estas razones, el objetivo de esta investigación fue determinar si las arvenses presentes en dos plantaciones de cafeto (orgánico y convencional) constituyen un riesgo fitosanitario al ser hospedantes alternos de nematodos fitoparásitos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Sítios de muestreo

Se seleccionaron dos fincas productoras de café (*Coffea arabica* L.), en el cantón de Aserrí, San José, Costa Rica. En ambos predios los suelos eran de tipo ultisol, los cuales se caracterizan por presentar baja fertilidad y en ocasiones problemas de acidez y altas concentraciones de aluminio intercambiable. La primer finca, localizada en Jocotal de Aserrí (09°47'41,2" latitud norte, 84°07'24,6" longitud oeste), y bajo manejo orgánico, ubicada en la zona de vida bosque muy húmedo premontano (Holdridge, 1982), con una altitud de 1358 m, precipitación media anual de 2000 a 4000 mm, temperatura media anual de 18 a 24 °C, relieve abrupto y pendiente del 60%. La finca tenía una superficie de 8 ha dedicadas desde hace 33 años a la producción de café, de los cuales los últimos 22 años se ha realizado de forma orgánica. El predio presentaba alta densidad de sombra proporcionada por árboles de cítricos, jocote (*Spondias purpurea* L.) y musáceas, la densidad de sombra era manejada manualmente. El suelo presentaba una cantidad importante de hojarasca y presencia de arvenses. El manejo de estas últimas, se realizaba mediante labores culturales como chapia.

La segunda finca, localizada en Los Mangos (09°49'31,6" latitud norte, 84°06'33,3" longitud oeste), Vuelta de Jorco, era manejada convencionalmente y estaba ubicada en la zona de vida bosque muy húmedo tropical transicional a premontano (Holdridge, 1982), presentaba una altitud de 1270 m, precipitación media anual de 2000 a 2500 mm, temperatura media de 17,5 a 22,5 °C y pendiente menor a 5%. La finca tenía una superficie de 10 ha y el café se ha producido de manera convencional por 35 años. En la parcela se manejaba la sombra (0-30%), que era proporcionada por árboles de jocote y musáceas distribuidas al azar. El manejo fitosanitario y nutricional del cultivo se realizó mediante aplicaciones de plaguicidas sintéticos y fertilizantes químicos, respectivamente.

### Selección de arvenses

En cada una de las fincas se estimó la dominancia, frecuencia y cubrimiento de arvenses según la escala de Braun-Blanquet modificada (Braun-Blanquet y Lalucat-Jo, 1979). Se ubicaron áreas homogéneas de arvenses, donde se realizó un inventario de todas las especies existentes. Una vez encontradas todas las especies, se procedió a asignarles categorías de cobertura a cada una de la siguiente manera: 1 = 10% de cobertura, 2 = 25%, 3 = 45 %, 4 = 65%, 5 = 85 % y 6 = 100%. A partir de estos criterios, se seleccionaron las seis arvenses que cumplieron con la categoría 6, es decir, las que presentaban mayor abundancia, frecuencia y cubrimiento (Figuras 1 y 2). Las especies seleccionadas se identificaron mediante claves pictóricas (Mata-Pacheco, 1999; Soto et al., 2004).

### Muestreo de nematodos fitoparásitos

Para determinar la densidad poblacional de los principales géneros de NF de importancia en la producción cafetalera (*Meloidogyne*, *Pratylenchus* y *Helicotylenchus*), se tomaron en cada finca muestras de suelo y raíz de tres



**Figura 1.** Principales seis arvenses encontradas en una parcela de cafeto orgánico localizada en Jocotal, Aserrí, Costa Rica. Agosto, 2010.

**Figure 1.** Six main weeds that were observed in an organic coffee plantation in Jocotal, Aserrí, Costa Rica. August, 2010.

1. *Vernonia patiens*-Asteraceae (Tuete), 2. *Piper umbellatum*-Piperaceae (Santa María), 3. *Commelina erecta*-Commelinaceae (Siempre viva), 4. *Montanoa hibiscifolia*-Asteraceae (Tora), 5. *Oplismenus burmannii*-Poaceae (Colchoncito), 6. *Clematis dioica*-Ranunculaceae (Chilillo).



**Figura 2.** Principales seis arvenses encontradas en una parcela de cafeto convencional en Los Mangos, Vuelta de Jorco, Aserrí, Costa Rica. Agosto, 2010.

**Figure 2.** Main six weeds that were observed in a conventional coffee plantation in Los Mangos, Vuelta de Jorco, Aserrí Costa Rica. August, 2010.

1. *Bidens pilosa*-Asteraceae (Mozotillo, Moriseco), 2. *Commelina diffusa*- Commelinaceae (Canutillo), 3. *Emilia fosbergii*-Astereceae (Pincelillo, Clavelillo), 4. *Delilia biflora*-Asteraceae (Lenteja), 5. *Spananthe paniculata*-Apiaceae (Carricilo), 6. *Spermacoe hirta*-Rubiaceae (Chiquizá).

cafetos y tres plantas de cada una de las seis arvenses seleccionadas al azar (siete especies vegetales (cafeto + seis arvenses) × tres plantas muestreadas × dos fincas = 42 muestras de suelo + 42 muestras de raíz). De cada planta se recolectó aproximadamente 1 kg suelo y 20 g de raíces jóvenes no lignificadas con presencia en algunos casos, de agallas o nodulaciones producidas por *Meloidogyne* sp. Las muestras se tomaron con una pala angosta, a una profundidad de entre 15 y 20 cm y se almacenaron en bolsas plásticas debidamente etiquetadas para su posterior procesamiento en el laboratorio de Nematología de la Universidad Nacional de Costa Rica.

### Extracción e identificación de nematodos fitoparásitos

Los NF se extrajeron de 100 g de suelo, proveniente de cada una de las arvenses y cafetos muestreados. Las muestras de suelo fueron homogeneizadas y cuarteadas previamente a la extracción. Las raíces muestreadas fueron lavadas cuidadosamente y picadas, para luego tomar submuestras de 10 g, las cuales se licuaron a alta velocidad por treinta segundos. Ambas muestras (suelo y raíz) fueron procesadas por el método de centrifugación-flotación (Jenkins, 1964). Los NF extraídos se contaron e identificaron mediante la observación en microscopio invertido de las características morfológicas y anatómicas. El reconocimiento de los NF se realizó mediante la clave pictórica de Mai y Lyon (1975). De todos los géneros de nematodos que se observaron en las muestras de suelo y raíz, se seleccionaron solo tres para continuar con la metodología, estos fueron: *Meloidogyne*, *Pratylenchus* y *Helicotylenchus*. Estos tres géneros se seleccionaron debido al riesgo que representan, pudiendo causar grandes pérdidas en los cultivos.

### Análisis de resultados

Con los datos de la cuantificación de los tres géneros de NF seleccionados, se calculó el Índice de Riesgo Fitosanitario (IRF) de cada una de las arvenses. Todos los análisis se realizaron por finca (convencional y orgánica). El IRF se construyó sumando valores numéricos asignados a las arvenses, como se describe en el Cuadro 1. Los valores numéricos se definieron tomando en consideración los siguientes aspectos: 1) densidad poblacional; 2) aspectos clave de los ciclos de vida (por ejemplo, estadios infectivos) y, 3) presencia en suelo y/o raíz, de los géneros de NF seleccionados. El IRF puede adquirir valores que van de cero a un máximo de 24, entre más alto sea el valor del IRF, mayor será el riesgo de la presencia de una arvense en un cafetal, desde el punto de vista nematológico. Para signar los valores numéricos se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- La escala de valores que puede tomar *Pratylenchus* para suelo y para raíz es la misma (Cuadro 1). Este nematodo es un endoparásito migratorio, su presencia en raíces de arvenses representa un riesgo alto para el cultivo, ya que en este caso, se confirma que dichas arvenses son hospedantes alternos de NF. La presencia de *Pratylenchus* en suelo también se traduce en riesgos fitosanitarios para el cultivo, ya que todos los estadios juveniles presentes en suelo, son infectivos, con la capacidad de migrar de las arvenses hacia el cultivo principal, y finalmente lograr la infección.

- La escala de valores que puede tomar *Meloidogyne* para suelo y para raíz no es la misma (Cuadro 1). Este nematodo es un endoparásito sedentario, su presencia en raíces de arvenses representa un riesgo alto para el cultivo, pero únicamente el estadio juvenil J<sub>2</sub>, presente en suelo, es infectivo. Por lo tanto, el riesgo asociado a su presencia en suelo es menor en comparación con raíz, de aquí que se de mayor peso a su presencia en raíz en comparación con suelo.

- *Helicotylenchus* es un ectoparásito, por esto es más probable observarlo en suelo en comparación con raíz, y por esta razón no existen valores asignados a *Helicotylenchus* en raíz en el Cuadro 1. El riesgo de la presencia de este nematodo está asociado directamente a la densidad poblacional presente en suelo.

**Cuadro 1.** Escala de valores asignados a las diversas condiciones que puede adquirir una arvense con base en la población de nematodos fitoparásitos. Aserrí, Costa Rica. 2010.

**Table 1.** Scale of values assigned to diverse conditions that weed can acquire based on the population of plant-parasitic nematodes of the genera *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, and *Helicotylenchus*. Aserrí, Costa Rica. 2010.

	Número de individuos en raíz de arvenses comparada con la de cafetos				Número de individuos en suelo de arvenses comparado con el de cafetos			
<i>Meloidogyne</i>	Mayor	Igual	Menor	Ausencia	Mayor	Igual	Menor	Ausencia
Valor	4 (R)	6 (T)	2 (HPS)	-1 (A)	2 (R)	3 (T)	1 (HPS)	-1 (A)
<i>Pratylenchus</i>	Mayor	Igual	Menor	Ausencia	Mayor	Igual	Menor	Ausencia
Valor	4 (R)	6 (T)	2 (HPS)	-1 (A)	4 (R)	6 (T)	2 (HPS)	-1 (A)
<i>Helicotylenchus</i>	No aplica (ectoparásito)				Mayor	Igual	Menor	Ausencia
Valor					2 (R)	3 (T)	1 (HPS)	-1 (A)

Estos valores fueron utilizados para calcular el Índice de Riesgo Fitosanitario / This values were used to calculate the Phytosanitary Risk Index.

R: reservorio, T: trampa, HSP: hospedante poco susceptible / R: reservoir, T: trap crop, HSP: weak host.

Cuando alguno de los géneros seleccionados está ausente en suelo y/o raíz, se asigna un valor de -1, con la finalidad de valorar de manera positiva dicha ausencia, produciendo una disminución en el valor del IRF.

Para determinar diferencias en la densidad poblacional de los NF asociados a arvenses en comparación con cafetos, se realizaron análisis permutacionales de varianza (PERMANOVAs) univariados. A pesar de que PERMANOVA es un método multivariado, puede ser utilizado para análisis univariado. PERMANOVA aplicado a una variable de respuesta y usando la distancia Euclidiana produce la tradicional distribución univariada de Fisher (F de Fisher) (Anderson, 2010). Para realizar todos los PERMANOVAs se utilizó el método de permutación de datos crudos sin restricción (Unrestricted permutation of raw data). Se aplicó la suma de cuadrados parcial (Tipo III) y se utilizó la distancia Euclidiana para construir las matrices de semejanza. Para calcular el valor de *P* se realizaron tests de Monte Carlo, los cuales se utilizan en caso de que el número de repeticiones sea bajo. Para realizar los análisis estadísticos se utilizó el software PRIMER v6 +PERMANOVA (PRIMER-E Ltd).

Con base en la diferencia en las densidades de población de NF, una arvense se consideró reservorio (R) de un género dado de NF, si el número de individuos asociado a dicha arvense (en suelo y/o raíz) no fue significativamente diferente al presente en cafetos. Una arvense se consideró trampa (T) de un género dado de NF, si el número de individuos asociado a dicha arvense fue significativamente mayor ( $P < 0,05$ ) con respecto a cafetos. Una arvense se consideró hospedante poco susceptible (HPS) de un género dado de NF, si el número de individuos asociado a dicha arvense fue significativamente menor ( $P < 0,05$ ) con respecto a cafetos.

Se asignaron valores máximos (por ejemplo 6 o 3) a la condición R (Cuadro 1), ya que al no haber diferencias significativas en el número de NF cuantificados en la arvense con respecto a cafetos, se infiere que los NF no discriminan entre una u otra fuente de alimento, por lo tanto, las arvenses R pueden constituir una fuente de inóculo de NF que podrían en algún momento migrar hacia las raíces de las plantas de café. Se designaron valores intermedios (4 o 2) a la condición T (Cuadro 1), ya que se infiere que los NF tienen preferencia nutricional por estas arvenses en comparación con cafetos, disminuyendo de esta manera el riesgo potencial de infección de los cafetos. Por último, se asignaron valores mínimos (1 o 2) a las arvenses HPS, ya que al presentar bajas densidades de NF, el riesgo potencial que representan como fuente de inóculo para infectar cafetos, es bajo.

## Resultados

En la finca orgánica se identificaron en total nueve géneros de nematodos (*Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Helicotylenchus*, *Aphelenchus*, *Aphelenchoides*, *Tylenchus*, *Psilenchus*, *Ditylenchus* y *Criconemoides*), mientras que en la finca convencional se identificaron siete géneros (*Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Helicotylenchus*, *Aphelenchus*, *Aphelenchoides*, *Tylenchus* y *Ditylenchus*). En ambos sistemas de producción se detectó la presencia de los géneros *Meloidogyne*, *Pratylenchus* (detectado en la finca orgánica en suelo de una única arvense) y *Helicotylenchus*, los cuales son de importancia fitosanitaria en el cultivo del café. Estos tres géneros de NF pueden generar pérdidas y ser de importancia en la producción del café, por lo tanto, fueron seleccionados como indicadores de riesgo fitosanitario asociado a arvenses y utilizados para calcular el Índice de Riesgo Fitosanitario (IRF).

En la finca orgánica, las poblaciones de los géneros *Meloidogyne*, *Pratylenchus* y *Helicotylenchus* provenientes de suelo de arvenses, no difirieron significativamente de las de suelo de cafetos (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Número promedio ( $n=3$  +EE) de nematodos fitoparásitos asociados a suelo de cafetos y de seis arvenses presentes en un cafetal con manejo orgánico en Jocotal de Aserrí, San José, Costa Rica. Agosto, 2010.

**Table 2.** Mean number ( $n=3$  +SE) of plant-parasitic nematodes associated with soil from coffee plants and six weeds that grew in an organic coffee plantation in Jocotal de Aserrí, San José, Costa Rica. August, 2010.

	<i>Coffea arabica</i>	<i>Vernonia patiens</i>	<i>Piper umbellatum</i>	<i>Commelina erecta</i>	<i>Montanoa hibiscifolia</i>	<i>Oplismenus burmannii</i>	<i>Clematis dioica</i>
<i>Meloidogyne</i>	132,7 (69,9)	1,7 (0,88)	232,3 (114,7)	5,3 (5,3)	37,3 (20,8)	34,7 (18,7)	150 (21)
<i>Helicotylenchus</i>	66,7 (62,7)	105,3 (87,9)	366,7 (329)	8 (0)	274,7 (217,4)	5,3 (5,3)	0
<i>Pratylenchus</i>	0	0	0	2,7 (2,7)	0	0	0

En raíz, las poblaciones de *Meloidogyne* y *Helicotylenchus* difirieron significativamente en arvenses con respecto a las poblaciones presentes en cafetos. Las poblaciones de *Meloidogyne* en raíces de cafetos fueron diferentes de las poblaciones presentes en raíces de las arvenses *V. patiens* ( $t = 3,3$ ;  $P = 0,03$ ), *C. erecta* ( $t = 5,3$ ;  $P = 0,007$ ), *M. hibiscifolia* ( $t = 6,6$ ;  $P = 0,002$ ), *O. burmannii* ( $t = 3,3$ ;  $P = 0,03$ ) y *C. dioica* ( $t = 3,9$ ;  $P = 0,02$ ). Las poblaciones de *Meloidogyne* en raíces de *V. patiens*, *C. erecta*, *M. hibiscifolia* y *O. burmannii* fueron menores a las presentes en raíces de café, mientras que la población de *Meloidogyne* asociada a raíces de *C. dioica* fue mayor a la presente en raíces de cafetos (Cuadro 3). Las poblaciones de *Helicotylenchus* en raíces de cafetos difirieron de las poblaciones en raíces de *P. umbellatum* ( $t = 4,4$ ;  $P = 0,014$ ) y *M. hibiscifolia* ( $t = 3,1$ ;  $P = 0,03$ ). La población de *Helicotylenchus* en raíces de *P. umbellatum* fue mayor a la presente en raíces de cafetos, mientras que la población de *Helicotylenchus* presente en *M. hibiscifolia* fue menor a la presente en raíces de cafetos (Cuadro 3).

En la finca convencional, la población de *Helicotylenchus* difirió significativamente en suelo de arvenses con respecto a suelo de cafetos. Específicamente, la población de *Helicotylenchus* en suelo de cafetos fue menor a la población en suelo de *B. pilosa* ( $t = 7,7$ ;  $P = 0,0015$ ) (Cuadro 4). En raíces, a pesar de que las poblaciones de nematodos del género *Pratylenchus* fueron relativamente altas (Cuadro 5), estas diferencias no fueron significativas cuando se compararon con las poblaciones presentes en cafetos.

Las arvenses estudiadas presentaron condiciones de R, T, o HSP más heterogéneas en la finca orgánica en comparación con la finca convencional, lo cual se tradujo en IRF más bajos (Cuadros 6 y 7); sin embargo, existió predominancia de la condición R en ambas fincas. En la finca orgánica el IRF adquirió un valor mínimo de 6 para *V. patiens*, *M. hibiscifolia* y *O. burmannii*, y un valor máximo de 10 para *P. umbellatum* (Cuadro 6), lo que indica

**Cuadro 3.** Número promedio ( $n=3$  +EE) de nematodos fitoparásitos asociados a raíces de cafetos y de seis arvenses presentes en un cafetal con manejo orgánico en Jocotal de Aserrí, San José, Costa Rica. Agosto, 2010.

**Table 3.** Mean number ( $n=3$  +SE) of plant-parasitic nematodes associated with roots from coffee plants and six weeds that grew in an organic coffee plantation in Jocotal de Aserrí, San José, Costa Rica. August, 2010.

	<i>Coffea arabica</i>	<i>Vernonia patiens</i>	<i>Piper umbellatum</i>	<i>Commelina erecta</i>	<i>Montanoa hibiscifolia</i>	<i>Oplismenus burmannii</i>	<i>Clematis dioica</i>
<i>Meloidogyne</i>	85,3 (22,8)	13,7 (6,4)	186,3 (135,4)	2 (1,2)	0	10 (8,5)	212,3 (11,1)
<i>Helicotylenchus</i>	69,7 (32,8)	165,3 (14,9)	733,3 (202,1)	12,7 (1,3)	0	5,7 (5,7)	62,3 (62,3)
<i>Pratylenchus</i>	0	0	0	0	6,7 (6,7)	0	0

**Cuadro 4.** Número promedio ( $n=3$  +EE) de nematodos fitoparásitos asociados a suelo de cafetos y de seis arvenses presentes en un cafetal con manejo convencional en Los Mangos, Vuelta de Jorco, Aserrí, Costa Rica. Agosto, 2010.

**Table 4.** Mean number ( $n=3$  +EE) of plant-parasitic nematodes associated with soil from coffee plants and six weeds that grew in a conventional coffee plantation in Los Mangos, Vuelta de Jorco, Aserrí, Costa Rica. August, 2010.

	<i>Coffea arabica</i>	<i>Bidens pilosa</i>	<i>Commelina diffusa</i>	<i>Emilia fosbergii</i>	<i>Delilia biflora</i>	<i>Spananthe paniculata</i>	<i>Spermacoce hirta</i>
<i>Meloidogyne</i>	17,7 (13,9)	0	0	0	0	0	5,3 (5,3)
<i>Helicotylenchus</i>	5,3 (2,7)	85,3 (2,7)	0	2,7 (2,7)	0	0	0
<i>Pratylenchus</i>	25,7 (25,7)	2,7 (2,7)	0	5,3 (5,4)	0	16 (4)	0

**Cuadro 5.** Número promedio ( $n=3$  +EE) de nematodos fitoparásitos asociados a raíces de cafetos y de seis arvenses presentes en un cafetal con manejo convencional en Los Mangos, Vuelta de Jorco, Aserrí, San José, Costa Rica. Agosto, 2010.

**Table 5.** Mean number ( $n=3$  +SE) of plant-parasitic nematodes associated with roots from coffee plants and six weeds that grew in a conventional coffee plantation in Los Mangos, Vuelta de Jorco, Aserrí, San José, Costa Rica. August, 2010.

	<i>Coffea arabica</i>	<i>Bidens pilosa</i>	<i>Commelina diffusa</i>	<i>Emilia fosbergii</i>	<i>Delilia biflora</i>	<i>Spananthe paniculata</i>	<i>Spermacoce hirta</i>
<i>Meloidogyne</i>	40 (20,3)	8 (4,62)	0	0	5,3 (5,3)	0	0
<i>Helicotylenchus</i>	2,7 (2,7)	0	0	53,3 (26,7)	0	0	2,7 (2,7)
<i>Pratylenchus</i>	58,7 (34,7)	0	5,3 (2,7)	0	0	437,0 (304,8)	0

que de las seis arvenses estudiadas, la presencia de esta última en cafetales constituye un riesgo mayor desde el punto de vista nematológico (Cuadro 6). El riesgo de la presencia de esta arvense estuvo mayormente asociado a su condición R para *Meloidogyne*. En la finca convencional el IRF adquirió un valor mínimo de 22 para *B. pilosa* y un valor de 24 (máximo valor que puede adquirir el IRF) para el resto de las arvenses estudiadas, esto indica que la presencia de cualquiera de estas últimas, puede constituir un riesgo potencial para los cafetos desde el punto de vista nematológico (Cuadro 7).

## Discusión

En las dos fincas estudiadas; orgánica y convencional, los tres géneros de mayor importancia fitosanitaria en cafetos para Costa Rica; *Meloidogyne*, *Pratylenchus* y *Helicotylenchus* (Araya-Vargas, 1990; Araya, 1994; Peraza-

**Cuadro 6.** Índice de Riesgo Fitosanitario calculado a partir de la determinación de la condición\* (R, T, HPS, A, NA) de las arvenses estudiadas en un cafetal con manejo orgánico, Jocotal de Aserrí, San José, Costa Rica. Agosto, 2010.

**Table 6.** Phytosanitary Risk Index calculated by assigning conditions\* (R, T, WH, A, NA) to the studied weeds in an organic coffee plantation in Jocotal de Aserrí, San José, Costa Rica. August, 2010.

	<i>Vernonia patiens</i>		<i>Piper umbellatum</i>		<i>Commelina erecta</i>		<i>Montanoa hibiscifolia</i>		<i>Oplismenus burmannii</i>		<i>Clematis dioica</i>	
	Suelo	Raíz	Suelo	Raíz	Suelo	Raíz	Suelo	Raíz	Suelo	Raíz	Suelo	Raíz
<i>Meloidogyne</i>	R (3)	HPS (2)	R (3)	R (6)	R (3)	HPS (2)	R (3)	HPS (2)	R (3)	HPS (2)	R (3)	CT (4)
<i>Helicotylenchus</i>	R (3)	NA	R (3)	NA	R (3)	NA	R (3)	NA	R (3)	NA	R (3)	NA
<i>Pratylenchus</i>	A (-1)	A (-1)	A (-1)	A (-1)	ND(1)**	A (-1)	A (-1)	A (-1)	A (-1)	A (-1)	A (-1)	A (-1)
Sumatoria	5	1	5	5	7	1	5	1	5	1	5	3
<b>***IRF=</b>												
<b>Σsuelo+Σraíz</b>	<b>6</b>		<b>10</b>		<b>8</b>		<b>6</b>		<b>6</b>		<b>8</b>	

\*Condición de las arvenses encontradas en este estudio: R (reservorio), T (trampa), HPS (hospedante poco susceptible), A (ausente), NA (no aplica). La condición se asignó con base en el número de nematodos fitoparásitos presentes en suelo y raíces de arvenses en comparación con el número de nematodos fitoparásitos presentes en suelo y raíz de cafetos / Assigned condition to weeds during the study: R (reservoir), T (trap crop), WH (weak host), A (absent), NA (not applicable). The condition was assigned according to the number of plant-parasitic nematodes quantified in soil and roots from weeds, as compared to the number of plant-parasitic nematodes quantified in soil and roots from coffee plants.

\*\*No determinado, ya que *Pratylenchus* estuvo presente en suelo de *C. erecta* pero su densidad poblacional fue muy baja, en este caso se asignó un valor de 1 / Not determined, since *Pratylenchus* was present in soil but presented a low density, in this case a value of 1 was assigned.

\*\*\*Índice de Riesgo Fitosanitario (IRF): indica el riesgo de la presencia de una arvense en un cultivo, desde el punto de vista nematológico. Entre más alto sea el valor de IRF, mayor será el riesgo fitosanitario de la presencia de la arvense en el cultivo / Phytosanitary Risk Index (PRI): indicates from a nematological perspective the risk of the presence of a weed for coffee plants. A higher PRI indicates a greater phytosanitary risk that in plantations will be the presence of weed.

**Cuadro 7.** Índice de Riesgo Fitosanitario calculado a partir de la determinación de la condición\* (R, T o HPS, A\*, NA) de las arvenses estudiadas en un cafetal con manejo convencional en Los Mangos, Vuelta de Jorco, Aserrí, San José, Costa Rica. Agosto, 2010.

**Table 7.** Phytosanitary Risk Index was calculated by assigning conditions\* (R, T, WH, A, NA) to the studied weeds in a conventional coffee plantation in Los Mangos, Vuelta de Jorco, Aserrí, San José, Costa Rica. August, 2010.

	<i>Bidens pilosa</i>		<i>Commelina diffusa</i>		<i>Emilia fosbergii</i>		<i>Spananthe paniculata</i>		<i>Delilia biflora</i>		<i>Spermacoce hirta</i>	
	Suelo	Raíz	Suelo	Raíz	Suelo	Raíz	Suelo	Raíz	Suelo	Raíz	Suelo	Raíz
<i>Meloidogyne</i>	R (3)	R (6)	R (3)	R (6)	R (3)	R (6)	R (3)	R (6)	R (3)	R (6)	R (3)	R (6)
<i>Helicotylenchus</i>	HPS (1)	NA	R (3)	NA	R (3)	NA	R (3)	NA	R (3)	NA	R (3)	NA
<i>Pratylenchus</i>	R (6)	R (6)	R (6)	R (6)	R (6)	R (6)	R (6)	R (6)	R (6)	R (6)	R (6)	R (6)
Sumatoria	10	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
<b>**IRF=Σsuelo+</b>												
<b>Σraíz</b>	<b>22</b>		<b>24</b>		<b>24</b>		<b>24</b>		<b>24</b>		<b>24</b>	

\*Condición de las arvenses encontradas en este estudio: R (reservorio), T (trampa), HPS (hospedante poco susceptible), A (ausente), NA (no aplica). La condición se asignó con base en el número de nematodos fitoparásitos presentes en suelo y raíces de arvenses en comparación con el número de nematodos fitoparásitos presentes en suelo y raíz de cafetos / Assigned condition of weeds assigned during the study: R (reservoir), T (trap crop), WH (weak host), A (absent), NA (not applicable). The condition was assigned according to the number of plant-parasitic nematodes quantified in soil and roots from weeds, as compared to the number of plant-parasitic nematodes quantified in soil and roots from coffee plants.

\*\*Índice de Riesgo Fitosanitario (IRF): Indica el riesgo de la presencia de una arvense en un cultivo, desde el punto de vista nematológico. Entre más alto sea el valor de IRF, mayor será el riesgo fitosanitario de la presencia de la arvense en el cultivo / Phytosanitary Risk Index (PRI): indicates from a nematological perspective the risk of presence of a weed for coffee plants. A higher PRI indicates a greater phytosanitary risk that in plantations will be the presence of weed.

Padilla, 2010; García, 2012) se encontraron asociados a suelo y/o raíces de las arvenses seleccionadas. Las arvenses presentaron condiciones R, T y HPS variables, y esta condición difirió en suelo y raíz para una misma arvense. Por ejemplo, *V. patiens* presente en la finca orgánica fue clasificada como R de acuerdo con el número de individuos de *Meloidogyne* cuantificados en suelo, mientras que, de acuerdo con el número de individuos del mismo género cuantificados en raíz, la misma arvense fue clasificada como HPS. La diferencia en la condición R, T y HPS de acuerdo con el número de NF en suelo y raíz tiene su origen en aspectos de la biología de los nematodos (por ejemplo, el ciclo de vida), y la interacción nematodo-arvense (por ejemplo, el tipo de parasitismo).

La densidad de NF en suelo está relacionada con la liberación de sustancias químicas (exudados) a través de las raíces, las cuales constituyen atrayentes de NF hacia la planta (Curtis, 2008; Rasmann et al., 2012; Dong et al., 2014). Este fenómeno podría hacer que una arvense adquiriera una condición R o T con base en un número alto de NF en suelo. Por otro lado, la densidad de NF en raíz está directamente relacionada con la susceptibilidad de la arvense al ataque de NF, la condición nutricional de la planta, la densidad poblacional en el suelo, el ciclo de vida del NF y las condiciones ambientales en un momento dado (Melakeberhan et al., 1997; Coyne et al., 2004; Shelton y Bedenes-Pérez, 2006). Una baja susceptibilidad a la infección por NF es determinante para que una arvense sea HPS con base en un número bajo de NF en raíz. Los resultados del presente trabajo indican que para establecer la condición de hospedante alterno de NF de una arvense, se deben cuantificar las poblaciones de NF tanto en suelo como en raíz, ya que existen especies de nematodos endoparásitos (sedentarios o migratorios) que completan su ciclo de vida a nivel radicular, y calcular el número de NF únicamente en suelo o en raíz, puede conducir a resultados incompletos.

Las arvenses presentes tanto en la finca orgánica como en la convencional, adquirieron condiciones R, T y HPS diversas, por ejemplo, en la finca orgánica, *V. patiens*, *C. erecta* y *M. hibiscifolia* fueron clasificadas como HPS con base en el número de individuos de *Meloidogyne* presentes en raíz. En esta misma finca, *C. dioica* adquirió la condición de T para *Meloidogyne*, debido al alto número de individuos presentes en raíz. Con base en la información anterior, las arvenses mencionadas podrían constituir un riesgo bajo desde el punto de vista nematológico para el cultivo principal e intervenir más bien, en la regulación y control de poblaciones de NF. Además, en el caso de *C. erecta*, se considera una especie que no compite con el cultivo de café por nutrientes, e incluso podría utilizarse como cobertura en las plantaciones (Mata-Pacheco, 1999; Salazar e Hincapié, 2007). En la finca convencional todas las arvenses estudiadas fueron clasificadas como R para los tres géneros de NF de importancia en cafetos, por lo tanto, su presencia podría resultar en un riesgo potencial desde el punto de vista nematológico para el cultivo principal. Arvenses como *C. diffusa* y *B. pilosa*, que podrían ser utilizadas como coberturas en el cultivo de café (Mata-Pacheco, 1999; Salazar e Hincapié, 2007), deben utilizarse con precaución, sobre todo en parcelas con historial de problemas con nematodos. Por otro lado, *E. fosbergii* además de ser reservorio de NF, se clasifica como especie competidora por nutrientes (Mata-Pacheco, 1999; Salazar e Hincapié, 2007), estas dos razones justifican ampliamente su eliminación de los cafetales.

Es importante discutir sobre las condiciones T y HPS que puede presentar una arvense. Se reconoce que las arvenses T son especies vegetales que se establecen en conjunto con el cultivo principal para atraer nematodos y de esta manera protegerlo (Hokkanen, 1991). Existe poca información con respecto al uso y eficiencia de las arvenses T, pero en este estudio se estableció el criterio para clasificar a una arvense bajo este escenario, es decir, cuando dicha arvense presenta altas densidades de NF en suelo y/o raíz con respecto al cultivo principal. Por ejemplo, en la finca orgánica *C. dioica* presentó la condición T para *Meloidogyne*, debido al alto número de individuos en raíz en comparación con los que se encontraron en cafetos.

La presencia de arvenses T podría ser positiva para la plantación desde el punto de vista fitosanitario. Sin embargo, esta hipótesis debe ser tomada con reserva hasta ser confirmada, ya que de otra manera la existencia de arvenses T en un cultivo, constituiría una fuente abundante de inóculo con potencial de infectar el sistema radical del cultivo.

La presencia de arvenses HPS ha sido descrita como positiva, ya que actúan como especies supresivas al evitar la infección y reproducción de NF en el cultivo (Wang, et al., 2002; Hooks, et al., 2010). Por ejemplo, en la finca orgánica, *M. hibiscifolia* adquirió la condición HPS para *Meloidogyne*, debido a un número bajo de individuos en raíces con respecto a cafetos. En este mismo sistema productivo, *C. erecta* adquirió la condición HPS por la presencia de un número bajo de *Meloidogyne* en suelo. El fenómeno de susceptibilidad se presenta en la planta como tal, por lo tanto, en este último ejemplo un número bajo de NF en suelo se puede atribuir a un efecto atrayente poco eficiente por parte de los exudados radicales producidos por la arvense. Esta situación se traduce en una baja atracción de NF hacia la zona radical y por consiguiente una baja densidad poblacional de los mismos (Dong, et al., 2014).

El IRF es de utilidad ya que, combina las condiciones R, T y HPS de una arvense dada para producir un único valor numérico, este índice adquiere un valor más alto entre mayor sea el riesgo nematológico de la presencia de una arvense en el cultivo de café. Las arvenses presentes en la finca orgánica presentaron IRF más bajos (IRF de 6 a 10) en comparación con las arvenses presentes en la finca convencional (IRF de 22 a 24), donde cinco de las seis arvenses estudiadas adquirieron el valor máximo que el IRF puede tomar (24), lo que implica que existe mayor riesgo nematológico asociado a las arvenses en la finca convencional en comparación con las arvenses presentes en la finca orgánica. Esto resulta lógico, ya que uno de los principios del manejo orgánico de un agroecosistema es el incremento de la diversidad vegetal, principalmente de especies benéficas que tienen efectos negativos sobre patógenos y parásitos. En la finca convencional, es posible que el manejo, el cual incluye uso intensivo de agroquímicos (herbicidas), tenga efectos sobre la diversidad vegetal, produciendo la selección de arvenses agresivas, altamente competitivas por nutrientes con el cultivo principal y que sean hospedantes de plagas y patógenos, incluyendo NF.

En la finca orgánica se observó el siguiente patrón de riesgo nematológico (de mayor a menor) de la presencia de las arvenses seleccionadas con base en el IRF (valor entre paréntesis): *P. umbellatum* (10) > *C. erecta* (8) = *C. dioica* (8) > *V. patiens* (6) = *M. hibiscifolia* (6) = *O. burmannii* (6). En la finca convencional el riesgo nematológico de las arvenses seleccionadas presentó el siguiente patrón: *C. diffusa* (24) = *E. fosbergii* (24) = *D. biflora* (24) = *S. hirta* (24) = *S. paniculata* (24) >> *B. pilosa* (22). El patrón anterior indica que en la finca convencional debe existir un manejo cuidadoso, intensivo, tendiente a eliminar las arvenses, ya que estas constituyen un riesgo para el cultivo principal desde el punto de vista nematológico. Por otro lado, en la finca orgánica el riesgo asociado a la presencia de arvenses es bajo-medio, entonces las arvenses pueden manejarse en lugar de eliminarse, incluso algunas arvenses con IRF bajo (por ejemplo, *V. patiens*, *M. hibiscifolia*, u *O. burmannii*) podrían utilizarse como coberturas en los cafetales.

## Conclusiones

En la finca con manejo orgánico se observaron arvenses con una mayor variedad de condiciones T, R y HPS, lo cual se tradujo en IRF menores, en comparación con la finca con manejo convencional, donde predominaron las arvenses con condición R y por lo tanto, IRF máximos. Este hallazgo sugiere que, en la finca con manejo orgánico, el agroecosistema ofrece una mayor protección natural a los cafetos contra NF (dada por la presencia de arvenses T y HPS). Por el contrario, en la finca con manejo convencional, además de existir poca protección natural contra NF, el agroecosistema ofrece condiciones favorables para mantener el inóculo de NF en el sistema (presencia de arvenses T).

La herramienta metodológica propuesta en el presente trabajo, es decir el IRF, permitió valorar el rol ecológico de una arvense desde el punto de vista nematológico. Los resultados de dicha valoración, constituyen criterios para el manejo de las arvenses (eliminación, poda, uso como cobertura) por parte de los productores. Sin embargo, esta metodología se debe validar y mejorar para poder ser aplicada a cualquier sistema productivo de café e incluso a otros cultivos, donde estarán presentes otras especies de arvenses y otros géneros/especies de NF.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a los señores Minor Corrales y Jesús Fallas por permitir realizar la investigación en sus respectivas fincas, y al ingeniero Fernando Ramírez Muñoz por la identificación de algunas arvenses.

## Literatura citada

- Anderson, M.J. 2010. Detecting multivariate changes in biological assemblages: experimental design and data analysis. Multivariate analysis of complex experimental designs using PERMANOVA+ for PRIMER. Massey University, Auckland, NZL.
- Araya, M. 1994. Distribución y niveles poblacionales de *Meloidogyne* spp. y *Pratylenchus* spp. en ocho cantones productores de café en Costa Rica. *Agron. Costarricense* 18(2):183-187.
- Araya-Vargas, M. 1990. Frecuencia y densidades poblacionales de *Meloidogyne* spp. y *Pratylenchus* spp. en cafetales del cantón de Turrialba, Cartago. *Agron. Costarricense*. 14(1):109-114.
- Babatola, J.O. 1980. Studies on the weed hosts of the rice root nematode *Hirschmanniella spinicaudata* Sch. Stek. 1944. *Weed Res.* 20:59-61. doi:10.1111/j.1365-3180.1980.tb00042.x
- Braun-Blanquet, J., y J. Lalucat-Jo. 1979. Fitosociología, bases para el estudio de las comunidades vegetales. H. Blume Ediciones, Barcelona, ESP.
- Campos, V., and L. Villain. 2005. Nematode parasite of coffee and cocoa. In: M. Luc et al., editors, *Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture*. CAB International, Wellingford, GBR. p.529-579.
- Castillo, P., H.F. Rapoport, J.E. Palomares-Rius, and R.M. Jiménez-Díaz. 2008. Suitability of weed species prevailing in Spanish vineyards as hosts for root-knot nematodes. *Eur. J. Plant. Pathol.* 120:43-51. doi:10.1007/s10658-007-9195-8
- Coyne, D.L., K.L. Sahrawat, and R.A. Plowright. 2004. The influence of mineral fertilizer application and plant nutrition on plant-parasitic nematodes in upland and lowland rice in Côte d'Ivoire and its implications in long term agricultural research trials. *Expl. Agr.* 40:245-256. doi:10.1017/S0014479703001595
- Curtis, R.H. 2008. Plant-nematode interactions: environmental signals detected by the nematode's chemosensory organs control changes in the surface cuticle and behaviour. *Parasite*. 15:310-316. doi:10.1051/parasite/2008153310
- Dong, L., X. Li, L. Huang, Y. Gao, L. Zhong, Y. Zheng, and Y. Zuo. 2014. Lauric acid in crown daisy root exudate potently regulates root-knot nematode chemotaxis and disrupts Mi-flp-18 expression to block infection. *J. Exp. Bot.* 65:131-141. doi:10.1093/jxb/ert356
- García, J.M. 2012. Densidad y diversidad de nematodos en sistemas agroforestales de café en asocio con bananos y sombra de leguminosas en Jinotega, Nicaragua. Tesis MSc., CATIE, Turrialba, CRC.
- Gharabadiyan, F., S. Jamali, A. Yazdi, M. Hadizadeh, and A. Eskandari. 2012. Weed hosts of root-knot nematodes in tomato fields. *J. Plant Prot. Res.* 52:230-234. doi: 10.2478/v10045-012-0036-1
- Gómez, A., y H. Rivera. 1987. Descripción de malezas en plantaciones de café. Cenicafé, Chinchiná, COL.
- Herrera, I.C., y N. Marbán-Mendoza. 1999. Efecto de coberturas vivas de leguminosas en el control de algunos fitonematodos del café en Nicaragua. *Nematropica* 29:223-232.
- Hokkanen, H.M.T. 1991. Trap cropping in pest management. *Annu. Rev. Entomol.* 36:119-138.

- Holdridge, L. 1982. Ecología basada en zona de vida. 2<sup>da</sup> ed. IICA, San José, CRC.
- Hooks, C.R.R., K.H. Wang, A. Ploeg, and R. McSorley. 2010. Using marigold (*Tagetes* spp.) as a cover crop to protect crops from plant-parasitic nematodes. *Appl. Soil Ecol.* 46:307-320. doi:10.1016/j.apsoil.2010.09.005
- Inomoto, M., C.M.G. Oliveira, P. Mazzafera, and W. Goncalves. 1998. Effects of *Pratylenchus brachyurus* and *P. coffeae* on seedlings of *Coffea arabica*. *J. Nematol.* 30:362-367.
- Jenkins, W.R. 1964. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Dis. Rep.* 48:692.
- Kokalis-Burelle, N., and E.N. Roskopf. 2012. Susceptibility of several common subtropical weeds to *Meloidogyne arenaria*, *M. incognita*, and *M. javanica*. *J. Nematol.* 44:142-147.
- López, R., y L. Salazar. 1989. Microscopía electrónica de rastreo de varias poblaciones del nematodo nodulador del caféto *Meloidogyne exigua* (Nemata: Heteroderidae). *Turrialba.* 39:299-304.
- Mai, W.F., and H.H. Lyon. 1975. Pictorial key to genera of plant-parasitic nematodes. 4<sup>th</sup> ed. Cornell University, USA.
- Mata-Pacheco, H. 1999. Identificación y estudio poblacional de malezas asociadas al cultivo del café en Costa Rica. Tesis Lic., Universidad de Costa Rica, San José, CRC.
- Melakeberhan, H., G.W. Bird, and R. Gore. 1997. Impact of plant nutrition on *Pratylenchus penetrans* infection of *Prunus avium* rootstocks. *J. Nematol.* 29:381-388.
- Ntidi, N.K., H. Fourie, A.H. McDonald, D. De-Waele, and C.M.S. Mienie. 2012. Plant-parasitic nematodes associated with weeds in subsistence agriculture in South Africa. *Nematology* 14:875-887. doi:10.1163/156854112X632187
- Oliveira, C., M. Inomoto, A. Vieira, e A. Monteiro. 1999. Efeito de densidades populacionais de *Pratylenchus brachyurus* no crescimento de plântulas de *Coffea arabica* cv. Mundo novo e *C. canephora* cv. Apoatá. *Nematropica* 29:215-221.
- Ordoñez, M.A., V.C.J. Viera, y L.M.H. Sosa. 2001. Manejo de malezas en las plantaciones de café. Manual de Caficultura. Instituto Hondureño del Café, HON.
- Peraza-Padilla, W. 2010. Nematofauna asociada al cultivo de café (*Coffea arabica*) orgánico y convencional en Aserri, Costa Rica. *Ingenierías & Amazonia* 3:105-112.
- Ramos, R.M., de L.Y. Sánchez, y N.M. Dávila. 2014. Manejo de malezas en cafetales orgánicos. Universidad de Puerto Rico, Utuado, PUR.
- Rasmann, S., J.G. Ali, J. Helder, and W.H. van-der-Putten. 2012. Ecology and evolution of soil nematode chemotaxis. *J. Chem. Ecol.* 38:615-628. doi:10.1007/s10886-012-0118-6
- Salazar, L.F., y E. Hincapié. 2005. Arvenses de mayor interferencia en los cafetales. *Avances técnicos* 333. Cenicafe, COL.
- Salazar, L.F., y E. Hincapié. 2007. Las arvenses y su manejo en los cafetales En: P.J. Arcila et al., editores, *Sistemas de producción de café en Colombia*. Cenicafe, COL. p. 309.
- Shelton, A.M., and F.R. Badenes-Pérez. 2006. Concepts and applications of trap cropping in pest management. *Annu. Rev. Entomol.* 51:285-308. doi:10.1146/annurev.ento.51.110104.150959
- Singh, S.K., U.R. Khurma, and P.J. Lockhart. 2010. Weed hosts of root-knot nematodes and their distribution in Fiji. *Weed Technol.* 24:607-612. doi:10.1614/WT-D-09-00071.1
- Soto, A., E. Vallejos, F. Herrera, y C.E. Rojas. 2004. Algunas malezas de Costa Rica y Mesoamérica. Catálogo de terrestres, parásitas y acuáticas. University of Florida, FL, USA. [http://international\\_extension.ifas.ufl.edu/LaFlor/weeds-of-costa-rica/index.shtml](http://international_extension.ifas.ufl.edu/LaFlor/weeds-of-costa-rica/index.shtml) (consultado 8 feb. 2017).

- Thomas, S.H., J. Schroeder, and L.W. Murray. 2005. The role of weeds in nematode management. *Weed Sci.* 53:923-928. doi:10.1614/WS-04-053R.1
- Wang, K.H., B.S. Sipes, and D.P. Schmitt. 2002. *Crotalaria* as a cover crop for nematode management: a review. *Nematropica* 32:35-57.