

## EVALUACIÓN DE UN NEMATICIDA BIOLÓGICO Y UN BIOESTIMULANTE RADICAL SOBRE *Meloidogyne exigua* EN CAFÉ EN NARANJO, COSTA RICA\*

Andrea Quirós-Castro<sup>1/\*\*</sup>, Walter Peraza-Padilla<sup>2</sup>

**Palabras clave:** *Coffea arabica*; nematodo agallador; nematocida biológico.

**Keywords:** *Coffea arabica*; root-knot nematode; biological nematicide.

**Recibido:** 24/06/22

**Aceptado:** 04/08/22


### RESUMEN


**Introducción.** *M. exigua* ocasiona pérdidas importantes en el cultivo del café (*Coffea arabica*). Una práctica común para su control, es el uso de productos químicos que, en ocasiones, no son suficientemente efectivos, son además costosos y tóxicos para el humano y el ambiente. **Objetivo.** Evaluar un nematocida biológico y un bioestimulante radical como una alternativa para reducir las poblaciones de *M. exigua* en el cultivo de café. **Materiales y métodos.** Se evaluaron cuatro tratamientos: un nematocida biológico, un bioestimulante radical, un testigo químico terbufos (TQ) y un testigo absoluto (TA) en plantas de café de tres años donde se realizaron los muestreos de nematodos en suelo y raíz. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. Para el conteo

de *M. exigua* antes y después de la aplicación de los tratamientos, se recurrió al modelo lineal generalizado con distribución binomial negativa de los residuos (Proc GenMod de SAS 9.2). **Resultados.** No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, es decir, ninguna de las alternativas evaluadas logró disminuir la población de nematodos, por el contrario, las poblaciones aumentaron después de tres meses de la aplicación de los productos. El uso del nematocida biológico aumentó las poblaciones en un 88%, el TQ en un 30%, el bioestimulante radical en un 137% y por último, el TA la aumentó en un 134%. Una razón de la baja eficacia podría estar relacionada con el número de aplicaciones de los productos. **Conclusión.** Por lo anterior, es necesario buscar nuevas y eficaces alternativas para el combate de nematodos.

\* Esta investigación formó parte de los resultados del trabajo final de graduación de Licenciatura en Agronomía de la primera autora. Universidad Nacional (UNA), Costa Rica.

\*\* Autora para correspondencia. Correo electrónico: andrea.quirós.castro@est.una.ac.cr

1 Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.  
 0000-0002-1761-9710.

2 Universidad Nacional, Laboratorio de Nematología, Heredia, Costa Rica.  
 0000-0003-4651-5555.

## ABSTRACT

### Evaluation of a biological nematicide and a root biostimulant on *Meloidogyne exigua* in coffee in Naranjo, Costa Rica. Introduction.

*M. exigua* causes important losses in the cultivation of coffee (*Coffea arabica*). A common practice for its control is the use of chemical products that sometimes are not effective, are also expensive and toxic for humans and the environment. **Objective.** To evaluate a biological nematicide and a radical root biostimulant as an alternative to reduce populations of *M. exigua* in coffee cultivation. **Materials and methods.** Four treatments were evaluated: a biological nematicide, a root biostimulant, a chemical control terbufos (TQ) and an absolute control (TA) in three-year-old coffee plants in which nematodes were sampled in soil and

root. A randomized complete block design with four treatments and four replications was used. For the count of *M. exigua* before and after treatments application, the generalized linear model with negative binomial distribution of the residuals (Proc GenMod of SAS 9.2) was used. **Results.** No significant differences were found between treatments, that is, none of the evaluated alternatives managed to reduce the population of nematodes, on the contrary, the populations increased after three months of application. The use of the biological nematicide increased population by 88%, TQ by 30%, root bioestimulant by 137%, and finally, TA by 134%. **Conclusion.** One reason for the low efficacy could be related to the number of applications of the products. Therefore, it is necessary to look for new and effective alternatives to combat nematodes.

## INTRODUCCIÓN

El café (*Coffea arabica* L.) es uno de los principales cultivos industriales y su fruto, una de las bebidas más consumidas en el mundo y millones de personas dependen directa o indirectamente de la producción y venta de este cultivo como medio de subsistencia (ICAFE 2021). De acuerdo con cifras de la Organización Mundial del Café (OIC), durante el periodo 2020-2021, se produjeron a nivel mundial, 169.64 millones de sacos de café de 60 kg (OIC 2020). Asimismo, datos porcentuales de esta institución para México y Centroamérica, determinaron que hubo una producción de 19.195 mil sacos de 60 kg para el periodo de cosecha 2020-2021; de ellos Honduras tuvo una participación del 31,3%, seguido de México con un 20,8%, Guatemala 18,2%, Nicaragua 13,8%, Costa Rica 7,6%, El Salvador 3,1% y otros con un 5,2%.

En Costa Rica, este fruto ha sido a lo largo de la historia un pilar fundamental para la sociedad costarricense, como un motor para su desarrollo y economía nacional donde logró

para el periodo de cosecha 2020-2021 un total de 1 472 202 sacos de 60 kilogramos (kg) (USDA 2021). Por este motivo, es que en Costa Rica el café se conoce como el “Grano de Oro” (Aguilar 2012). Esta actividad agrícola, se encuentra en su mayoría en manos de medianos y grandes cafetaleros, los cuales representan aproximadamente el 20% de los productores nacionales.

El cultivo de café no escapa a problemas en su producción debido a condiciones climáticas desfavorables así como a enfermedades y plagas, entre estas últimas se encuentran los nematodos fitoparásitos. La afectación de estos microorganismos está asociada a la alteración y destrucción del sistema radical, donde afectan la absorción de agua y nutrientes. Se estima que las pérdidas económicas anuales generadas por esta plaga son cercanas al 20% (Sasser y Freckman 1987). La permanencia activa de los caficultores se encuentra sujeta a una producción rentable, lo que conduce a incrementar la eficiencia en la relación costo-beneficio del uso de la tierra y prácticas de cultivo como uso de nematicidas, pesticidas y fertilizantes (Araya 1994).

El uso de nematicidas en el cultivo del café como el Counter, es una práctica común que genera un costo económico y un efecto negativo a la salud humana y al ambiente (Franco 1986). Hasta junio de 2022 se encontraban registrados en el Servicio Fitosanitario del Estado (SFE), algunos nematicidas para uso en café. Los diferentes productos son formulados a base de fluopyram, fenafifos, etoprofós y oxamil. Todos esos ingredientes activos se clasifican como alta o extremadamente peligrosos y en Costa Rica su venta es restringida, sólo bajo receta profesional (SFE 2022). Otro grupo de ingredientes activos han sido retirados del mercado, o su uso está fuertemente restringido y conlleva a los agricultores a la dificultad de no poder contar con soluciones que sean efectivas y compatibles con los requerimientos actuales (Navia 1999). En este sentido, es necesario buscar nuevas y eficaces opciones para el combate de nematodos, ya que es uno de los problemas más importantes en la reducción de la producción cafetalera (Araya 1990). Dentro de las alternativas al uso de agroquímicos existen los bioestimulantes, biofertilizantes, extractos naturales de plantas, biopesticidas dentro de los cuales destacan bacterias como *Bacillus* y *Pasteuria penetrans*, hongos como *Purpureocillium lilacinus*, *Arthrobotrys irregularis* y *Trichoderma* (Novasys 2015). Estos agentes de control además de constituir una opción amigable con el ambiente, tienen un efecto sobre el crecimiento, desarrollo de las plantas.

Para disminuir las poblaciones de nematodos el ICAFE utilizó algunas alternativas biológicas, como extracto de *Tagetes erecta*, *Burkholderia cepacia* y *B. fluorescens* en los cantones de Poás de Alajuela y Tarrazú en San José; no obstante, no encontraron efectos positivos en la aplicación. Asimismo, en otros ensayos utilizaron hongos como *Trichoderma* sp., *Purpureocillium lilacinus* y bacterias como *Streptomyces* sp. y *Burkholderia cepacia* sin observar resultados en el efecto de estos microorganismos (Rojas 2010).

La búsqueda de opciones para combatir los nematodos en café es de suma importancia,

ya que en este cultivo se encuentra el nematodo agallador de la raíz *Meloidogyne*, que ocasiona grandes pérdidas entre 10 y 24% en el rendimiento de cafetales de América Latina (Araya 1990). Este microorganismo está presente en la mayoría de las zonas cafetaleras de Costa Rica (Calderón 2013).

Es importante, buscar nuevas alternativas eficaces y amigables con el ambiente para disminuir las poblaciones de nematodos en café. Por lo anterior el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de un nematicida biológico y un bioestimulante radical contra *M. exigua* en plantaciones de café en Naranjo, Alajuela, Costa Rica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización y periodo del experimento.

El ensayo se realizó en la Hacienda Pilas, en el distrito de San Jerónimo, cantón de Naranjo en la provincia de Alajuela durante agosto a diciembre de 2017. Este sitio se ubica en las siguientes coordenadas 10095908,-84.366076. Según las zonas de vida de Holdridge la finca pertenece al bosque húmedo-premontano (bh-P).

Se utilizaron plantas de café de 3 años de siembra, las cuales en 2015 presentaban una densidad poblacional de 70 000 juveniles de *Meloidogyne* spp. en 100 g de raíz, por lo que se optó por realizar una aplicación del insecticida-nematicida sistémico Terbufos. Además, al lote se le realizó 3 fertilizaciones, 2 completas 16-2-6 y una nitrogenada, esto con el fin de proveer los nutrientes que el cultivo necesita y así obtener frutos de mejor calidad (FAO 2002). Asimismo, se realizaron 3 aplicaciones foliares con triazoles y con los elementos Calcio, Boro y Zinc para ayudar a que la planta en su crecimiento y lograr un mejor rendimiento en la cosecha del siguiente año.

Para el control de malezas, se aplicó Glifosato y fue anegada, es decir, como parte del manejo de la finca se aplicó riego en abril para inducir la floración. De acuerdo con el ICAFE (s.f.) en abril el suelo en el Occidente

del país presentó un déficit hídrico acumulado superior a 100 mm, con el cual la planta estaba preparada para una apertura floral uniforme una vez que recibía el estímulo de la lluvia o el riego adecuado.

**Tratamientos.** Se evaluaron 4 tratamientos, el primero fue un nematicida biológico de amplio espectro compuesto por *Bacillus subtilis* ( $1 \times 10^8$  UFC.mL<sup>-1</sup>) (38%), conidios de *Purpureocillium* spp. ( $1 \times 10^3$  UFC.mL<sup>-1</sup>) (30%), conidios de *Trichoderma* spp. ( $1 \times 10^3$  UFC.mL<sup>-1</sup>), (10%), extracto de *Tagetes erecta* (8%) y aditivos orgánicos y diluyentes (14%). El segundo fue un bioestimulante radical compuesto por Nitrógeno (0,80%), Fósforo (0,11%), Potasio (0,04%), Magnesio (0,60%), Azufre (0,19%), Boro (0,10%), Hierro (0,16%), proteínas (10,0%), polisacáridos (10,0%) e ingredientes inertes (78,0%) el cual fortalece la sanidad de las raíces del cultivo, mejora la capacidad de asimilación de los nutrientes y disminuye el riesgo por ataque de agentes externos. El tercer producto fue Terbufos (testigo químico), un insecticida-nematicida sistémico organofosforado con acción de contacto que interfiere la transmisión de los impulsos nerviosos por inhibición de la colinesterasa. Finalmente, un testigo absoluto (TA) que fue el tratamiento que en el que no se aplicó ningún producto, únicamente agua.

**Aplicación de productos en campo.** Las 210 plantas (parcela efectiva) de los 4 tratamientos recibieron el mismo manejo agronómico (productos fitosanitarios, dosis de fertilizantes granulados, aplicación de herbicidas, etc.) y cultural (chapeas, deshierbas, etc.). Durante setiembre y diciembre de 2016, se realizaron fumigaciones con aspersores de mochila manuales. La diferencia en el uso de productos en el campo consistió en la aplicación de cada uno de ellos, en los siguientes tratamientos:

**Nematicida biológico.** Según la etiqueta del producto, se debe fermentar en una solución de materia orgánica a base de compuestos de C:N, para lo cual se utilizó melaza. Esta solución se oxigenó al agitar varias veces al día por 48-72 horas. La dosis del producto que se utilizó fue

de 4 L.ha<sup>-1</sup> la cual también se aplicó al suelo en horas de la mañana.

**Bioestimulante radical.** Se diluyó en el mismo envase con la adición y posterior mezcla con agua, luego se agregó al equipo aspersor. En algunas ocasiones quedó algún remanente del producto en el fondo del envase por lo que se repitió la operación de lavado. La dosis empleada fue de 200 g.ha<sup>-1</sup> y se aplicó directamente en el suelo en horas de la mañana.

**Terbufos.** Se utilizó como testigo químico a una cantidad de 10 g de producto alrededor de toda la planta.

**Testigo absoluto.** Tratamiento al cual no se le aplicó ningún producto, únicamente agua.

## EVALUACIONES

**Muestreo de nematodos.** De plantas de 3 años, se tomaron muestras de suelo a 30 cm de profundidad dentro de la zona de sombra. Con la ayuda de una pala se hizo un hoyo en forma de V y se tomó aproximadamente 200 cm<sup>3</sup> de suelo por muestra de 3 cm de espesor. En el caso de raíz, se recolectó 15 g por planta a una profundidad de 0-30 cm (según la profundidad de las raíces) de la rizosfera hasta completar aproximadamente 500 g de raíz. Una vez tomadas las muestras, se colocaron dentro de una bolsa plástica con la identificación del lote y fecha de colecta. Asimismo, cada muestra se colocó en una hielera para evitar cambios bruscos en la temperatura y posteriormente, se trasladaron al Laboratorio de Nematología de la Escuela de Ciencias Agrarias (ECA) de la UNA, para el procesamiento e identificación de la población de *Meloidogyne*.

**Extracción de nematodos.** Cada muestra de suelo fue homogenizada y cuarteada hasta obtener una submuestra de 100 cm<sup>3</sup>. Para el caso de raíz, fue lavada, cuarteada y picada en pequeños fragmentos; se tomó una submuestra de 10 g y se licuó a alta velocidad por 30 segundos. Ambas muestras se procesaron por el método de centrifugación-flotación (Jenkins 1964).

Las primeras 32 muestras se tomaron y analizaron en agosto de 2016 con el fin de determinar las densidades poblacionales iniciales de la parcela, luego se procedió a aplicar los productos indicados anteriormente (biológicos y químicos). Posteriormente, en diciembre se recolectaron una vez más 32 muestras de cada tratamiento. Nuevamente, se realizaron los muestreos y se analizaron en el Laboratorio de Nematología de la ECA-UNA.

**Conteo e identificación de la población de nematodos.** Se realizó el conteo de la población de nematodos (juveniles) antes y después de cada aplicación en los distintos tratamientos con un microscopio invertido Olympus CKX41. Luego, se comparó la morfología de los individuos con las descripciones e ilustraciones de Mai *et al.* (1964) para lograr una correcta identificación de *M. exigua*. Asimismo, se tomaron 25 individuos a los cuales se les determinó las siguientes mediciones e índices: la longitud del cuerpo (L), diámetro del ancho máximo del cuerpo (MBW), diámetro del cuerpo en la región anal (ABW), longitud del estilete (E), ancho de la región labial (LRW), longitud de la base de los nódulos hasta el orificio de la glándula esofágica dorsal (DEGO), distancia desde la base del estilete hasta el poro excretor (o), longitud del esófago (Le), longitud de la cola (Lc) y longitud de la porción hialina de la cola (Ph). Además, se obtuvo algunas relaciones tales como a: (L/MBW), b: (L/Le), c: (L/Lc), c': (Lc/ABW). También, se realizó un análisis molecular donde se amplificó una región entre la subunidad II de la citocromo oxidasa (COII) y el gen 16S del ADN mitocondrial (ADNmt) mediante la Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR). Con los productos resultantes de la PCR, se procedió a realizar un análisis de Polimorfismo de la Longitud de los Fragmentos de Restricción (RFLP) donde los productos de PCR fueron cortados con la enzima de restricción *DraI* la cual reconoce el sitio de corte en la secuencia de *M. exigua* (Powers *et al.* 2005).

**Diseño experimental.** Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con 4 repeticiones

y 4 tratamientos, para controlar todos los factores que pudieran afectar a la variable observada incluso la reducción del error experimental (Figura 1).

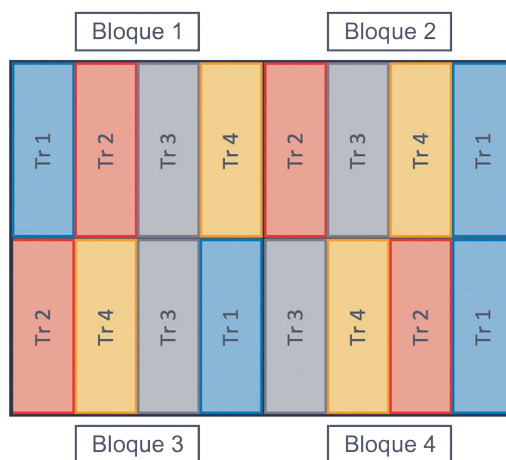


Figura 1. Croquis de diseño experimental de bloques completos con 4 repeticiones por tratamiento. Naranjo, Alajuela, Costa Rica. 2017.

La unidad experimental correspondió a una parcela de plantas de café el área total del ensayo fue de 9590.162m<sup>2</sup> donde cada planta tenía una distancia de entre 1 m y 2 m entre calles. El área de la parcela efectiva fue de 1680m<sup>2</sup> y consistió en 5 calles de las cuales se tomaron 3 hileras del centro para un total de 210 plantas, en donde se dejó una hilera en cada borde por tratamiento.

Para el análisis de nematodos se realizaron muestreos al azar en las 3 hileras del centro de cada tratamiento y se homogenizaron. Se realizaron 4 réplicas y 4 repeticiones por tratamiento, es decir, 16 muestreos de suelo y raíz.

**Análisis estadístico.** Para el análisis de los datos de conteos de *M. exigua* en suelo y raíz, se recurrió al modelo lineal generalizado con distribución binomial negativa de los residuos (Proc GenMod de SAS 9.2). Este análisis



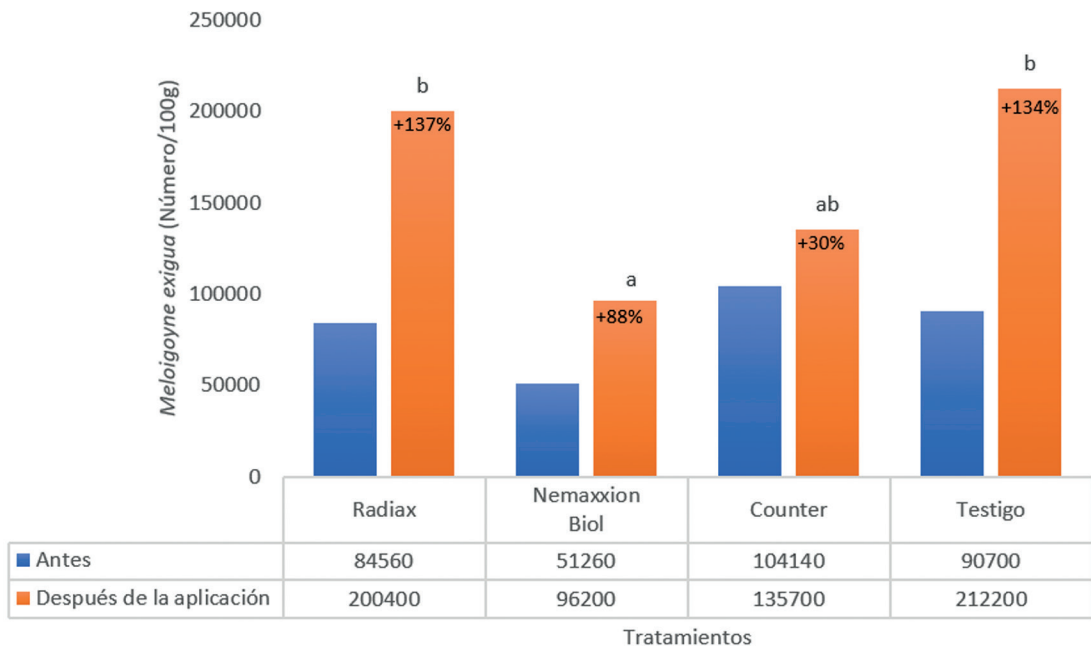
se realizó antes y después de la aplicación de los tratamientos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Efecto del nematicida biológico y el bioestimulante radical sobre juveniles de una población de *M. exigua* en raíz.** No hubo diferencias significativas en la población de juveniles en el muestreo inicial que se realizó previo a la aplicación de productos. Posteriormente a la aplicación, se observó un efecto significativo ( $p < 0,0193$ ) entre tratamientos, donde el nematicida biológico presentó diferencias con respecto al

bioestimulante radical y al testigo absoluto (TA). En el caso del Terbufos, bioestimulante radical y el testigo, no presentaron diferencias entre ellos (Figura 2).

En el primer muestreo de nematodos se determinó una menor densidad poblacional de *M. exigua*, mientras que después de la aplicación de nematicidas (segundo muestreo) hubo un aumento de *M. exigua* en todos los tratamientos. En el caso del nematicida biológico y Terbufos hubo un incremento del 88% y 30% respectivamente, mientras que para el bioestimulante radical y el testigo absoluto (TA) fue de 137% y 134% respectivamente (Figura 2).



Columnas con letras iguales no difieren estadísticamente ( $P > 0,05$ )  $n=4$

Figura 2. Población de *M. exigua* en 100 g de raíz antes y después de la aplicación de los productos. Naranjo, Alajuela, Costa Rica. 2017.

A partir de los 3 meses de la aplicación del nematicida biológico, no existió un efecto sobre las poblaciones de nematodos, ya que a pesar del uso de los productos, ninguno de ellos logró disminuir las poblaciones en comparación a la cantidad de nematodos que se encontró en el primer muestreo, es decir, antes de la aplicación. Por ejemplo, antes de la aplicación de los productos, se contabilizaron 84 560, 51 260, 104 140 y 90 700 juveniles en 100 g de raíz en los tratamientos bioestimulante, nematicida biológico, nematicida químico y el testigo absoluto respectivamente. Luego de la aplicación se determinó una densidad poblacional de 200 400, 96 200, 135 700 y 212 200 en el bioestimulante en 100 de raíz, el bioestimulante, nematicida biológico, nematicida químico y el testigo absoluto.

Según el hábito alimenticio y ciclo de vida de *M. exigua*, es un nematodo endoparásito, es decir, sus funciones vitales las efectúa dentro de la raíz, por lo que su frecuencia en suelo es menor que en el sistema radical. El nematodo al estar en el suelo por un corto tiempo (mientras ingresa a la raíz) evita que cualquier producto ya sea químico como el Terbufos cuyo modo de acción es de contacto o algún biológico logren una eficacia, ya que se dificulta que cualquier sustancia u organismo llegue a estar en contacto directo con el nematodo (Pérez *et al.* 2017).

De acuerdo con Leguizamón (1988) las plantaciones de café con síntomas severos de daño por *Meloidogyne*, no responden a la aplicación de ninguna dosis de nematicidas, por lo que recomienda más bien un tratamiento nematicida preventivo, ya que su acción curativa dependerá del área de raíz infectada y del tipo de nematodo. Una vez que el nematodo se establece en los tejidos radicales, altera los vasos del xilema en forma y tamaño irreversible lo que dificulta la acción de cualquier nematicida. Quizás esta condición fue una de las que a nivel radical se encontró en el ensayo, ya que los muestreos indicaron altas densidades poblacionales del *M. exigua* a pesar de las aplicaciones de nematicidas realizadas. Asimismo, según datos del CATIE (1989), la variedad Catuai presenta el índice de

agallamiento más alto que es de 5, por lo tanto, es muy susceptible al ataque *Meloidogyne* lo que favorece su reproducción.

Con respecto a la frecuencia de aplicación del nematicida biológico se sugirió hacer una única aplicación para verificar el comportamiento del producto bajo las condiciones del país y además, para disminuir los costos de producción. Una de las razones por las cuales no se observó una disminución en la densidad poblacional de nematodos, podría estar relacionada con el número de aplicaciones del producto, ya que lo ideal podría haber sido una aplicación más.

Cabe mencionar que al estudiar poblaciones de *M. exigua* en diversas zonas de Costa Rica, Rojas (2011), observó que estas seguían un patrón estacional con un descenso de individuos de agosto a octubre y que por el contrario, presentaban un aumento a finales del invierno. Este patrón estacional se observó en este estudio, ya que en agosto, es decir, antes de la aplicación de los nematicidas, hubo un declive en la población de nematodos con un posterior repunte en diciembre. Según Chaves (2014) con el aumento de las lluvias el sistema radical maduro tiende a podrirse, y esto posee un impacto sobre las poblaciones de nematodos que están dentro de ellas, ya que no podrán alimentarse ni producir huevos en las raíces.

A pesar de que no existió una disminución de juveniles con ningún producto químico o biológico, se procedió a la ultización de la escala de infección radical propuesta por Taylor y Sasser (1983b) para determinar el porcentaje de severidad o infección radical después de la aplicación de los productos. El único tratamiento en el que se notó diferencias con respecto a esta variable, fue en el nematicida biológico con un 5% de agallamiento. En el caso de los demás tratamientos, se observó que en el bioestimulante fue de 15%, el tratamiento químico con 65% y finalmente el testigo con un 80%. Al observar el sistema radical en los distintos tratamientos, se determinó que el nematicida biológico presentó raíces nuevas y con algunas agallas. Caso contrario ocurrió con los demás tratamientos, donde quedó en

evidencia una abundante formación de agallas, menor cantidad de raíces secundarias y un sistema radical necrosado debido a la actividad de *M. exigua*. Aunque el bioestimulador radical posee elementos esenciales, proteínas, polisacáridos y un alto porcentaje de fósforo que incrementa la tasa de crecimiento de las raíces, la periodicidad en la aplicación del producto pudo haber afectado su efecto (Martínez 2016).

Una posible causa en la diferencia entre productos también podría estar relacionada con la acción nematicida propia del nematocida biológico, que permitió un crecimiento más vigoroso de la raíz y una mayor cantidad de pelos absorbentes debido a la actividad de la bacteria *Bacillus subtilis*, los hongos *Trichoderma asperellum* y *Purpureocillium liacinum*. Según Palacios (2013), *B. subtilis* actúa dentro del nematodo, que produjo algunas enzimas y toxinas las cuales dañan las células del intestino medio y facilitan la invasión del hemocele. En el suelo esta bacteria puede interferir en el ciclo reproductivo, la ovoposición y eclosión de los juveniles, por lo que no se descarta la posibilidad de que quizás alguna de estas funciones hayan sido suprimidas por este agente de control biológico.

En el caso de *Trichoderma* existe evidencia que favorece el aumento de pelos radicales, contribuye a la solubilidad de los nutrientes del suelo y produce enzimas como quitinasas y proteasas que ayudan al combate de nematodos (Hernandez *et al.* 2015). En un estudio llevado a cabo por Varela *et al.* (2016) determinaron porcentajes de mortalidad de *M. exigua* en pruebas *in vitro* con *T. asperellum* del 66,7% de estadios juveniles y un 46,1% de huevos.

Adicionalmente el nematocida biológico posee como extracto natural la planta *Tagetes erecta*. Investigaciones realizadas por Murga *et al.* (2012) coinciden en afirmar, que esta especie vegetal tiene un efecto nematicida que inhibe la eclosión de huevos y tiene un efecto nematicida contra juveniles de *Meloidogyne*.

Es importante mencionar que, a pesar de no encontrarse diferencias significativas entre el Testigo absoluto (TA) y el Terbufos después de

la aplicación de los productos, las poblaciones de nematodos aumentaron un 134 y 30% respectivamente. Una posible razón de esta diferencia se puede deber a la efectividad del control efectuado por el Terbufos, ya que este nematicida actúa como inhibidor de la acetilcolinesterasa (fundamental en la función del sistema nervioso central [SNC] del nematodo) por lo que es muy usado para el combate de plagas en el suelo (Roberts y Hutson 1999).

En estudios efectuados por el ICAFE, encontraron poblaciones de *M. exigua* de 396 600 a 767 040 J<sub>2</sub> en 100 g de raíz (Rojas 2011). En el caso de los datos determinados en este estudio, se encontraron valores cercanos a los 220 000 J<sub>2</sub> en 100 g de raíz. A pesar que son datos por debajo de los reportados por Rojas (2011), mantienen densidades poblacionales de nematodos consideradas altas en una plantación de café. Asimismo, Chaves (2014) reportó densidades que variaron en promedio entre 2900 a 68 000 J<sub>2</sub> por 100 g de raíz, mientras que Romero (2010), reportó en muestreos realizados en plantaciones de café en Cartago, densidades superiores a los 60 000 individuos de *Meloidogyne* por 100 g de raíz.

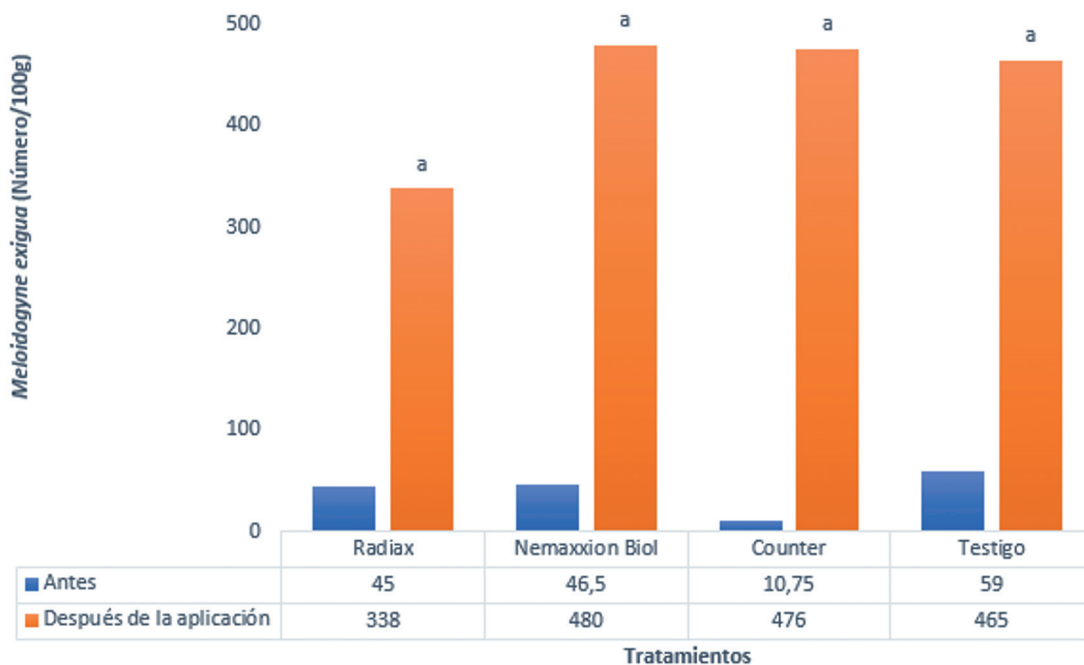
Existe una variación en las poblaciones de nematodos, en donde en algunas ocasiones las densidades son más altas con respecto a otras; no obstante, no se puede asegurar que esa cantidad de nematodos causen un daño significativo en la población, ya que depende de una serie de factores bióticos y abióticos. Según Rojas (2011) existen muchos factores a considerar para definir que cierta densidad poblacional de nematodos esté cause un daño importante en una plantación de café, por ejemplo, el género y especie del nematodo, genotipo de la planta, edad del cultivo, tipo de suelo, contenido de materia orgánica, fertilización, sombra y poda. Asimismo, Taylor y Sasser (1983a) agregan que existen varios factores que influyen como la textura del suelo, la temperatura, la humedad y la disponibilidad de nutrientes entre otros.

**Efecto del nematocida biológico y el bioestimulante radical sobre juveniles de una población de *M. exigua* en suelo.** No se encontraron



diferencias significativas entre los tratamientos sobre la población de *M. exigua* luego de aplicar los productos, todos los tratamientos mostraron un elevado incremento del nematodo en el segundo muestreo (Figura 3). Antes de la aplicación de los productos, se contabilizaron 45, 46, 10 y 59 juveniles en 100 en cm<sup>3</sup> de suelo en los tratamientos

bioestimulante, nematicida biológico, nematicida químico y el testigo absoluto respectivamente. Luego de la aplicación la población de juveniles de *Meloidogyne* aumentó a 338, 480, 476 y 465 en 100 en cm<sup>3</sup> de suelo en el bioestimulante, el bioestimulante, nematicida biológico, nematicida químico y el testigo absoluto.



Columnas con letras iguales no difieren estadísticamente ( $P > 0,05$ )  $n=4$

Figura 3. Población de *M. exigua* en suelo en cm<sup>3</sup> antes y después de la aplicación de los productos. Naranjo, Alajuela, Costa Rica. 2017.

Al igual que en la Figura 2, no se observó una disminución en la población de *M. exigua* en suelo en ningún tratamiento, situación también observada en la raíz. La poca colonización de los microorganismos utilizados en el suelo y la alta cantidad de huevos contabilizados en los conteos, indicaron baja efectividad de los productos utilizados debido a la continuidad de la aplicación.

Un factor importante fue la época en que se realizaron las aplicaciones y los muestreos. La aplicación de los productos coincidió con setiembre, cuando el suelo presentaba una baja población de *Meloidogyne*, en el caso del segundo muestreo, cercano a enero, ya presentaba densidades poblacionales altas de acuerdo con los análisis nematológicos efectuados. De acuerdo con Bertrand y Rapidel (1999), en el periodo seco *Meloidogyne* sp. presenta niveles poblacionales

elevados por causa de una actividad intensa de crecimiento del sistema radical del cafeto producto de la época lluviosa.

Resultados similares a esta investigación fueron reportados por Rojas (2010) en el ICAFE, donde evaluó varias alternativas (benfurarcarb, citoquininas, extracto de *Tagetes erecta*, *Burkholderia cepacia* y *B. fluorescens*) en Poás de Alajuela y Tarrazú, San José. No encontró efectos positivos en ensayos de campo sobre las poblaciones de *Meloidogyne* y *Pratylenchus* respectivamente. Además utilizó varios agentes de control biológico tales como *Trichoderma* sp., *Streptomyces* sp., *B. cepacia* y *P. lilacinus* en los cuales se observaron diferencias significativas entre los tratamientos con respecto al testigo desde la plántula hasta los 2 años de crecimiento.

Según Bertrand y Rapidel (1999) en plantaciones adultas de café, el control químico contra los nematodos presenta algunas limitaciones e inconvenientes relacionados a una eficacia restringida, incluso a veces casi nula, tanto en *Pratylenchus* spp. Como en *M. exigua*, un costo elevado, un fuerte impacto sobre el medio ambiente y la salud humana. Por lo anterior, es preferible aplicar los productos químicos en forma preventiva a nivel de almacigo para completar las medidas profilácticas y así no diseminar los fitonematodos tanto en la parcela como en otros sitios.

Las aplicaciones de nematicidas en el campo, sobre las plantas jóvenes permiten bajar el inóculo del suelo y proteger la planta durante su fase de crecimiento antes de que entre en producción. Al tratarse de un cultivo perenne, las medidas preventivas permitirán garantizar una productividad a largo plazo para el productor.

Con respecto a la textura del suelo, el área donde se realizó el ensayo presentó una textura franco arenosa, que favorece el desarrollo de las poblaciones de nematodos. Sobre este tema, Salazar y Guzmán (2013) encontraron niveles poblacionales más altos de nematodos fitoparásitos en comunidades en suelos de tipo franco arenoso en la zona occidental de Costa Rica. De acuerdo con Guaman (1996), este tipo de textura

favorece la movilidad del nematodo a través de los poros. Adicionalmente, Martínez *et al.* (2015) determinaron que si los nematodos no cuentan con un requerimiento de textura ideal los niveles de oxígeno podrían bajar así como su metabolismo, lo que afectaría el movimiento y su capacidad de infectar una raíz.

## CONCLUSIONES

No hubo diferencias significativas en la disminución de la población de *M. exigua* para cada uno de los tratamientos utilizados: nematicida biológico, bioestimulante radical, tratamiento químico y Testigo. No se observó una disminución de la población de *M. exigua* en ninguno de los tratamientos; sin embargo, el tratamiento biológico presentó el menor porcentaje de infección radical.

Se constató que si la planta tiene más de 3 años de establecida y presenta un buen sistema radical o es resistente a los nematodos, se podría contemplar la posibilidad de no utilizar nematicidas. La aplicación de un nematicida se debe realizar después de asegurarse que realmente los nematodos sean el agente causal de pérdidas, con el fin de evitar aplicaciones innecesarias y un gasto económico. Aunque en esta investigación se contabilizaron densidades poblacionales altas de nematodos, no se observó parches de plantas cloróticas o poco desarrolladas, el cual podría ser un indicador inicial de la presencia de este patógeno.

Es importante tomar en cuenta la variabilidad ambiental para futuros estudios en relación con las propiedades climáticas, edáficas y topográficas, así como las propias al manejo agronómico del cultivo de café, ya que estas influyen de manera directa en el comportamiento de las poblaciones de nematodos. Así, se podrá obtener no solamente datos fiables sobre la biodiversidad de nematodos fitoparásitos asociados al cultivo, sino que también permitiría determinar la prevalencia, diversidad y distribución de estos patógenos en las fincas productoras.

Se recomienda en etapa de almácigo y de manera preventiva, utilizar suelo libre de *Meloidogyne*. Es usual que el productor elabore su almácigo sin realizar previamente un análisis nematológico lo que podría afectar las plántulas en esta etapa del ciclo donde son más susceptibles. Además, se aconseja utilizar variedades de café tolerantes a los nematodos o con la raíz injertada con robusta que es una variedad de café resistente a nematodos.

## LITERATURA CITADA

- Aguilar, F. 2012. Propuesta del modelo de compra del café. Zamorano (en línea). Honduras. 1p. Consultado ene. 2019. Disponible en <http://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/878/3/T3242.pdf>
- Araya, M. 1990. Frecuencia y densidades poblacionales de *Meloidogyne* spp. y *Pratylenchus* spp. En cafetales del cantón de Turrialba, Cartago. *Agronomía Costarricense* 14(1):109-114.
- Araya, M. 1994. Distribución y niveles poblacionales de *Meloidogyne* spp. y *Pratylenchus* spp. en ocho cantones productores de café en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 18(2):183-187.
- Bertrand, D; Rapidel, B. 1999. Desafíos en la caficultura de centroamerica (en línea). San José, Costa Rica. Consultado jul. 2020. Disponible en [http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers14-12/010018381.pdf](http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers14-12/010018381.pdf)
- Calderón, G. 2013. Nematodos y los síntomas en café (en línea). ANACAFE. Guatemala. Consultado ago. 2020. Disponible en <https://www.anacafe.org/uploads/file/7bb2909c788c4bff8bc2ab262a652f75/El-Cafetal-13.pdf>
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 1989. Informe anual 1988-1989 (en línea). Turrialba, Costa Rica. Consultado nov. 2020. Disponible en <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/2454>
- Chaves, M. 2014. Densidad y diversidad de nematodos fitoparásitos y de suelo en sistemas orgánicos y convencionales de café en asocio con banano en el Valle Central y Occidental de Costa Rica. Tesis M.Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 79 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2002. Los fertilizantes y su uso (en línea). 632 p. Consultado ene. 2021. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-x4781s.pdf>
- Franco, J. 1986. Nematodos del quiste de la papa *Globodera* sp. 2 ed. Boletín de Información Técnica 9. Lima, Perú. 18 p.
- Guaman, M. 1996. Identificación de fuentes de resistencia al nematodo *Meloidogyne* sp. en germoplasma de tomate de árbol (*Phomandra betacea* Sendt). Tesis de grado. Quito, Ecuador, Universidad Central de Ecuador. 12 p.
- Hernández, D; Rodríguez, M; Peteira, B; Miranda, I; Arias, Y; Martínez, M. 2015. Efecto de cepas de *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckfeldt y Nirenberg sobre el desarrollo del tomate y *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) Chitwood. *Rev. Protección Vegetal* 30(2):139-147.
- ICAFE (Instituto del Café de Costa Rica). (s.f.). Déficit y excedente hídrico acumulado mensual (en línea). Consultado mar. 2020. Disponible en <http://www.icafe.cr/sector-cafetalero/deficit-y-excedente-hidrico/>
- ICAFE (Instituto del Café de Costa Rica). 2021. Informe sobre la actividad cafetalera de Costa Rica. Heredia, Costa Rica. s. p.
- Jenkins, WR. 1964. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Disease Report* 48(9):692.
- Leguizamón, J. 1988. Los nematodos del café en Colombia y su control (en línea). CENICAFE. Consultado dic. 2019. Disponible en <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/713/13/13%20Nematodos%20cafe%20y%20control.pdf>
- Mai, WF; Lyon, HH; Kruk, TH. 1964. Pictorial key to genera of plant parasitic nematodes. 5 ed. Department of Plant Pathology, New York State College of Agriculture, New York, USA. 54 p.
- Martínez, J; Díaz, T; Partida, L; Allende, R; Valdez, J; Carrillo, J. 2015. Nematodos fitoparásitos y su relación con factores edáficos de papaya en Colima, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrarias* 6(1):251-257. Consultado abr. 2020. Disponible en [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342015000100022](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000100022)
- Martínez, M. 2016. Evaluación de enraizadores en la producción de almácigos de café. Tesis Lic. Jutiapa, Guatemala, Universidad Rafael Landívar. 46 p.
- Murga, S; Alvarado, J; Vera, N. 2012. Efecto del follaje de *Tagetes minuta* sobre la nodulación radical de *Meloidogyne incognita* en *Capsicum annum*, en invernadero. *Rev Peruana de Biología* 19(3):257-260. Disponible en [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1727-99332012000300004&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1727-99332012000300004&script=sci_arttext)
- Navia, D. 1999. Estudio de la acción patogénica de varias poblaciones de la bacteria *Pasteuria penetrans* sobre *Meloidogyne* spp. Tesis de Pregrado. Guayaquil, Ecuador, Universidad Agraria del Ecuador. 8 p.
- Novasys. 2015. Nematodos, una amenaza que tiene solución de forma ecológica (en línea). España. Consultado 20 may. 2020. Disponible en <http://novasys.es/nematodos-amenaza-tiene-solucion-ecologica/>

- OIC (Organización Internacional del Café). 2020. Estadísticas Comerciales (en línea). Consultado ene. 2020. Disponible en [www.ico.org/trade\\_statistics.asp](http://www.ico.org/trade_statistics.asp)
- Palacios, A. 2013. Efecto de *Bacillus subtilis* sobre juveniles 2 de *Meloidogyne incognita* en condiciones de invernadero en el Fundo Marverde de la Empresa Agroindustrial Camposol. Tesis de pregrado. Trujillo, Perú, Universidad Nacional de Trujillo. 46 p.
- Pérez, F; Cruz, D; Poma, E; Cadena, F. 2017. Densidad poblacional de nematodos en el cultivo del café (*Coffea arabica* L.), Alto Lima-Caranavi. Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales, La Paz 4(1):53-59. Consultado feb. 2020. Disponible en [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2409-16182017000100007](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2409-16182017000100007)
- Powers, TO; Mullin, PG; Harris, TS; Sutton, LA; Higgins, RS. 2005. Incorporating molecular identification of *Meloidogyne* spp. into a largescale regional nematode survey. *J. Nematol.* 37:226-235.
- Roberts, T; Hutson, D. 1999. Metabolic pathways of agrochemicals (en línea). United Kingdom. Consultado may. 2020. Disponible en <http://pubs.rsc.org/en/content/ebook/978-0-85404-499-3>
- Rojas, M. 2010. Nematodos del café. Revista informativa (en línea). CICAPE, Heredia, Costa Rica. Consultado may. 2020. Disponible en <http://www.icafe.cr/cicafe/publicaciones/revista-informativa-icafe/>
- Rojas, M. 2011. Resultados de evaluaciones de productos para el control de nematodos en café (en línea). III simposio de caficultura. CICAPE, Heredia, Costa Rica. 11 p. Consultado sep. 2020. Disponible en [http://www.icafe.cr/simposios-nacionales-de-caficultura/?drawer=Simposios\\*III%20Simposio%20-%20202011](http://www.icafe.cr/simposios-nacionales-de-caficultura/?drawer=Simposios*III%20Simposio%20-%20202011)
- Romero, A. 2010. Efecto de los sistemas agroforestales del café y del contexto del paisaje sobre la roya, (*Hemileia vastatrix*), broca (*Hypothenemus hampei*) (Ferrari) y los nematodos (*Meloidogyne* spp.), con diferentes certificaciones en la provincia de Cartago, Costa Rica. Tesis M.Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 102 p.
- Rojas, M. 2010. Nematodos del café (en línea). Revista informativa. CICAPE, Heredia, Costa Rica. Consultado dic. 2019. Disponible en <http://www.icafe.cr/cicafe/publicaciones/revista-informativa-icafe/>
- Salazar, W; Guzmán, T. 2013. Nematodos fitoparásitos asociados al tomate en la zona occidental de Nicaragua. *Agronomía Mesoamericana* 24(1):27-36. Consultado ago. 2020. Disponible en [http://www.mag.go.cr/rev\\_meso/v24n01\\_027.pdf](http://www.mag.go.cr/rev_meso/v24n01_027.pdf)
- Sasser, J; Freckman, D. 1987. A world perspective on nematology: the role of society. In Veech, JA; Dickson, DW (eds.). Vistas on nematology: A commemoration of the twenty-fifth anniversary of the society of nematologist. Society of Nematologist, Madison, WI, USA. p. 7-14.
- SFE (Servicio Fitosanitario del Estado). 2022. Productos restringidos en Costa Rica al 07/06/2022 (en línea). Unidad de Registro de Agroquímicos. Disponible en [https://www.sfe.go.cr/DocsStatusRegistro/Formulados\\_aprobados\\_bajo\\_Decreto\\_39461\\_Perfeccionamiento\\_activo.pdf](https://www.sfe.go.cr/DocsStatusRegistro/Formulados_aprobados_bajo_Decreto_39461_Perfeccionamiento_activo.pdf)
- Taylor, A; Sasser, J. 1983a. Biología, identificación y control de los nematodos de nódulos de la raíz. Consultado dic. 2019. Disponible en [http://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/PNAAQ245.pdf](http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNAAQ245.pdf)
- Taylor, A; Sasser, J. 1983b. Biología, identificación y control de nematodos del nudo de la raíz (especies de *Meloidogyne*). Primera edición. Artes gráficas de la Universidad del estado de Carolina del Norte, USA. 111 p.
- USDA. 2021. Costa Rica: Coffee annual (en línea). Consultado abr. 2019. Disponible en <https://www.fas.usda.gov/data/costa-rica-coffee-annual-6>
- Varela, I; Durán, J; Guzmán, T. 2016. Evaluación in vitro de diez cepas de hongos nematófagos para el control de *Meloidogyne exigua*, *Meloidogyne incognita* y *Radopholus similis*. *Tecnología en marcha* 30(1):27-37.



Agronomía Costarricense. Universidad de Costa Rica. Se encuentra licenciada con Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Costa Rica. Para mayor información escribir a [rac.cia@ucr.ac.cr](mailto:rac.cia@ucr.ac.cr)