

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR  
ESCUELA DE CIENCIAS AGRARIAS**

**Efectividad y viabilidad económica del nematicida Nemaxxion Biol y el bioestimulante Radiax® sobre las poblaciones de *Meloidogyne* spp. y *Pratylenchus* spp. y el desarrollo vegetativo y productivo del café (*Coffea arabica*) en la Hacienda Pilas, Naranjo, Costa Rica**

Anteproyecto para Trabajo Final de Graduación – Modalidad Tesis

**Estudiante**

Andrea Quirós Castro

**Tutor**

M. Sc. Walter Peraza Padilla

**Asesores**

Dr. Eduardo Salas Alvarado

Lic. Tatiana Zamora Araya

Campus Omar Dengo  
Heredia, Costa Rica, 2019

**Efectividad y viabilidad económica del nematicida Nemaxxion Biol y el bioestimulante Radiax® sobre las poblaciones de *Meloidogyne* spp. y *Pratylenchus* spp. y el desarrollo vegetativo y productivo del café (*Coffea arabica*) en la Hacienda Pilas, Naranjo, Costa Rica**

Andrea Quirós Castro

**Trabajo final de graduación de tesis sometida a consideración del tribunal examinador de la Escuela de Ciencias Agrarias para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Agronómica**

**Trabajo final de Graduación presentado como requisito parcial para optar al grado de  
Licenciado en Ingeniería Agronómica**

**Tribunal Examinador**

---

M. Sc. Allan González Herrera  
Representante FCTM

---

Dr. Evelio Granados Carvajal  
Director Escuela de Ciencias Agrarias

---

M. Sc. Walter Peraza Padilla  
Director de Tesis

---

Ph.D. Eduardo Salas Alvarado  
Asesor

---

Lic. Tatiana Zamora Araya  
Asesora

---

Andrea Quirós Castro  
Sustentante

**DEDICATORIA**

A mi mamá, por el apoyo que me ha brindado todos estos años de estudio. Por sus consejos, ayuda y por la motivación constante que me ha permitido terminar esta fase académica, pero más que nada, por su amor.

A mi papá, que siempre me brindó la ayuda económica necesaria para cumplir todas las metas que me propusiera.

A mis hermanos Pablo y Viviana, por siempre estar ahí y ayudarme en lo que necesite.

A Walter Peraza Padilla, porque además de ser mi tutor, ha sido quién me impulsó y me motivó a no rendirme para concluir la tesis.

A mi novio Daniel Gareca, por su paciencia, por motivarme y ayudarme a dar el último paso para concluir esta etapa.

## AGRADECIMIENTOS

Gracias a mis papás, sin ellos nada de esto sería posible, ellos son mi pilar y mi apoyo para lograr lo que me proponga. Sin la ayuda económica que me brindaron, los consejos y la educación este proyecto no hubiera sido posible.

A mis hermanos, porque siempre están presentes en mi vida y me brindan todo el apoyo necesario para que yo siga adelante con mis metas.

Gracias a la Universidad Nacional (UNA) por permitir convertirme en una profesional en lo que tanto me apasiona. Al laboratorio de Nematología de la Escuela de Ciencias Agrarias de la UNA por brindarme el equipo y materiales necesarios para la elaboración de mi proyecto para la obtención de la Licenciatura en Ingeniería en Agronomía.

A mi tutor Walter Peraza Padilla, por apoyarme en todo el proceso de la elaboración de la tesis. Siempre confió en mí y me impulsó a través de los años para no rendirme y lograr concluirlo.

A la empresa FJ Orlich, por abrirme las puertas y darme la oportunidad de realizar este proyecto en ella, y por brindarme la ayuda financiera para lograr que el proyecto se lograra realizar.

A Mainor Fernández, por ser mi mentor y mi apoyo en este proyecto, sin sus conocimientos e ideas este proyecto no se hubiera realizado. Gracias por siempre estar disponible para ayudarme en todo momento.

Al profesor Eduardo Salas, por ayudarme con el análisis estadístico de los resultados obtenidos.

A Tatiana Zamora, por ser parte de este proyecto y ayudarme a que se haga realidad.

## RESUMEN

El nematodo agallador de la raíz (*Meloidogyne* spp.) y el nematodo lesionador (*Pratylenchus* spp.), son dos géneros que ocasionan grandes pérdidas en el cultivo del café. Una práctica común para combatirlos es la utilización de productos químicos, que en ocasiones, no son lo suficientemente efectivos, aparte de que son una práctica costosa y tóxica no solo para el humano y sino que también para el ambiente. Por lo anterior, es necesario buscar nuevas y eficaces alternativas para el combate de nematodos. El objetivo de esta investigación fue evaluar un nematicida biológico (Nemaxxion Biol) como una alternativa para reducir las poblaciones de fitonematodos. Se comparó con un nematicida químico (Counter®), con un bioestimulante (Radiax®) y por último, un testigo absoluto. Asimismo, se determinó si los productos lograban mejorar la parte vegetativa y productiva de las plantas y finalmente, se realizó un estudio de viabilidad para determinar la rentabilidad del mismo. 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. La aplicación de Nemaxxion Biol aumentó las poblaciones en un 88%, el Counter en un 30%, el Radiax® en un 137% y por último, el testigo aumentó un 134%. En cada fecha evaluada no hubo diferencias significativas en las variables vegetativas, como en el número de nudos, número de hojas, número de palmilla y largo de bandola. Con respecto a las variables productivas, tampoco se observaron diferencias significativas entre tratamientos en cada fecha evaluada, donde el tratamiento con mayor cantidad de fanegas por hectárea (F/haTn) fue el Testigo con 34.14 fanegas/ha, seguido por el Counter con 32.57 fanegas/ha, el Nemaxxion Biol con 29.72 fanegas/ha y por último, al Radiax® con 29.03 fanegas/ha. Finalmente, al realizar el estudio de Tasa Marginal de Retorno (TMR), se determinó que el tratamiento testigo fue el que presentó un mayor beneficio neto, por lo que se concluyó que en un cafetal adulto con condiciones similares a las de este estudio, la utilización de nematicidas implica costos adicionales que son lo suficientemente altos para no justificar un cambio de tecnología.

**ABSTRACT**

The root-knot nematode (*Meloidogyne* spp.) and the lesion nematode (*Pratylenchus* spp.), are two genera that cause great losses in coffee cultivation. A common practice to fight them is the use of chemical products, which are sometimes not effective enough, apart from the fact that they are an expensive and toxic practice not only for humans but also for the environment. Therefore, it is necessary to look for new and effective alternatives to fight nematodes. The purpose of this research was to evaluate a biological nematicide (Nemaxxion Biol) as an alternative to reduce phytonematode populations. It was compared with a chemical nematicide (Counter®), with a biostimulant (Radiax®) and finally, a control sample. Likewise, it was determined if the product was able to improve the vegetative and productive aspects of the plants and finally, a feasibility study was carried out to determine its profitability. No significant differences were found between treatments, that is, none of the alternatives evaluated managed to reduce the population of nematodes, on the contrary, populations increased after 3 months of application of the products. The application of Nemaxxion Biol increased the populations by 88%, the Counter by 30%, the Radiax® by 137% and finally, the populations increased in the control sample by 134%. Each evaluated date showed no significant differences in the vegetative variables, number of knots, number of leaves, number of secondary branches and length of branches. Regarding the productive variables, no significant differences were observed between treatments on each evaluated date, where the treatment with the greatest amount of fanegas per hectare (F/haTn) was the control sample with 34.14 fanegas/ha, followed by the Counter with 32.57 fanegas/ha, the Nemaxxion Biol with 29.72 fanegas/ha and finally, the Radiax® with 29.03 fanegas/ha. Finally, when performing the Marginal Rate of Return (MRR) analysis, it was determined that the control sample treatment was the one that showed the greatest net benefit, so it was concluded that in an adult coffee plantation with similar conditions to those of this study, the use Nematicides involve additional costs that are high enough not to justify a change in technology.

## Tabla de Contenidos

Dedicatoria .....	IV
Agradecimientos.....	V
Resumen .....	VI
Abstract .....	VII
Lista de Tablas .....	X
Lista de Figuras .....	XI
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1    Objetivo General.....	3
1.2    Objetivos Específicos .....	3
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>4</b>
2.1    Principales países productores de café a nivel mundial .....	4
2.2    Exportaciones mundiales de café .....	5
2.3    Importaciones mundiales de café .....	6
2.4    Consumo mundial de café .....	7
2.5    Precios internacionales del café.....	8
2.6    Variedad Catuaí .....	9
2.7    Nematodos .....	10
2.7.1 <i>Pratylenchus</i> spp.....	11
2.7.2 <i>Meloidogyne</i> spp.....	11
2.8    Control de nematodos.....	13
2.9    Bioestimulantes .....	14
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>16</b>
3.1    Localización y periodo del experimento .....	16
3.2    Tratamientos .....	16
3.2.1    Radiax® .....	17
3.2.2    Nemaxxion Biol .....	17
3.2.3    Counter.....	17
3.3    Aplicación de productos en campo.....	18
3.4    Unidades de muestreo.....	19
3.4.1    Unidad de muestreo de la evaluación vegetativa (UdM).....	19
3.4.2    Unidad de muestreo de la evaluación de las poblaciones de nematodos (UdM).....	19
3.5    Diseño experimental .....	19
3.6    Evaluaciones .....	20
3.6.1    Muestreo de nematodos .....	20
3.6.2    Análisis de muestras .....	21
3.6.3    Extracción de nematodos .....	21
3.6.4    Conteo de la población de nematodos .....	22
3.6.5    Evaluación vegetativa .....	22
3.6.5.1    Evaluación vegetativa (Evaluación 1).....	22
3.6.5.2    Antes de la primera aplicación de los productos (Evaluación 1a) .....	22
3.6.5.3    Antes de la segunda aplicación de los productos (Evaluación 1b) .....	22



	IX
3.6.5.4 En cosecha (Evaluación 1c) .....	23
3.6.6 Evaluación productiva .....	23
3.6.6.1 Conteo y medición de frutos cuajados (Evaluación 2a, 2b y 2c) .....	23
3.6.6.2 Determinación de bandolas promedio (Evaluación 3) .....	23
3.7 Rendimiento: .....	23
3.7.1 Granos promedio por planta por tratamiento (GP/P <sub>Tn</sub> ).....	24
3.7.2 Fanegas por hectáreas por tratamiento (F/ha <sub>Tn</sub> ) .....	24
3.8 Análisis estadístico .....	25
3.9 Determinación de la viabilidad económica .....	25
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	26
4.1 Efecto del nematocida Nemaaxion Biol y el bioestimulante Radiax® sobre las poblaciones de <i>Meloidogyne</i> spp. en raíz. ....	26
4.2 Efecto del nematocida Nemaaxion Biol y el bioestimulante Radiax® sobre las poblaciones de <i>Meloidogyne</i> spp. en suelo. ....	31
4.3 Efecto del nematocida Nemaaxion Biol y el bioestimulante Radiax ® sobre las poblaciones de <i>Pratylenchus</i> spp. en suelo y raíz. ....	35
4.4 Evaluación del desarrollo vegetativo y productivo de las plantas de café .....	35
4.4.1 Evaluación del desarrollo vegetativo .....	35
4.4.2 Efecto de los nematocidas sobre las raíces .....	40
4.4.3 Evaluación de la productividad.....	43
4.4.3.1 Rendimiento .....	43
4.5 Determinación de la viabilidad económica del uso de los nematocidas. ....	44
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	47
5.1 Conclusiones.....	47
5.2 Recomendaciones .....	47
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	49
<b>ANEXOS</b> .....	56
Anexo A. Análisis de nematodos en el 2015 en el lote experimental, Naranjo. ....	56
Anexo B. Tabla análisis físico del suelo, Naranjo. ....	56
Anexo C. Fotomicrografías de la población de <i>M. exigua</i> identificada en una plantación de café. ..	57
Anexo D. Poblaciones de <i>Meloidogyne</i> spp. en suelo y raíz de café. ....	58
Anexo E. Costo de manejo del café en la finca.....	59
Anexo F. Cálculo de beneficios brutos en campo. ....	59
Anexo G. Cálculo detallado del Costo de cada uno de los tratamientos por hectárea. ....	59

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Consumo Mundial de Café por Bloque Continental, Miles de Sacos de 60kg, años 2014-15 a 2017-18.....	8
<b>Tabla 2.</b> Composición química del producto Radiax® .....	17
<b>Tabla 3.</b> Composición biológica del Nemaxxion.....	17
<b>Tabla 4.</b> Composición química del Counter.....	18
<b>Tabla 5.</b> Estimación de producción café cereza (F/ha <sub>Tn</sub> ), cosecha 16/17 en Hacienda.....	43
<b>Tabla 6.</b> Datos del experimento del uso de nematicidas por hectárea.....	44
<b>Tabla 7.</b> Beneficios netos del uso de nematicidas por hectárea.....	45
<b>Tabla 8.</b> Análisis de Dominancia de los nematicidas.....	45

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Principales países productores de café participación en la producción Mundial promedio cosecha 2016-17 y 2017-18.....	4
<b>Figura 2.</b> Exportación Mundial de todas las formas de café a todos los destinos- Millones sacos 60 kg. Años cafetaleros (Oct-Set): Cosecha 2008-2009 a la cosecha 2017-2018.....	5
<b>Figura 3.</b> Estructura Porcentual de las Exportaciones Mundiales de Café, ciclo 2016-2017. ....	6
<b>Figura 4.</b> Estructura Porcentual de las Importaciones Mundiales de Café, ciclo 2016-2017. ....	7
<b>Figura 5.</b> Precios del café cotizados en New York en Intercontinental Exchange (USD/45.36KG*) Enero de 2014 a Octubre 2018.....	9
<b>Figura 6.</b> Ciclo de vida de los nematodos agalladores del género <i>Meloidogyne</i> spp.....	12
<b>Figura 7.</b> Croquis de diseño experimental de bloques completos con 4 repeticiones por tratamiento. ....	19
<b>Figura 8.</b> Plantas en un bloque a las que se les realizó las evaluaciones. ....	20
<b>Figura 9.</b> Población de <i>Meloidogyne</i> en 100 g de raíz antes y después de la aplicación de los productos. ....	26
<b>Figura 11.</b> Variables vegetativas muestreadas para cada tratamiento días después de la aplicación de productos. ....	36
<b>Figura 12.</b> Lluvia acumulada (mm) por año y mes, en el año 2016 y en promedio desde el 2009-2017. ....	37
<b>Figura 13.</b> Desarrollo vegetativo de las plantas a los 97 días después de la aplicación de los nematicidas. A. Radiax®, B. Nemaxxion, C. Counter, D. Testigo. Naranjo de Alajuela. 2016.....	39
<b>Figura 14.</b> Sistemas radicales de plantas de café a los 97 días después de la aplicación de los nematicidas. A. Radiax®, B. Nemaxxion, C. Counter, D. Testigo. Naranjo de Alajuela. 2016.....	41

## INTRODUCCIÓN

El café ha sido a lo largo de la historia un pilar fundamental para la sociedad costarricense, siendo un motor para su desarrollo y economía nacional. Por este motivo, es que en Costa Rica el café se conoce como el “Grano de Oro” (Aguilar, 2012). El sector cafetalero sigue manteniendo su importancia cultural y económica en Costa Rica, por ejemplo, para la cosecha 2014-2015 un total de 26527 fincas produjeron 1 883 162,45 sacos de 46 kg, de ellas el 85% fueron destinadas a exportación, desde la cosecha 2011-2012 el dato de producción experimentaba un decrecimiento hasta la cosecha 2015-2016 donde la producción de todo el país alcanzó 2.130.504 sacos, exportando el 82% de acuerdo con las bases de datos del ICAFE (Castro, 2017).

La producción de café (*Coffea arabica*) en Costa Rica se encuentra en su mayoría en manos de medianos y grandes cafetaleros, los cuales representan aproximadamente el 20% de los productores nacionales. 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 productos químicos para el ataque de nematodos es una práctica común que en ocasiones, no son lo suficientemente efectivos. Por otra parte son costosos y tóxicos para el humano y el ambiente (Franco, 1986). Muchos de estos insumos agrícolas han sido retirados del mercado, o su uso está fuertemente restringido; lo que conlleva que a los agricultores se les sume la dificultad de poder contar con soluciones que sean efectivas y compatibles con el ambiente (Navia, 1999). Por lo anterior, 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).

Para disminuir las poblaciones de nematodos se implementa el uso de los bioplaguicidas, que además de constituir una opción amigable con el ambiente, tienen un efecto sobre el crecimiento, desarrollo de las plantas y su persistencia o supervivencia en el suelo. Entre los principales grupos microbianos con potencialidades como agentes de control biológico de nematodos, destacan bacterias del género *Bacillus* y *Pasteuria penetrans* y hongos como *Purpureocillium lilacinus*, *Arthrobotrys irregularis* y algunas especies de *Trichoderma* (Novasys, 2015).

La búsqueda de alternativas para combatir los nematodos en café es de suma importancia, ya que en este cultivo se encuentra el nematodo agallador de la raíz (*Meloidogyne* spp.), y el nematodo lesionador (*Pratylenchus* spp.), dos géneros que ocasionan grandes pérdidas en este cultivo. Ambos fitonematodos están presentes en la mayoría de las zonas cafetaleras de Costa Rica (Calderón, 2013).

Así por ejemplo, se estima que el nematodo agallador *Meloidogyne* spp. puede llegar a ocasionar pérdidas entre 10 y 24% en el rendimiento de cafetales de América Latina, y *Pratylenchus* spp. puede causar en menos de 6 meses más del 95% de podredumbre del sistema radical en café (Araya, 1990).

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 del nematicida biológicos Nemaxxion Biol en poblaciones de *Meloidogyne* spp. y *Pratylenchus* spp., y comparar su eficacia y rentabilidad económica en plantaciones de café en Naranjo, Alajuela, Costa Rica.

## 1.1 Objetivo General

- Evaluar el efecto de Nemaxxion Biol y Radiax® sobre las poblaciones de *Meloidogyne* spp. y *Pratylenchus* spp. el desarrollo vegetativo y productivo del cultivo de café y rentabilidad económica del uso de estos productos, para buscar disminuir las poblaciones de dichos nematodos en café.

## 1.2 Objetivos Específicos

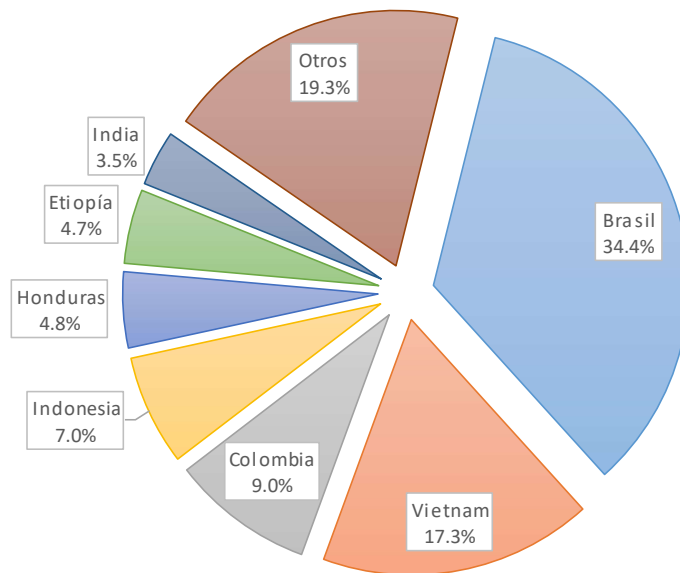
- Analizar el efecto del nematocida Nemaxxion Biol y el bioestimulante Radiax® sobre las poblaciones de *Meloidogyne* spp. y *Pratylenchus* spp. en una plantación de café de tres años, mediante el conteo de las poblaciones en campo antes y después de su aplicación, para buscar disminuir las poblaciones de dichos nematodos en café.
- Evaluar el desarrollo vegetativo y productivo de las plantas de café de tres años, después de ser tratadas con el nematocida biológico Nemaxxion Biol y el bioestimulante Radiax®, para comprobar si existe alguna diferencia vegetativa y productiva al utilizar nematocidas.
- Determinar la viabilidad económica del uso del nematocida biológico Nemaxxion Biol y el bioestimulante Radiax® en una plantación de café de tres años de establecida, para determinar qué tan viable es utilizar nematocidas en la plantación en estudio.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Principales países productores de café a nivel mundial

El área total plantada con café en 2016-2017 fue de 2.223.464 hectáreas, lo que representó una disminución del 1.1% respecto a las 2.248.713 hectáreas en la cosecha 2015-2016. Del total de área cultivada con café en 2016-2017 un 87.7% (1.95 millones de hectáreas) se encontraba en producción y la superficie restante en formación. Es importante resaltar que el área total cultivada con café en Brasil se ha disminuido desde los 2.45 millones de hectáreas a inicios de la década del 2000, hasta los 2.22 millones de hectáreas actuales (ICAFFE, 2017).

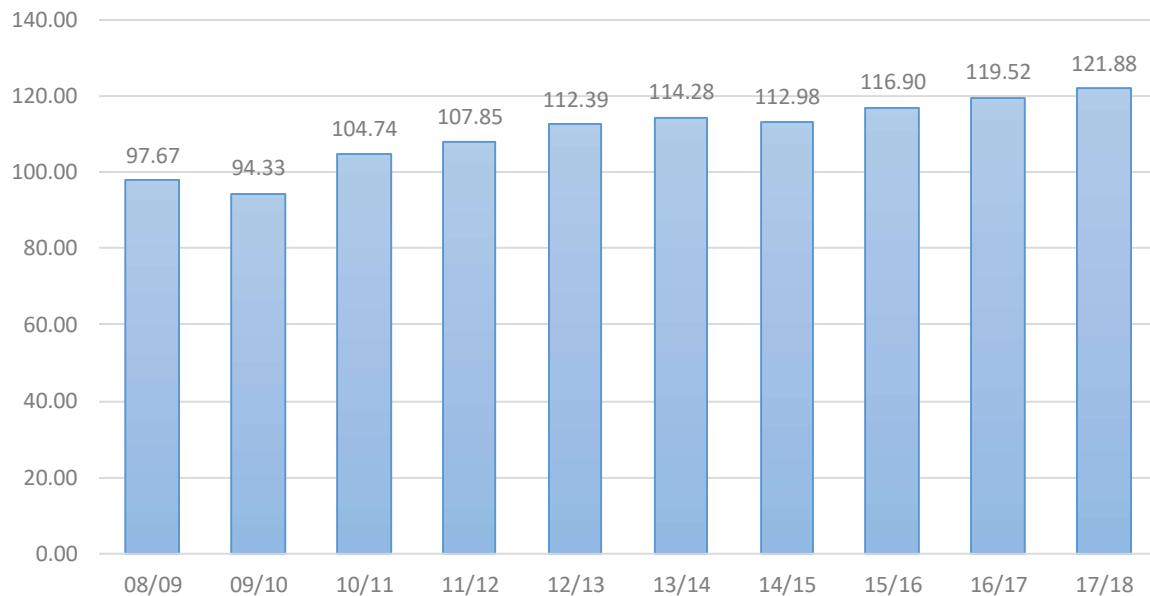
La producción de Brasil, país que históricamente ha sido y es el mayor productor de café, promedió en las cosechas 2016-17 a 2017-18 el 34.4% de la producción mundial, seguido por Vietnam (17.3%), Colombia (9.0%) e Indonesia (7.0%) (Figura 1). En la cosecha cafetalera 2017-2018 Costa Rica ocupó el décimo tercer lugar entre los países productores, aportando el 0.98 % de la producción mundial de café. Diez años atrás, en la cosecha 2008-2009 nuestro país tuvo una participación del 1.0% (ICAFFE, 2018).



**Figura 1.** Principales países productores de café participación en la producción Mundial promedio cosecha 2016-17 y 2017-18. Fuente: Organización Internacional del Café.

## 2.2 Exportaciones mundiales de café

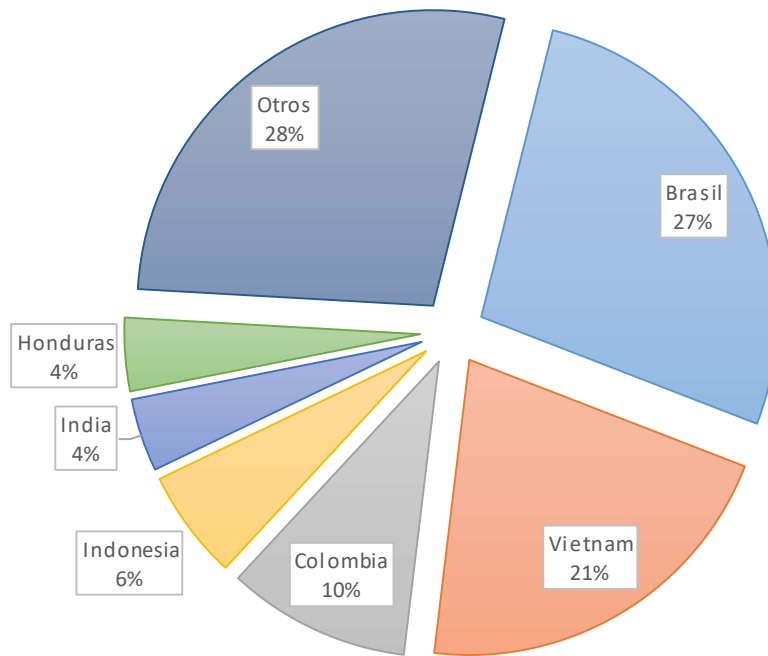
La Organización Internacional del Café (OIC), reportó que las exportaciones de todas las formas de café a todo destino durante el año cafetalero 2017-2018 (Oct-Set), alcanzaron los 121.88 millones de sacos de 60 kg, lo que representó un incremento del 1.97% con respecto al mismo periodo de 2016-2017. Este es el tercer año consecutivo de incremento de las exportaciones mundiales de café, luego de la disminución experimentada en el año cafetalero 2014-2015 (Figura 2) (ICAFE, 2018).



**Figura 2.** Exportación Mundial de todas las formas de café a todos los destinos- Millones sacos 60 kg. Años cafetaleros (Oct-Set): Cosecha 2008-2009 a la cosecha 2017-2018. **Fuente:** Organización Internacional del Café.

Como se observa en la Figura 3, Las exportaciones mundiales de café, en el ciclo 2016/2017, fueron de 127.8 millones de sacos de 60 kg, menores en 4.0% a las obtenidas en el ciclo anterior. Las exportaciones brasileñas de café representan el 27% de las exportaciones mundiales (ASERCA, 2017).

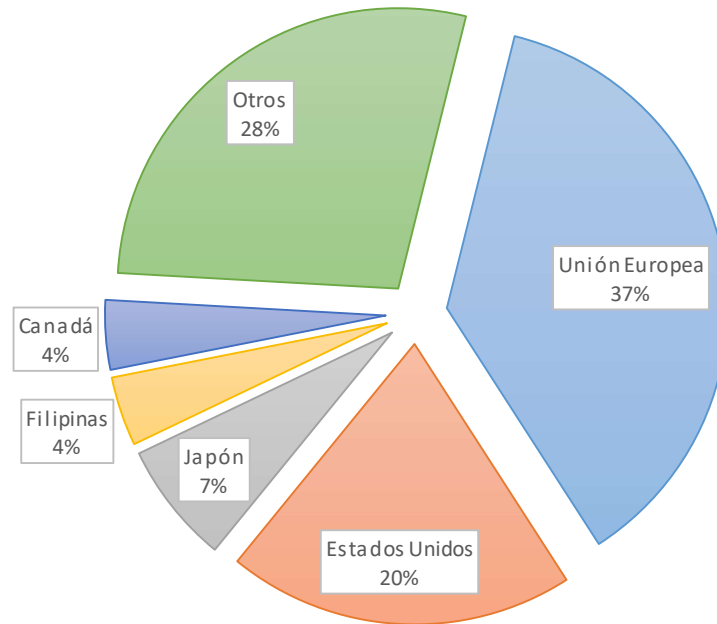




**Figura 3.** Estructura Porcentual de las Exportaciones Mundiales de Café, ciclo 2016-2017.

### 2.3 Importaciones mundiales de café

La Unión Europea ocupa el primer lugar en importaciones de café. Para el ciclo 2016/17 importó 45.5 millones de sacos de 60 kg (37% del total importado en el mundo). De 2007 a 2017 las importaciones de esta región aumentaron en promedio anual 0.5%. Las importaciones de Estados Unidos, segundo comprador de café en el mercado mundial obtuvo un crecimiento promedio anual, de 2007 a 2017 de 1.5% (Figura 4) (ASERCA, 2017).



**Figura 4.** Estructura Porcentual de las Importaciones Mundiales de Café, ciclo 2016-2017.

## 2.4 Consumo mundial de café

Como se observa en la tabla 1, el crecimiento más fuerte del consumo de café en los últimos cuatro años se registró en Asia y Oceanía, con una tasa media anual del 3.1%, muy por encima de la media mundial. Norteamérica también mostró un fuerte crecimiento anual promedio del 3.5% en los cuatro últimos años, en los que añadió una nueva demanda de 2.98 millones de sacos de 60 kg. Según la encuesta de tendencias realizada por la Asociación Nacional del Café, en los Estados Unidos de América mucho del crecimiento del consumo se debió al aumento en la preferencia de los consumidores más jóvenes por bebidas gourmet a base de expreso (ICAFE, 2018).

**Tabla 1.** Consumo Mundial de Café por Bloque Continental, Miles de Sacos de 60kg, años 2014-15 a 2017-18.

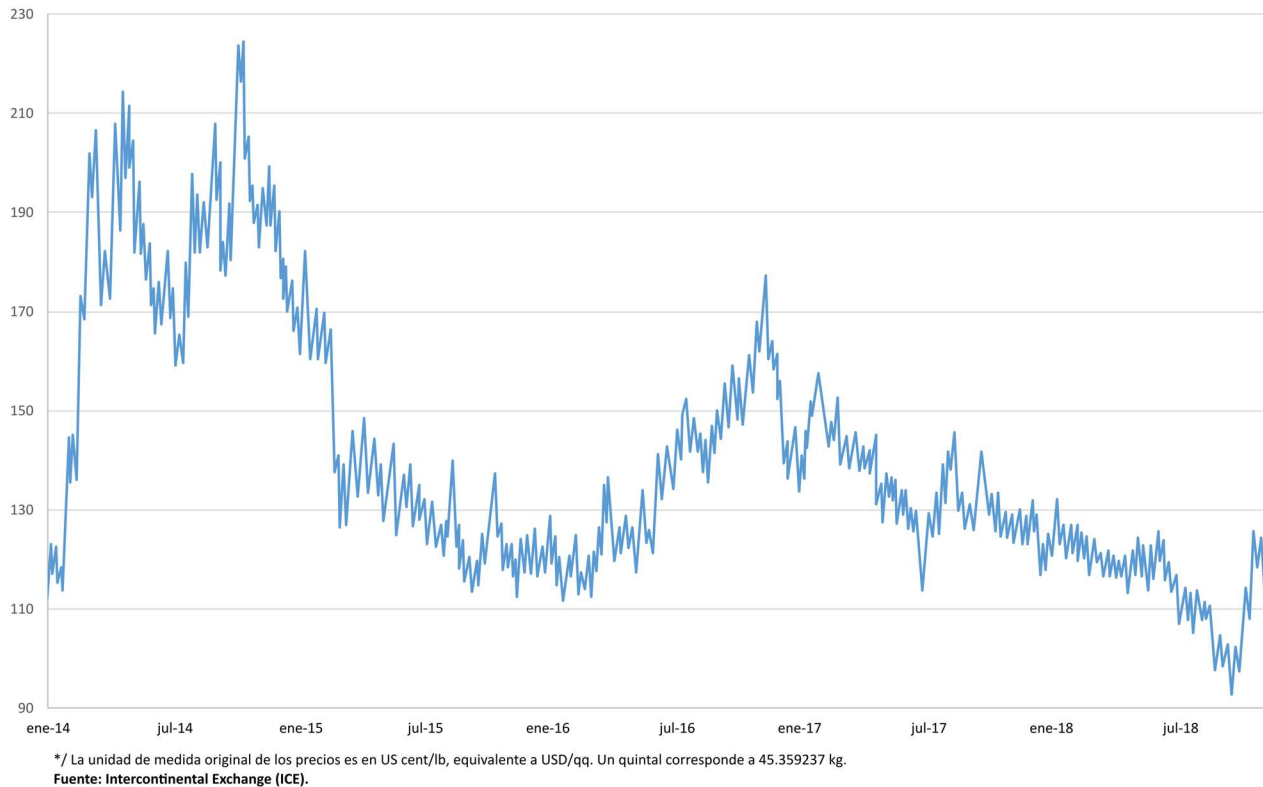
Bloque Continental	Año de Referencia*				Part. 2017	2017 vs 2016	
	2014-15	2015-16	2016-17	2017-18		Abs.	Porc.
África	10,709	10,933	10,901	11,084	6.8%	183	1.7%
Asia & Oceanía	32,775	33,678	34,811	35,904	22.2%	1,093	3.1%
México & C.America	5,230	5,296	5,212	5,302	3.3%	90	1.7%
Europa	51,043	51,828	52,070	52,322	32.3%	252	0.5%
Norte América	27,363	28,934	29,559	30,339	18.7%	781	2.6%
Sur América	25,048	25,615	26,505	26,975	16.7%	470	1.8%
<i>Países Exportadores</i>	<i>47,202</i>	<i>48,270</i>	<i>49,301</i>	<i>50,546</i>	<i>31.2%</i>	<i>1,245</i>	<i>2.5%</i>
<i>Países Importadores</i>	<i>104,966</i>	<i>108,014</i>	<i>109,756</i>	<i>111,380</i>	<i>68.8%</i>	<i>1,624</i>	<i>1.5%</i>
<b>Consumo Mundial</b>	<b>152,168</b>	<b>156,284</b>	<b>159,057</b>	<b>161,926</b>	<b>100.0%</b>	<b>2,869</b>	<b>1.8%</b>

\* / Año cosecha para países exportadores y año cafetalero para países importadores.

Fuente: Organización Internacional del Café.

## 2.5 Precios internacionales del café

En el año 2014 los precios iniciaron un vertiginoso ascenso debido a las preocupaciones que el clima causaba sobre la cosecha de Brasil, después del aumento en noviembre del 2016, los precios del café experimentaron una tendencia a la baja, con aumento solo en seis de los últimos veinticuatro meses (Figura 5) (ICAFFE, 2018).



**Figura 5.** Precios del café cotizados en New York en Intercontinental Exchange (USD/45.36KG\*) Enero de 2014 a Octubre 2018. **Fuente:** Organización Internacional del Café.

## 2.6 Variedad Catuaí

Hoy en día la variedad Catuaí está muy extendida en América Latina. Existen tanto variedades con frutos amarillos como rojos, es una planta vigorosa y de alto rendimiento. La variedad Catuaí forma la columna vertebral del 50% de todas las variedades de café cultivadas en Brasil (ICAFFE, 2011).

La variedad Catuaí es económicamente importante en Costa Rica, esta variedad se introdujo por primera vez en 1985, cuyos descendientes se han extendido ampliamente por todo el país. Actualmente, alrededor del 20% de la producción del país proviene de la variedad Catuaí (Word Coffee Research, 2018).

Esta variedad es el resultado del cruzamiento de Caturra por Mundo Novo (el Mundo Novo es una mutación de Sumatra). Es de porte pequeño con entrenudos cortos, aunque un poco más alto y ancho que el Caturra. Presenta una gran uniformidad genética, tiene la propiedad de producir mucho crecimiento secundario en las bandolas (palmilla) aún desde pequeño, ese hecho le da un potencial de

muy alta producción (ICAFE, 2011). Es una variedad muy susceptible a la roya y a nematodos fitoparásitos (Word Coffee Research, 2018).

## 2.7 Nematodos

Según Castillo (2005), los nematodos son gusanos cilíndricos con simetría bilateral, de tamaño microscópico, poseen la mayoría de los sistemas fisiológicos principales de los animales superiores, excepto el circulatorio y respiratorio. Las especies parásitas de plantas son pequeñas, su longitud varía de 0,5 a 3 mm y su anchura de 0,01 a 0,5 mm. Casi todos son cilíndricos y delgados; sin embargo, las hembras de algunas especies parásitas de plantas tienen formas variadas, como de pera o limón. En general los nematodos que viven en el suelo son translucidos.

Los problemas ocasionados por los nematodos fitoparásitos juegan un papel vital en la producción de los cultivos. Muchas veces, estos daños son ignorados o se atribuyen a otras causas como la fertilización inadecuada, el escaso contenido de humedad o el agotamiento del suelo. Los fitonematodos pasan desapercibidos porque no son visibles a simple vista y por la falta de expresión específica de los síntomas que ocasionan (González y Franco, 2008).

Los nematodos pueden producir síntomas característicos según la especie, que se refleja a nivel radicular con la aparición de agallas, lesiones necróticas en las raíces, proliferación de raíces secundarias y pobre crecimiento radicular, lo que se traduce en clorosis y en plantas débiles con pobre crecimiento (Talavera, 2003). En el caso de las plantas de café, no permiten que ellas se desarrollen normalmente y expresen plenamente su potencial productivo. Los nematodos se reproducen en su mayoría durante el período lluvioso pero sus daños en las plantas se acentúan durante el período seco (Escobar, 2008).

Cruz (2013), menciona que los nematodos que más afectan al café por su frecuencia y abundancia en los cafetales, son los endoparásitos migratorios del género *Pratylenchus* del cual las especies *P. coffeae*, *P. gutierrezii*, *P. brachyurus*, *P. pratensis*, *P. loosi*, *P. goodeyi* y *P. zae*. En el caso de los nemátodos endoparásitos sedentarios del género *Meloidogyne*, se reconocen 17 especies parásitas de café, entre las que destacan *M. exigua*, *M. incognita*, *M. javanica*, *M. hapla*, *M. arenaria* y *M. coffeicola*.

### 2.7.1 *Pratylenchus* spp.

Los nematodos pertenecientes al género *Pratylenchus*, son endoparásitos migratorios altamente polífagos. Los adultos y juveniles de diferentes estadios migran constantemente desde y hacia el interior de las raíces. Su ciclo de vida completo se lleva a cabo en las raíces donde no forma agallas, pero destruye la región cortical de las raíces. Tanto las formas juveniles como las adultas perforan y se alimentan de las células corticales hasta destruirlas, lo que produce una serie de galerías. Allí son dejados los huevos y los excrementos, lo que produce un punto de penetración y desarrollo para otros microorganismos (García, 2004).

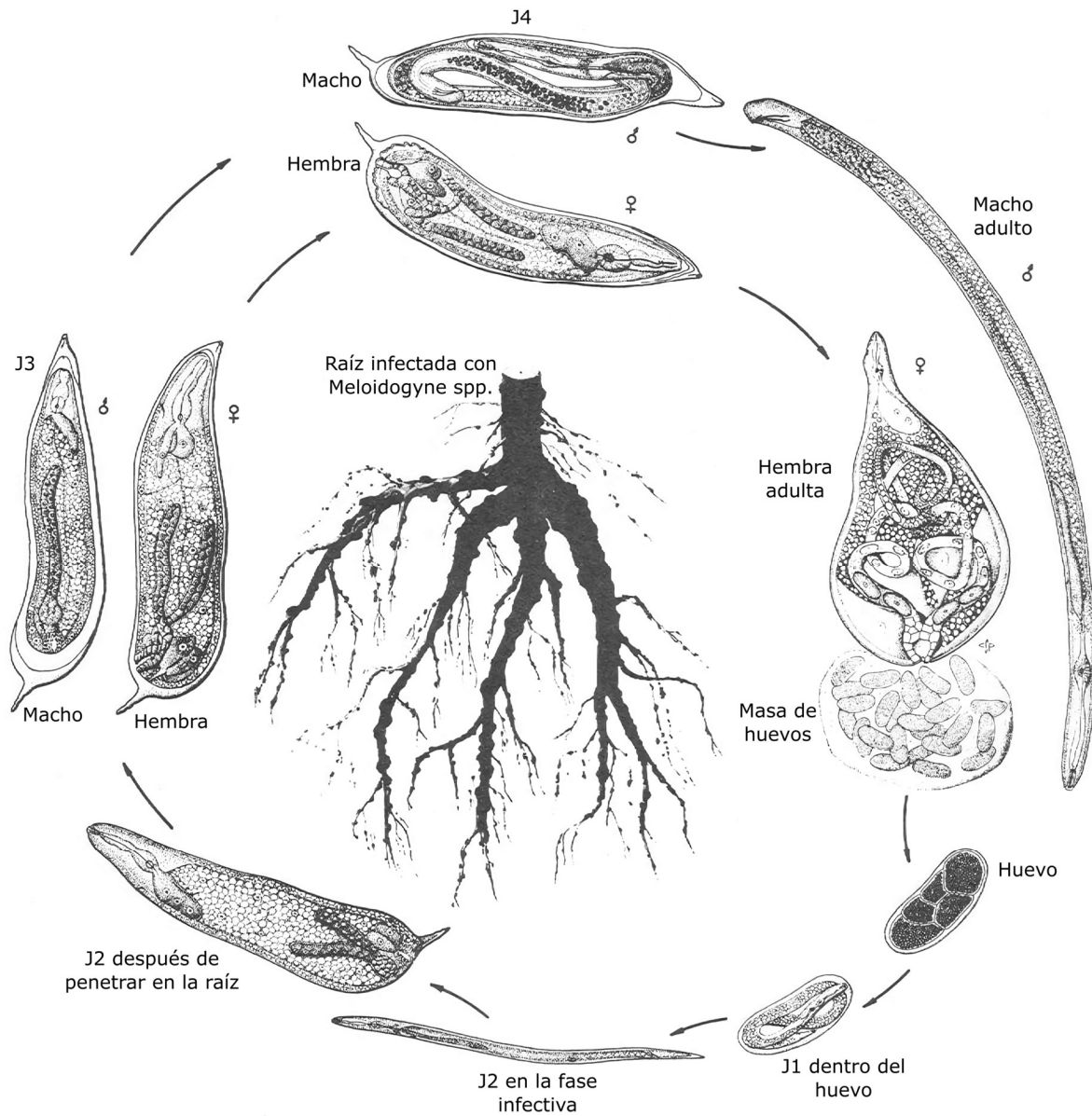
Este nematodo causa a nivel aéreo en la planta, defoliación temprana, disminución de la producción, uniformidad y muerte temprana del cultivo, mientras que a nivel de raíz los nematodos al estar concentrados en un área de ataque pueden provocar lesiones radiculares necróticas. Todos los estados son infectivos y capaces de entrar a la raíz, al ingresar los nemátodos a la raíz comienzan su alimentación en el parénquima, produciendo un daño considerable que no sólo se limita a la corteza radicular (Meza, 2017).

### 2.7.2 *Meloidogyne* spp.

En el caso de *Meloidogyne* spp., según López (2009), afectan las plantaciones de café y tanto el estado adulto macho y hembra son fácilmente identificables morfológicamente, ya que los machos tienen forma vermiforme y miden aproximadamente de 1.2 a 1.5 mm de largo por 0.30 a 0.36 mm de ancho. En el caso de las hembras tienen forma de pera y un tamaño aproximado de 0.40 a 1.30 mm de largo por un ancho de 0.27 a 0.75mm.

Las especies de *Meloidogyne* (nematodo agallador de la raíz) son endoparásitos sedentarios. Su reproducción ocurre solamente cuando el segundo estadio larval infectivo ( $J_2$ ) penetra en las raíces u otras partes subterráneas de una planta, migra por el interior de las raíces sin romper las células, e inicia el desarrollo de células gigantes en las cuales pueda alimentarse y desarrollarse hasta convertirse en hembras que producen huevos. Los huevos eclosionan dando origen a una nueva generación de larvas infectivas del segundo estadio (Escobar, 2008).

El ciclo de vida de *Meloidogyne* spp. comprende: huevo, cuatro estadios juveniles y el adulto, la duración de cada uno de estos estadios difiere en cada especie y depende de otros factores como la temperatura, la humedad y la planta hospedante, conocer el ciclo de vida de este nematodo y de su potencial reproductivo es de suma importancia para su combate (Hernández *et al.*, 2012).



**Figura 6.** Ciclo de vida de los nematodos agalladores del género *Meloidogyne* spp. **Fuente:** Tomado de Papp 1999.

## 2.8 Control de nematodos

Para el control de nematodos se utiliza comúnmente productos químicos; sin embargo, su uso ha ido disminuyendo a consecuencia de la preocupación de los agricultores y la sociedad por los riesgos que estos ocasionan al ambiente y a la salud. Existe una inquietud por parte de investigadores y personas relacionadas con el agro las cuales se han propuesto como reto buscar soluciones entre las cuales está la aplicación de productos biológicos como una alternativa al manejo de nematodos. En el suelo se pueden encontrar una gran variedad de organismos antagónicos a nematodos, de los que se mencionan, hongos, bacterias, nematodos depredadores, protozoarios, parásitos, viroides y virus (Morales, 2006).

Los bioinsecticidas tienen muchas ventajas contra los insecticidas químicos. Su acción insecticida es de alta especificidad, no contaminan el medio ambiente y no son tóxicos para el resto de los insectos beneficiosos, plantas, animales terrestres o acuáticos, ni tampoco para el ser humano (Castillo, 2005).

Los agentes biocontroladores como los organismos que interactúan con los nematodos fitoparásitos en el suelo deben tener algunas características básicas, como lo son no contener patógenos de plantas, hombres o animales, deben ser capaces de suprimir o reducir eficientemente las poblaciones de nematodos por debajo del nivel crítico. Asimismo, deben tener la capacidad de adaptarse a diferentes ambientes del suelo (textura, grado de humedad, composición química, materia orgánica), buena habilidad competitiva, alto potencial de reproducción para tener una población alta. Finalmente, deben tener la capacidad de sobrevivir en épocas difíciles, capacidad de producir antibióticos u otros compuestos que inhiben a los nematodos, habilidad para afectar a más de una especie de nematodos y una dispersión efectiva en el suelo (Piedra, 2008).

Entre los organismos utilizados para combate de nematodos están los hongos que pueden ser formadores de trampas que atrapan los estadios vermiformes libres en el suelo y los hongos parásitos de hembras, quistes, huevos y estadios vermiformes (Jacas, Caballero y Avilla, 2005).

En el caso de *P. lilacinus* es un hongo nematófago muy utilizado en el combate biológico, debido a que parasita huevos de *M. incognita* y nematodos quistes. En 1997 Khan y Saxena establecieron que *P. lilacinus* controlaba efectivamente hembras y huevos de una población de *M. javanica* proveniente de la India. Además, Lara-Martes *et al.*, 1996, demostraron que *P. lilacinus* redujo las poblaciones de



*Meloidogyne* spp. en suelo y raíz con el parasitismo de huevos disminuyendo la nodulación radical e incrementando los rendimientos y beneficios económicos de los cultivos (Morales, 2006). Según Leguizamón y Padilla (2001), en Cenicafé se demostraron resultados promisorios en el control del nematodo del nudo radical *Meloidogyne* spp. con microorganismos antagonistas como los hongos *P. lilacinus*, *Verticillium chlamydosporium* y *Metarhizium anisopliae*.

Otro ejemplo de parasitismo es el que ocurre con cepas de *Trichoderma* sp. que tienen efecto sobre los nematodos, ya que las quitinasas y proteasas de este hongo son muy similares a las de hongos nematófagos que poseen potencial para atacar estos invertebrados. El proceso parasítico y el efecto de las enzimas y metabolitos de *Trichoderma* sobre nematodos pueden ocurrir en el suelo, en el interior de raíces o sobre la superficie de estas (Martínez, Infante, Reyes y (2013).

Varios autores coinciden al afirmar que el hongo antagonista *Trichoderma* spp. es un biorregulador efectivo contra nematodos del género *Meloidogyne* spp., donde se pone de manifiesto la acción de sus toxinas e hifas. Según Mendoza, Colina y Wilson, (2013) en un ensayo, reportaron que el asilamiento T-1 de *Trichoderma* spp. fue el más eficaz en el control de *M. exigua*, logrando parasitar al 53,33% de los huevos de este nematodo. Asimismo, se reportó que todos los tratamientos “in vitro” que realizó con aislamientos de *Trichoderma* sp. parasitaron a los huevos de *M. javanica* envolviéndolos con sus hifas.

Además, el uso de bacterias del género *Bacillus* para el combate de nematodos ha sido investigado. Márquez (2006) menciona que, en una investigación se aplicó la bacteria directamente sobre semillas, plantas y suelos, obteniendo resultados promisorios contra *M. javanica* y *Tylenchulus semipenetrans*. Además estas cepas no causaron fitotoxicidad ni patogenicidad a las plantas tratadas (tomate y plátano) en condiciones semicontroladas y en experimentos de campo.

De acuerdo con Salazar y Guzmán (2014), para el combate de nematodos se pueden utilizar extractos de plantas. Existen unas 57 familias botánicas que contienen compuestos fitoquímicos con potencial para ser usados en el combate de enfermedades de plantas. Algunas de ellas tienen sustancias nematicidas como: terpenos, alcaloides, esteroides, taninos y aceites esenciales, que son compuestos seguros para el ambiente, la salud humana y no son persistentes en el suelo. Entre las plantas que han sido reportadas con propiedades nematicidas se encuentran *Chamaesyce maculata*, *Lantana camara*, *Inula viscosa*, *Bixa Orellana*, *Tagetes erecta* y *Ricinus communis*.

## 2.9 Bioestimulantes

En la agricultura actual, el uso de estimuladores del crecimiento de las plantas es imprescindible. El uso de sustancias activas como los aminoácidos, proteínas u hormonas, son importantes en los procesos de las plantas, el magnesio es necesario para mantener ordenada la estructura del ribosoma y también para la activación de los aminoácidos por el ATP; el zinc es un componente de la ARN-polimerasa (Aliaga, 2009).

La presencia del fósforo (P) disponible en el suelo es vital para la formación de células nuevas. Está comprobado por numerosas investigaciones que un buen suministro de P está asociado con el incremento de la tasa de crecimiento de las raíces. Cuando se aplican compuestos fosfatados solubles en banda al suelo, las raíces de las plantas se extienden proliferando su desarrollo en las áreas del suelo tratado (Martínez, 2016).

Aliaga (2009) menciona que aplicando bioestimulantes a base de aminoácidos a una plantación de café, puede observar un aumento del equilibrio fisiológico de la planta, reducción de efectos negativos producidos por cambios bruscos de temperatura, trasplante, heladas, vendavales, exceso de agua, etc. También se ha observado una recuperación de las plantas luego de condiciones de estrés, función de nutrición inmediata y regulación del equilibrio hídrico. Por otro lado, la aplicación de aminoácidos incrementa la vitalidad de la masa foliar, así como de las yemas latentes.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1 Localización y periodo del experimento

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

El experimento se llevó a cabo de agosto 2016 a diciembre 2017, con plantas de café de tres años de siembra de la variedad Catuaí. En el 2015, la hacienda realizó algunos conteos de nematodos y determinaron la presencia de una población de 70.000 juveniles de *Meloidogyne* spp. y 4.000 *Pratylenchus* spp. (Machos, hembras y juveniles) en 100 g de raíz, por lo que se realizó una aplicación de Counter de 10 g por planta ese mismo año. Además, al lote se le realizó tres fertilizaciones, dos completas 16-2-6 y una Nitrogenada de 85g por planta cada una, esto con el fin de proveer los nutrientes que el cultivo necesita y así obtener frutos de mejor calidad (FAO, 2002). Además, tres aplicaciones foliares con triazoles y con los elementos Calcio, Boro y Zinc con una dosis de 1 litro por hectárea para ayudar a que la planta tuviera un mejor crecimiento y cosechas con mejores rendimientos.

Se aplicó Glifosato con una dosis de 3 litros por hectárea para el control de malezas y en el mes de abril para inducir la floración, de esta manera se aseguró la floración. De acuerdo con ICAFE (S.F) en el mes de abril el suelo en el occidente posee un déficit hídrico acumulado superior a 100 mm, con el cual la planta está preparada para una apertura floral uniforme una vez que reciba el estímulo de la lluvia o el riego adecuado.

### 3.2 Tratamientos

Se evaluaron cuatro tratamientos los cuales fueron un producto biológico, un bioestimulante, un testigo químico y un testigo absoluto sin aplicación. Los productos utilizados fueron los siguientes:

### 3.2.1 Radiax®

Según la empresa Oriuos Biotec, el producto Radiax® tiene una función bioestimulante, ya que, fortalece la salud de las raíces del cultivo y mejora su capacidad de asimilación de los nutrientes, disminuyendo el riesgo por ataque de agentes externos (Tabla 2).

**Tabla 2.** Composición química del producto Radiax®.

Elemento	Porcentaje (%)
Nitrógeno (N)	0.80
Fosforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0.11
Potasio (K <sub>2</sub> O)	0.04
Magnesio (MgO)	0.60
Azufre (S)	0.19
Boro (B)	0.10
Hierro (Fe)	0.16
Proteínas	10.00
Polisacáridos	10.00
Ingredientes Inertes	78.00

### 3.2.2 Nemaxxion Biol

Es un nematocida biológico de amplio espectro que presenta la siguiente composición biológica (Tabla 3).

**Tabla 3.** Composición biológica del Nemaxxion.

Organismo	Porcentaje (%)
<i>Bacillus subtilis</i> (1x10 <sup>8</sup> ufc/ml)	38
Conidios de <i>Trichoderma</i> spp. (1x10 <sup>3</sup> ufc/ml)	10
Conidios de <i>Purpureocillium</i> spp. (1x10 <sup>3</sup> ufc/ml)	30
Extracto de <i>Tagetes erecta</i>	8
Acondicionadores orgánicos y diluyentes	14

### 3.2.3 Counter

Según la empresa AMVAC, Counter es un insecticida-nematicida sistémico organofosforado con acción de contacto y estomacal. Es un inhibidor de la colinesterasa.

**Tabla 4.** Composición química del Counter.

Elemento	Porcentaje (%)
Ingrediente activo: Terbufos	15
Ingredientes inertes	85

### 3.3 Aplicación de productos en campo

Los cuatro tratamientos recibieron el mismo manejo agronómico (productos fitosanitarios, dosis de fertilizantes granulados, aplicación de herbicidas, etc.) y cultural (chapeas, deshierbas, etc). En las fumigaciones realizadas, setiembre y diciembre 2016, se emplearon aspersores de mochila manual marca Carpi de 18 L. La diferencia consistió en la aplicación del tratamiento según correspondió, para:

**Radiax®:** Se diluyó en el mismo envase adicionando agua, se agitó hasta mezclarlo con el agua y después 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 200g/ha y se aplicó directamente en el suelo en horas de la mañana.

**Nemaxxion Biol:** 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 agitando varias veces al día por 48-72 horas. La dosis del producto que se utilizó fue de 4L/ha la cual también se aplicó al suelo en horas de la mañana.

**Counter:** Se utilizó a una cantidad de 10 g de producto alrededor de toda la planta. Las personas aplicaron este producto con el equipo y protección recomendado: guantes, botas de hule, sombrero, overol, anteojos, mascarilla, delantal plástico en la espalda, camisa de manga larga y pantalón largo.

### 3.4 Unidades de muestreo

#### 3.4.1 Unidad de muestreo de la evaluación vegetativa (UdM)

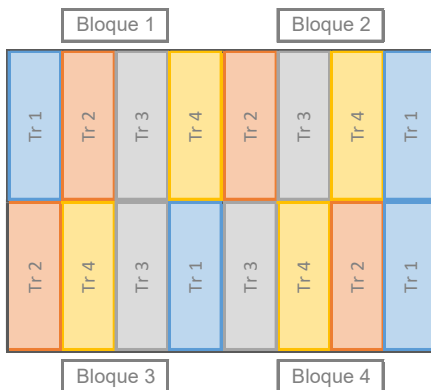
Como unidad de muestreo se utilizaron 2 bandolas por planta efectiva, se seleccionaron a la mitad de la altura de la planta, ya que estas muestran una cantidad representativa de las variables que se van a evaluar. Cada bandola de cada UdM se marcó adecuadamente después de la primera evaluación con el objetivo de continuar realizando las evaluaciones a la misma unidad de muestreo.

#### 3.4.2 Unidad de muestreo de la evaluación de las poblaciones de nematodos (UdM)

Como unidades de muestreo, se utilizarán raíces y el suelo tomado de cada muestreo por planta.

### 3.5 Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar en un área de 9590.162m<sup>2</sup>, con cuatro repeticiones por tratamiento (Figura 7).

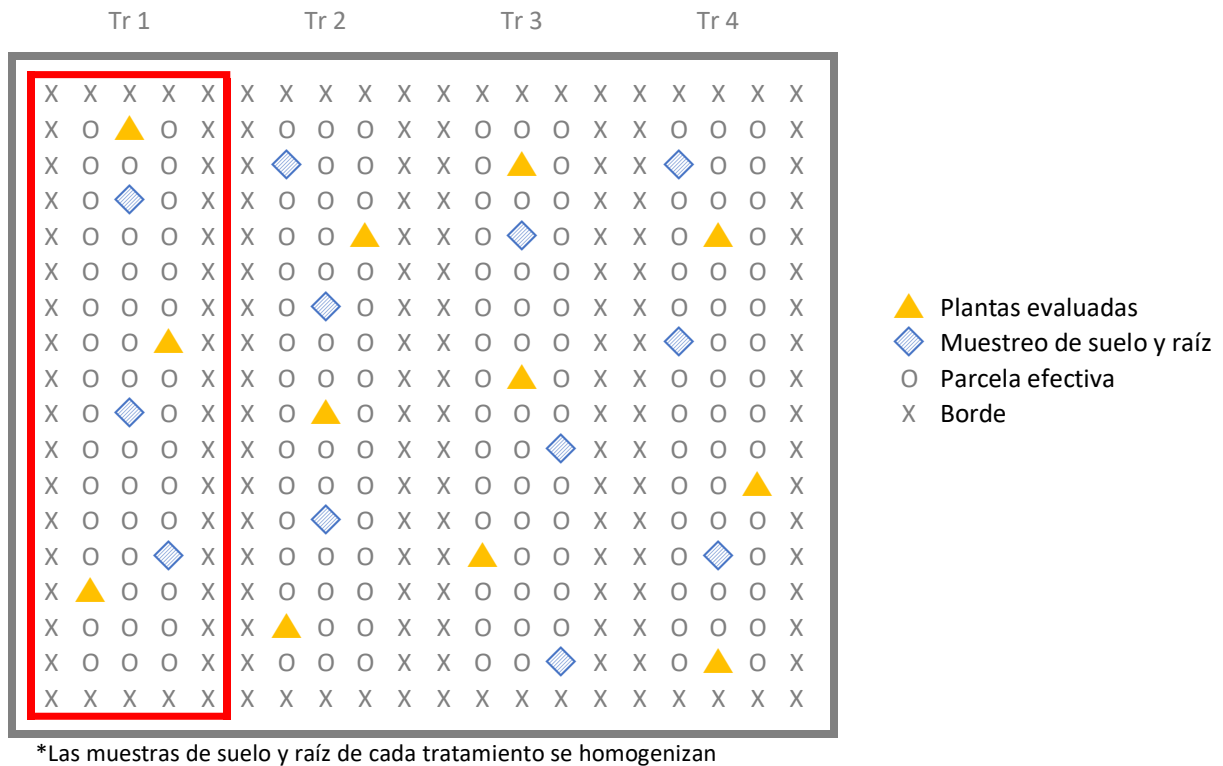


**Figura 7.** Croquis de diseño experimental de bloques completos con 4 repeticiones por tratamiento.

La unidad experimental correspondió a una parcela de plantas de café Catuaí de tres años, cada planta con una distancia entre 1m y 2m entre calles. El área útil consistió en cinco calles de las cuales se tomaron tres hileras del centro con un total de 210 plantas (parcela efectiva) dejando una hilera en cada borde.

Para el análisis productivo y vegetativo se realizaron tres muestreos al azar en las tres hileras del centro de cada tratamiento, con 12 réplicas y cuatro repeticiones, es decir, 48 evaluaciones en total. Para el análisis de nematodos se realizaron muestreos al azar en las tres hileras del centro de cada

tratamiento y se homogenizaron. Se realizaron cuatro réplicas y cuatro repeticiones por tratamiento, es decir, 16 muestreos de suelo y raíz (Figura 8).



**Figura 8.** Plantas en un bloque a las que se les realizó las evaluaciones.

### 3.6 Evaluaciones

#### 3.6.1 Muestreo de nematodos

Se muestrearon únicamente plantas de la variedad Catuaí de tres años. Se tomaron muestras de suelo a 30 cm de profundidad dentro de la zona de sombra de cada planta de café muestreada. Con la ayuda de una pala se hizo un hoyo en forma de V y se tomó aproximadamente 200 g de suelo por muestra de 3 cm de espesor. En el caso de raíz, se tomó de 8 a 15 g por planta a una profundidad de 0-30 cm (dependiendo de 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. Cada muestra se colocó en una hielera para evitar cambios bruscos en la temperatura y posteriormente, se trasladaron al Laboratorio de Nematología de la ECA-UNA para el procesamiento e identificación de las poblaciones de *Meloidogyne* y *Pratylenchus*.

### **3.6.2 Análisis de muestras**

Las raíces recolectadas se lavaron, homogenizaron y cortaron en pequeños fragmentos y junto con las muestras de suelo se procesaron mediante el método de centrifugación flotación en solución azucarada (Caveness, 1955). Se tomó una submuestra de 100 g de suelo, se colocaron una cubeta y se lavaron directamente bajo un chorro de agua a presión, la suspensión resultante se agitó con una paleta de madera y se dejó reposar por 30 segundos. Seguidamente se procedió a decantar la solución sobre un juego de tamices superpuesto de 100 y 400 mallas. La operación se repitió una vez más con el suelo remanente en la cubeta. Con la ayuda de una pizeta, el suelo retenido en la criba de 400 mallas se transfirió a tubos de centrifuga de 50 ml y se centrifugará durante 3 minutos a 8000 r.p.m. Una vez finalizado, se decantó cuidadosamente el sobrenadante y se agregó una solución de azúcar (484 g de azúcar disuelto en 1 L agua) la cual se agitó vigorosamente con el objetivo de resuspender el suelo con el azúcar y nuevamente se volvió a centrifugar durante tres minutos más. El sobrenadante que contenía los nematodos se vertió sobre una criba de 500 mallas y el exceso de azúcar adherida a los nematodos se lavó con suficiente agua. Por último, los nematodos recuperados, se transfirieron a un plato de conteo o siracusa para su observación.

Para el caso de la raíz, el procesamiento fue similar, con la diferencia de que se pesaron 10 g de la misma, se maceró a través de una licuadora (Osterize galaxie, dual ranger 16), por 20 segundos y se trasladó al juego de tamices de 100 y 400 mallas, donde se siguió el procedimiento ya mencionado para el caso de la muestra de suelo.

### **3.6.3 Extracción de nematodos**

Las primeras 32 muestras de nematodos se tomaron y analizaron en agosto de 2016 con el fin de determinar las densidades poblacionales iniciales de la parcela y así corroborar si era posible realizar la investigación en la misma. Después de analizadas las muestras para determinar las densidades poblacionales iniciales de cada género, se procedió a aplicar los productos y en diciembre se volvieron a recolectar otras 32 muestras de cada tratamiento. Nuevamente, se realizaron los muestreos y se analizaron en el Laboratorio de Nematología de la ECA-UNA.



### **3.6.4 Conteo de la población de nematodos**

Se realizó el conteo de nematodos en el mes de agosto y diciembre de 2016 en el Laboratorio de Nematología de la ECA-UNA. El conteo se realizó mediante la observación de nematodos con ayuda de un microscopio invertido (Olympus CKX41). Para la correcta identificación tanto de la población de *Meloidogyne* como de *Pratylenchus*, se comparó la morfología de cada individuo con las descripciones e ilustraciones de Mai *et al.*, (1964). Finalmente, se determinó la cantidad de nematodos antes y después de cada aplicación, en los distintos tratamientos.

### **3.6.5 Evaluación vegetativa**

#### **3.6.5.1 Evaluación vegetativa (Evaluación 1)**

La evaluación vegetativa se realizó en tres momentos. La primera se hizo antes de la aplicación de los nematocidas (agosto) una segunda se realizó en octubre y la tercera en diciembre de 2016.

Se evaluó:

Cantidad inicial y final de hojas: mediante conteo en la UdM.

Cantidad inicial y final de entrenudos: mediante conteo en la UdM.

Cantidad inicial y final de palmillas: mediante conteo en la UdM.

Largo inicial y final de la bandola: mediante medición en la UdM.

#### **3.6.5.2 Antes de la primera aplicación de los productos (Evaluación 1a)**

Se seleccionó una bandola ubicada a la mitad de la altura de la planta para realizar un conteo de hojas, nudos y bandolas secundarias (palmilla) además de una medición del largo de la misma bandola.

#### **3.6.5.3 Antes de la segunda aplicación de los productos (Evaluación 1b)**

Se realizó el mismo procedimiento que para la evaluación 1a.

### 3.6.5.4 En cosecha (Evaluación 1c)

Se realizó el mismo procedimiento que para la evaluación 1a.

## 3.6.6 Evaluación productiva

### 3.6.6.1 Conteo y medición de frutos cuajados (Evaluación 2a, 2b y 2c)

Se realizaron tres mediciones y conteos totales de los frutos en una bandola ubicada a la mitad de la altura de la planta, por cada planta efectiva por repetición. El primer conteo se efectuó en agosto (2a), el segundo en octubre (2b) y el tercero en diciembre (2c).

### 3.6.6.2 Determinación de bandolas promedio (Evaluación 3)

Se realizó un conteo total del número de bandolas (se incluyeron todas las plantas efectivas del ensayo) para obtener un promedio por planta con el fin de generar una acertada estimación de cosecha al final del ensayo. Este conteo se realizó entre el primer y el tercer conteo de frutos cuajados.

Se evaluó:

Granos cuajados por bandola: mediante conteo en la UdM (Unidad de Muestreo)

Promedio de bandolas por planta: mediante conteo total en las plantas efectivas del ensayo.

## 3.7 Rendimiento:

**Estimación de cosecha:** La estimación de la cosecha se obtuvo a partir del último conteo de granos por tratamiento ( $UCG_{Tn}$ ), del promedio de bandolas por planta (PB/P), la cantidad de plantas por hectárea (P/ha) según la densidad de siembra del lote, capacidad en litros de café en fruta de una fanega (CF), densidad promedio de café en fruta (DPF) y peso promedio de un grano de café en fruta (PPF).

Se parte de los supuestos:

1 fanega = 400 L de café en fruta (ICAFE, 2014)

Densidad café en fruta = 645g/L

Peso promedio café en fruta = 1.8g/grano (Rendón *et al.*, 2008)

Densidad de siembra = 4130 plantas/ha

### 3.7.1 Granos promedio por planta por tratamiento (GP/P<sub>Tn</sub>)

$$GP/P_{Tn} = UCG_{Tn} \times PB/P$$

### 3.7.2 Fanegas por hectáreas por tratamiento (F/ha<sub>Tn</sub>)

$$F/ha_{Tn} = GP/P_{Tn} \times P/ha \times PPF \times DPF^{-1} \times CF^{-1}$$

Expansión

$$\frac{X \text{ fanegas}_{Tn}}{ha} = \frac{X \text{ frutos}}{\text{planta}} \times \frac{4,130 \text{ plantas}}{ha} \times \frac{1.8 \text{ g}}{1 \text{ fruto}} \times \frac{1 \text{ L}}{645 \text{ g}} \times \frac{1 \text{ fanega}}{400 \text{ L}}$$

Simplificación

$$\frac{X \text{ fanegas}}{ha} = \frac{X \text{ frutos}_{Tn} \times 4,131 \times 1.8}{645 \times 400}$$

$$\frac{X \text{ fanegas}}{ha} = \frac{X \text{ frutos}_{Tn} \times 7,434}{258,000}$$

### **3.8 Análisis estadístico**

Para el análisis de los datos de conteos de *Meloidogyne* spp. 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.

Para las variables vegetativas y de producción se utilizó un ANOVA según el diseño de bloques al azar para cada fecha. Para separar las medias de tratamientos se utilizó la prueba de Tukey.

### **3.9 Determinación de la viabilidad económica**

Se estableció con el rendimiento en número fanegas/ha, precio de la fanega y el número de jornales utilizados en la siembra. Posteriormente se determinó la utilidad bruta, los costos variables y los beneficios netos. Se utilizaron los presupuestos parciales descritos por el Programa de Economía del CIMMYT (1988).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Efecto del nematicida Nemaxxion Biol y el bioestimulante Radiax® sobre las poblaciones de *Meloidogyne* spp. en raíz.

Dentro de los resultados obtenidos, no hubo diferencias significativas en las poblaciones de nematodos 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, en donde el Nemaxxion presentó diferencias con respecto al Radiax® y al testigo. En el caso del Counter, Radiax® y el testigo, no presentaron diferencias entre ellos (Figura 9). En el primer muestreo de nematodos realizado, se observó una menor densidad poblacional de *Meloidogyne* spp., mientras que después de la aplicación de nematicidas (segundo muestreo) hubo un aumento de este género en todos los tratamientos. Fue posible determinar que los productos Nemaxxion y Counter tuvieron un incremento del 88% y 30% respectivamente, mientras que para el Radiax® y el testigo fue de 137% y 134% respectivamente (Figura 9).



Columnas con letras iguales no difieren estadísticamente ( $P > 0.05$ )  $n=4$

**Figura 9.** Población de *Meloidogyne* en 100 g de raíz antes y después de la aplicación de los productos.

Se observó que a partir de los 3 meses de la aplicación de los nematicidas, no existió un efecto sobre las poblaciones de nematodos; ya que, a pesar del uso de estos productos, ninguno de ellos logró disminuir las poblaciones en comparación a la cantidad de nematodos que se encontró en el primer muestreo. Según el hábito alimenticio y ciclo de vida de *M. exigua*, se comporta como un nematodo endoparásito, es decir, cumple cada una de las funciones anteriores dentro de la raíz, por lo que su frecuencia en suelo es menor que en el sistema radical. Al estar el nematodo en el suelo por un corto tiempo (mientras ingresa a la raíz) dificulta que cualquier producto ya sea químico como el Counter cuyo modo de acción es de contacto o algún biológico, actúen de manera satisfactoria lo que podría disminuir su efectividad (Pérez, Cruz, Poma y Cadena 2017). Sobre este tema, Rojas (2011), coincide en que es difícil disminuir las poblaciones de *Meloidogyne* por completo, debido propiamente al comportamiento endoparásito de este fitófago que, al completar su ciclo de vida dentro de la raíz (donde se alimenta), imposibilita que cualquier sustancia u organismo llegue a estar en contacto directo con el nematodo.

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 la que se encontró en el ensayo, que a pesar de observar a nivel aéreo plantas con buen vigor y sin síntomas por problemas de nematodos, a nivel radicular, los muestreos indicaron altas densidades poblacionales del *M. exigua*.

Una posible razón de por qué en esta investigación no se observó una disminución de nematodos, se debió a la frecuencia en las aplicaciones del producto. Para que el Nemaxxion Biol fuera rentable para los productores solo se realizó una aplicación, lo que pudo ocasionar una menor efectividad del producto. De acuerdo con la información de la etiqueta, se debe aplicar de 3-4 L/ha cada 21 días con tres repeticiones para el combate de nematodos agalladores. Asimismo, se recomienda reducir la dosis de forma paulatina para asegurar una buena colonización de los organismos biológicos; no obstante, para un pequeño productor no es rentable realizar esa cantidad de aplicaciones. Además, la empresa donde se realizó la investigación sugirió hacer solo una aplicación como una manera de verificar bajo las condiciones de nuestro país, el comportamiento del producto. Por otra parte, también se buscaba no realizar más de una aplicación que aumentara los costos de producción ya que con los precios

actuales del café un pequeño o mediano productor no podría hacer 3 aplicaciones de un producto que podría implicar un gasto económico.

Según Rojas (2011) en el caso del Counter y de acuerdo con la etiqueta del producto, requiere más de una aplicación para obtener resultados positivos. En el caso de la plantación en estudio, mostraba poblaciones altas de nematodos y para disminuir la cantidad en el segundo muestreo, debió ser necesario hacer una segunda aplicación al final de la época lluviosa; sin embargo, esta segunda aplicación no se realizó por los motivos anteriormente mencionados. Sí se contempla la posibilidad de realizar dos aplicaciones en lugar de una, es importante tener en cuenta que hay que dejar un intervalo entre la última aplicación y la cosecha de 60 días. En el caso del Nemaxxion Biol al ser un producto biológico no existe ningún problema en hacer alguna aplicación próxima a la cosecha para mantener las poblaciones de nematodos bajas, por lo que con este producto hubiera sido necesario hacer las aplicaciones recomendadas en la etiqueta.

Cabe mencionar que al estudiar poblaciones de *M. exigua* en diversas zonas de Costa Rica, Rojas (2011), observó que éstas seguían un patrón estacional con un descenso de individuos hacia los meses de agosto a octubre y que por el contrario, presentaban un aumento a finales del invierno. Este patrón estacional se comportó de manera similar en este estudio, donde antes de la aplicación de los nematicidas en agosto, hubo un declive en la población de nematodos con un posterior repunte en el mes de diciembre. Según Chaves (2014) una posible efecto de las lluvias está asociada a que una cantidad considerable del sistema radicular maduro tiende a pudrirse, y esto posee un impacto sobre las poblaciones de nematodos que están dentro de ellas. Finalmente, estos nematodos no van a poder alimentarse ni producir huevos en las raíces.

A pesar de que no existió una disminución de las poblaciones de nematodos con ningún producto, en el único tratamiento en el que se observaron diferencias en raíz después de la aplicación con respecto al testigo, fue el Nemaxxion Biol. Entre las causas probables encontradas de esa diferencia, destaca que el Namaxxion Biol posee entre sus componentes la bacteria *Bacillus subtilis*. Según Palacios (2013), *B. subtilis* actúa dentro del nematodo, produciendo algunas enzimas y toxinas las cuales dañan las células del intestino medio y facilitan la invasión del hemocele, condición que quizás sucedió con la utilización de este nematicida biológico en el ensayo.

El mismo autor menciona que *B. subtilis* en el suelo puede interferir en el ciclo reproductivo de los nematodos, especialmente sobre la ovoposición y eclosión de los juveniles. No se descarta la posibilidad que alguna de estas funciones haya sido ejercida por esta bacteria.

Adicionalmente, otro compuesto con el que cuenta el Nemaxxion Biol es *Trichoderma asperellum*, este género de hongo biorregulador cumple una importante función en el combate de plagas. En investigaciones realizadas por Hernandez *et al.*, (2015), con cepas de *Trichoderma* spp. observaron que existe un control de este hongo, gracias al incremento en la actividad de enzimas como quitinasas y proteasas, cuando el hongo entra en contacto con los huevos o juveniles. En el caso del ensayo se observó que, las raíces tratadas con el producto Nemaxxion Biol tenían un sistema radical con más cantidad de pelos absorbentes. Esto coincide con los estudios realizados por Hernandez y colaboradores quienes explican que entre los efectos positivos de la inoculación con *Trichoderma* está el aumento del desarrollo de las raíces logrando una mayor formación de pelos radiculares. Adicionalmente indican que, este hongo mejora la respuesta de las plantas ante el ataque de patógenos en la raíz y contribuye a la solubilidad de los nutrientes del suelo.

Entre los resultados obtenidos por Hernandez *et al.*, (2015), observaron que *T. asperellum* poseía un potencial para ser utilizado en el manejo de *M. incognita*, ya que aun cuando no se produjo una reducción significativa del índice de agallamiento y del número de agallas, se observó disminución en el número de huevos por hembra y un mejor comportamiento de las plantas. También, en un estudio llevado a cabo por Varela, Durán y Guzmán (2016), determinaron mediante el uso con diferentes cepas de hongos nematófagos de manera *in vitro*, que ninguna de ellas cumplió con lo establecido para considerarla con actividad nematocida contra juveniles de *M. incognita*, ya que únicamente con *T. asperellum*, fue que se obtuvieron porcentajes de mortalidad significativamente mayores que los del testigo.

Nemaxxion Biol posee esporas del hongo *Purpureocillium liacinum*, este hongo posee un alto potencial en el control de nematodos. Bendezu (2017) indica que los productos a base de este hongo actúan contra los fitonematodos como productos de contacto, por lo tanto, se cree que una de las probables limitantes en este ensayo, fue que no existió un buen contacto entre el nematodo y las conidios de *P. liacinum*. Los conidios al hacer contacto con los nematodos, se fijan en la pared externa del mismo, luego germinan y producen unas estructuras especializadas llamadas apresorios. En el interior del cuerpo del nematodo, el hongo toma nutrientes y se reproduce masivamente hasta observar



una invasión generalizada de hifas que se extienden a lo largo del microorganismo causándole finalmente la muerte (Bendezu, 2017).

En investigaciones realizadas por Varela (2016) menciona que en las pruebas realizadas in vitro contra *Meloidogyne incognita* y *M. exigua*, es notable observar un alto porcentaje de parasitismo de huevos mayores al 80% en las pruebas realizadas con *P. lilacinus* y *T. asperellum*. Además, en otros ensayos realizados por el mismo autor se observaron resultados similares, donde determinaron porcentajes de parasitismo de *P. lilacinus* sobre masas de huevos de *M. javanica*, que oscilaban entre 45 y 52% después de tres semanas de inoculación.

No obstante, como se mencionó anteriormente, Monzón, Herrera y Méndez (2009), indican que los productos a base de hongos son una medida de supresión directa, cuya efectividad depende del contacto con la plaga, de modo que si el hongo no llega hasta el nematodo, se podría considerar que no es un buen agente de control. Adicionalmente, la efectividad de un controlador biológico va a estar definida por la competencia que pueda tener con otros organismos autóctonos del sitio donde se va a utilizar, así como la hora de aplicación del producto.

Por último, el Nemaxxion Biol posee como extracto natural la planta *Tagetes erecta*. En investigaciones realizadas por Murga, Alvarado y Vera, (2012) coinciden en afirmar, que esta especie vegetal tiene un efecto nematocida que inhibe la eclosión de huevos y tiene un efecto nematocida contra juveniles de *Meloidogyne*. Se podría afirmar que este extracto presente en el producto Nemaxxion, también podría jugar un papel importante en el combate de poblaciones de *Meloidogyne*.

Es importante mencionar que, a pesar de no encontrarse diferencias significativas entre el Testigo y el Counter después de la aplicación de los productos, con el tratamiento Counter la población de nematodos aumentó en un 30%, mientras que con el Testigo aumentó un 134%. Una posible razón de esta diferencia en las poblaciones se puede deber a la efectividad del control efectuado por el Counter, ya que este nematocida 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 & Hutson 1999).

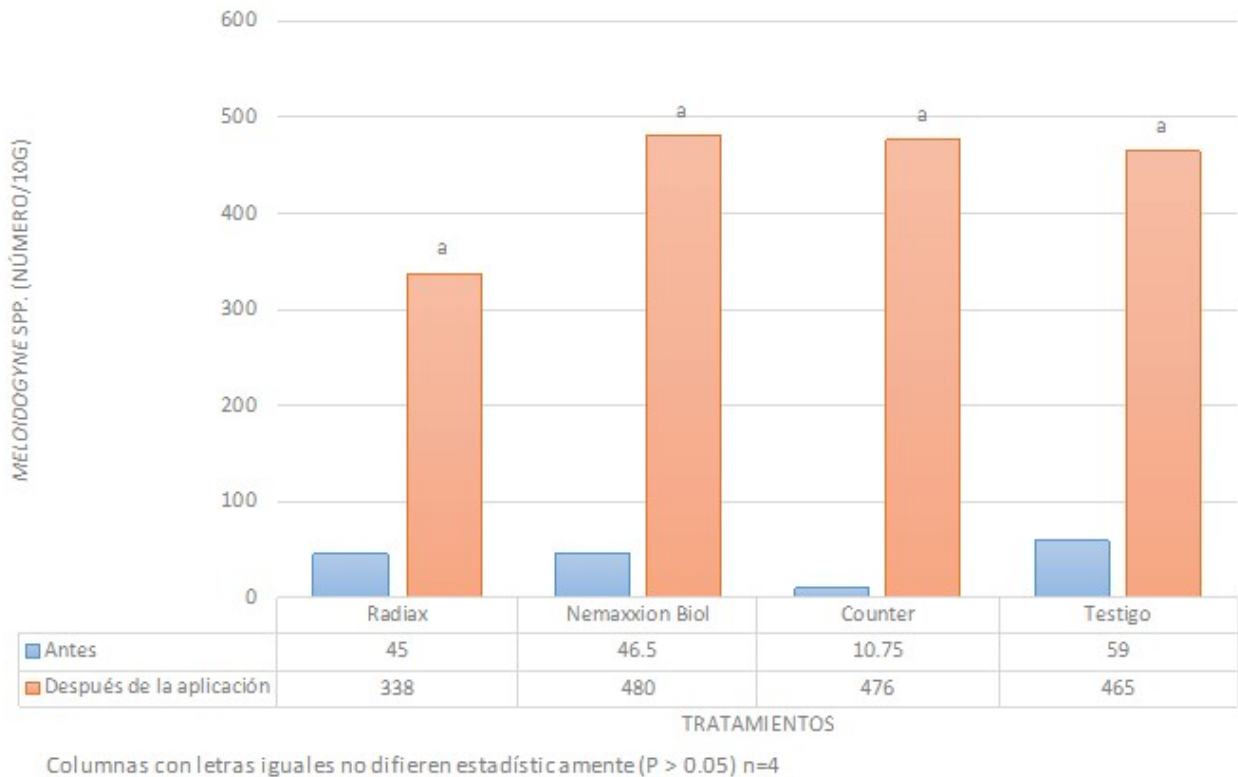
Al comparar los resultados obtenidos con otras investigaciones, fue posible observar la existencia de algunas diferencias. Por ejemplo en estudios efectuados por el ICAFÉ, encontraron poblaciones de *M.*

*exigua* de 396.600 a 767.040 J<sub>2</sub>/100 g de raíz (Rojas, 2011). En el caso de los datos determinados en este estudio, se encontraron valores próximos a los 220.000 J<sub>2</sub>/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 68000 J<sub>2</sub>/100 g de raíz, mientras que Romero (2010), reportó en muestreos realizados en plantaciones de café en Cartago, densidades superiores a los 60000 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 causando un daño importante en una plantación de café. Entre esos factores se puede mencionar el género y especie del nematodo, genotipo de café, edad del cultivo, tipo de suelo, contenido de materia orgánica, fertilización, sombra y poda. Asimismo Taylor y Sasser (1983) reafirman que existen varios factores que influyen como la edad del cultivo, la temperatura, humedad, contenido de materia orgánica, la variedad del café, entre otros; de los cuales, sería necesario hacer un estudio en cada caso particular.

#### **4.2 Efecto del nematicida Nemaxxion Biol y el bioestimulante Radiax® sobre las poblaciones de *Meloidogyne* spp. en suelo.**

Después de la aplicación de los productos, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos sobre las poblaciones de *Meloidogyne* spp. Todos presentaron un elevado incremento en sus poblaciones en el segundo muestreo (Figura 10).



**Figura 10.** Población de *Meloidogyne* spp. en suelo antes y después de la aplicación de los productos.

Al igual que en la Figura 9, no se logró observar una disminución en la población de *Meloidogyne* en ningún tratamiento, como se comentó anteriormente, esta condición se pudo deber a que no existió una colonización exitosa de los microorganismos en el suelo y que por lo tanto no hubo un buen control. Asimismo, en el primer muestreo se observó una alta cantidad de huevos. Es probable que estos huevos hayan continuado su ciclo de vida y que al momento de realizar el segundo muestreo las poblaciones de las siguientes generaciones de juveniles fueran altas, debido a que no existió una colonización adecuada del producto.

Un factor importante de mencionar es la época en que se hizo la aplicación de los productos, la cuál coincidió con el mes de setiembre cuando el suelo presentaba una baja población de *Meloidogyne*, en el caso del segundo muestreo, próximo al mes de enero, ya presentaba densidades poblacionales altas de acuerdo a los análisis nematológicos efectuados (Anexo F). 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 radicular del cafeto que obtuvo en la época lluviosa.

Resultados similares a esta investigación fueron reportados por Rojas (2010) en el ICAFE, donde evaluó varias alternativas (benfuracarb, citoquininas, extracto de *Tagetes erecta*, *Burkholderia cepacia* y *B. fluorescens*) en Poás de Alajuela y Tarrazú, San José. En este caso, 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 solamente desde la plántula hasta los 2 años de la plantación (Rojas 2010).

Según Bertrand y Rapidel (1999) en las plantaciones adultas de café, el control químico contra los nematodos presenta numerosas limitaciones e inconvenientes como por ejemplo, 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. Es preferible aplicar los productos químicos en forma preventiva a nivel de almácigo para completar las medidas profilácticas con el fin de no diseminar los nematodos. Las aplicaciones de nematicidas en el campo, sobre las plantas jóvenes permite bajar el inóculo del suelo y proteger la planta durante su fase de crecimiento antes de que entre en producción. Tratándose de un cultivo perenne, estas medidas preventivas en efecto son de suma importancia ya que permitirán garantizar una productividad elevada a largo plazo de la nueva plantación que representa al comienzo un capital importante para el agricultor.

Por otra parte, en cuanto a la textura del suelo, se determinó que el área en estudio presentó una textura franco arenosa, que favoreció el desarrollo de las poblaciones de nematodos. De acuerdo con resultados obtenidos por Salazar y Guzmán (2013) encontraron niveles poblacionales más altos de nematodos fitoparásitos en comunidades que poseían suelos de tipo franco-arenoso. De igual manera, en un estudio realizado por el mismo autor, encontraron en promedio en suelos franco arenosos 2018 juveniles de *Meloidogyne* y 1297 en raíz ( $P \leq 0,05$ ) lo cual fue significativamente más alto que el encontrado en suelos franco arcillosos en los que únicamente hallaron 549 juveniles en suelo y 347 en raíz respectivamente.

Los nematodos necesitan condiciones aptas para su desarrollo, lo que concuerda con Martínez *et al.*, (2015), los cuales determinaron que si los nematodos no cuentan con las requerimientos de textura ideales (arenosa, arenoso franca y franco arenosa) los niveles de oxígeno serán bajos y por lo tanto el metabolismo, movimiento e infectividad de los juveniles se vería perjudicada, lo que provocaría un efecto negativo sobre el crecimiento y reproducción de las hembras. De acuerdo con Guaman (1996),

en estos tipos de textura, los nematodos tienen mayor movilidad a través de los poros del suelo y el tamaño de estos poros depende de la dimensión de las partículas del suelo.

Según Kim, Seo, Su, Park, & Ho (2017), el tamaño de las partículas y los microporos hacen que el movimiento del aire y agua sea más restringido, lo cual afecta directamente al nematodo ya que en su mayoría son aeróbicos y originalmente animales acuáticos. Por lo anterior, requieren un contenido adecuado de humedad y aireación, por lo que preferirían en su mayoría niveles de humedad de 40-60% de capacidad de campo, lo que concuerda con la alta humedad observada en el suelo a la hora de hacer los muestreos. Además la variedad de café empleada para el experimento fue Catuaí y según datos del CATIE (1989), presenta el índice de agallamiento más alto que es de 5, por lo tanto, es muy susceptible al ataque de nematodos. Esta condición de la variedad de café utilizada, también favorece el desarrollo y reproducción de *Meloidogyne*.

Por otra parte, no hay que dejar de lado la importancia de los nematodos de vida libre (VL) en el suelo. De acuerdo con Millán, Castilla y Millán (2016), la presencia de estos microorganismos en el suelo es de suma importancia ya que estos se consideran como un buen indicador de alteraciones en el suelo al ser extremadamente sensibles a estrés ocasionado por malas actividades agrícolas y la utilización de agroquímicos. Un factor que puede influir en la población de los nematodos de VL es el contenido de materia orgánica (MO). De acuerdo con Castilla, (2016) en suelos con alto contenido de MO, la población de nematodos de VL es mayor, lo que afecta directamente el ciclo de vida de los nematodos fitoparásitos así la competencia por espacio con los nematodos de VL

En el caso de esta investigación, el primer muestreo se obtuvo en el suelo un promedio de 228 nematodos de VL/100 g suelo y en el segundo muestreo un promedio 517 nematodos de VL/100 g suelo en el área evaluada. Lo anterior indica que existe mucha materia orgánica en el suelo, y que existe una relación antagónica entre los de nematodos de VL y los fitonemátodos que afectan el café.

Al existir en la rizosfera cantidades considerables de materia orgánica, ésta se va a descomponer lo que estimula el aumento y la actividad en las poblaciones de nematodos de (VL). La experiencia en el laboratorio de Nematología de la ECA-UNA ha permitido identificar principalmente nematodos bacteriófagos, seguido de algunos nematodos depredadores y micófagos. Todos estos grupos contribuyen al ciclaje de nutrientes y son un eslabón muy importante en las cadenas tróficas del suelo con otros grupos de microorganismos. Se desconoce hasta el momento qué cantidad de este grupo de

nematodos nos indica que un suelo posee una calidad biológica aceptable; no obstante, al observar densidades poblacionales superiores a los 300-500 nematodos /100 g suelo refleja una salud del suelo (Peraza, 2019 comunicación personal, 25 de Julio, 2019). Al comparar las densidades poblacionales anteriores con el segundo muestreo realizado en el área de investigación, donde las poblaciones en promedio fueron de 517 nematodos /100 g suelo, se puede deducir que este suelo posee una buena salud y por ende un buen manejo.

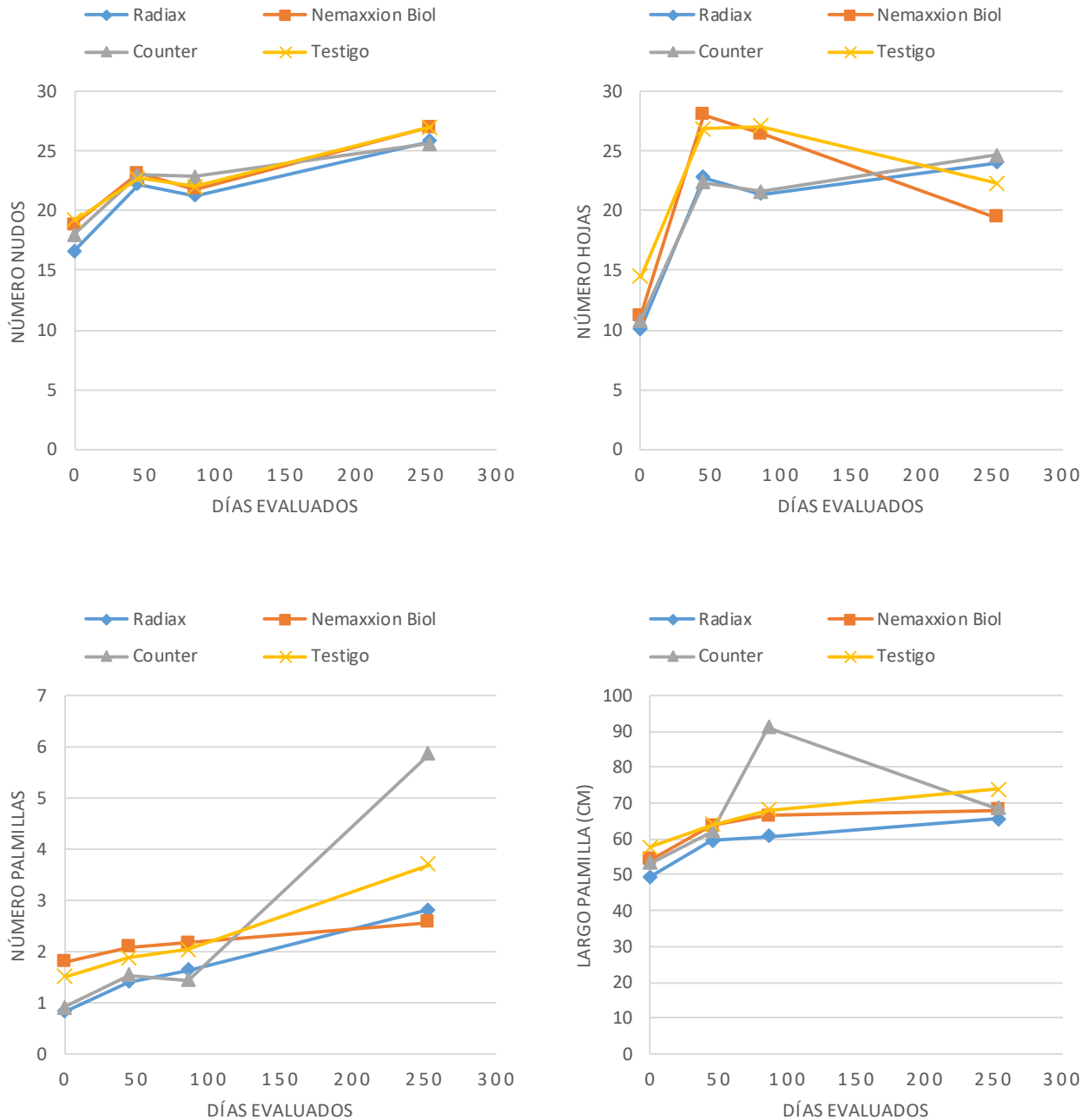
#### **4.3 Efecto del nematocida Nemaaxion Biol y el bioestimulante Radiax ® sobre las poblaciones de *Pratylenchus* spp. en suelo y raíz.**

Con respecto a la población de *Pratylenchus* en el sitio de estudio fue muy baja y en muchas de las muestras analizadas no fue posible encontrar este nematodo antes ni después de la aplicación de los productos. Esta situación concuerda con Araya (1990), donde determinó en un ensayo de campo que la población de *Pratylenchus* encontrada fue menor que la de *Meloidogyne*. Este investigador concuerda en afirmar que, cuando las poblaciones de *Meloidogyne* son altas las poblaciones de *Pratylenchus* son bajas y viceversa. Asimismo, Chaves, (2014) menciona que la predominancia de *Meloidogyne* sobre *Pratylenchus* en el cultivo de café se debe a la competencia que ocurre entre ambos nematodos fitoparásitos.

#### **4.4 Evaluación del desarrollo vegetativo y productivo de las plantas de café**

##### **4.4.1 Evaluación del desarrollo vegetativo**

En cuanto a la evaluación del desarrollo vegetativo, no se encontraron diferencias significativas para cada fecha entre los tratamientos evaluados, en cuanto al número de nudos, hojas, palmillas y largo de la palmilla. Fue posible observar un comportamiento similar entre todos los tratamientos en las distintas evaluaciones realizadas (Figura 11).

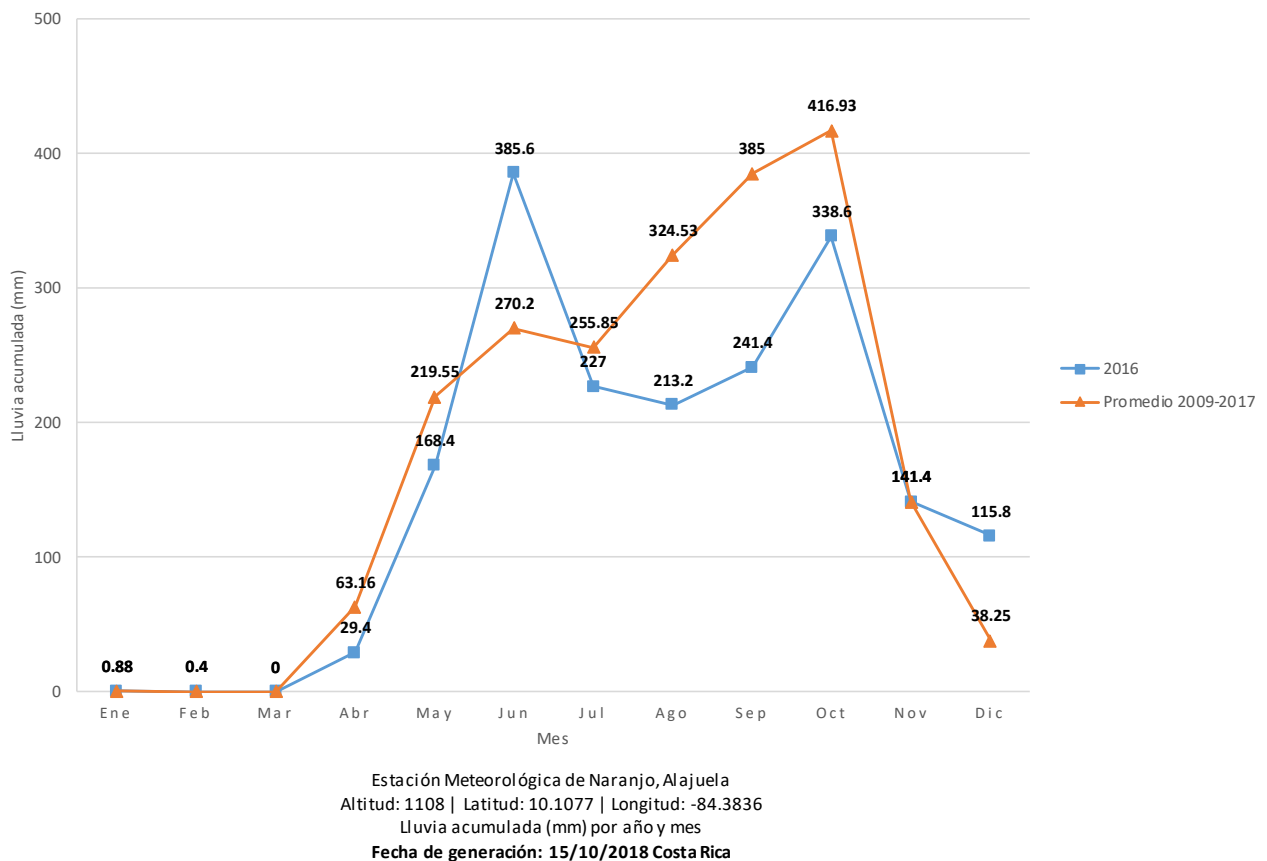


**Figura 11.** Variables vegetativas muestreadas para cada tratamiento días después de la aplicación de productos.

La ausencia de diferencias significativas en los tratamientos evaluados en cada fecha, se debió quizás a que a pesar de existir la presencia de mucha raíz agallada, al ser una plantación de 3 años tenía un abundante sistema radical y por lo tanto, esto permitió el crecimiento normal de las plantas. En lo que refiere a este tema, Castillo, y Hernández (2005) coinciden en que las plantas afectadas por nematodos presentan caídas prematuras de sus hojas y en general un menor crecimiento; sin embargo, ninguno de estos síntomas se observó durante el ensayo.

Por su parte, Rojas (2011), afirma que es posible que un sistema de producción dedicado al cultivo del café pueda convivir con *M. exigua*, ya que este fitoparásito no se llega a exterminar la plantación ya que necesita de un sitio para continuar su reproducción y desarrollo. Así mismo, con una buena fertilización y buen manejo del sistema radicular, las plantas afectadas por este nematodo pueden mantener un ciclo biológico normal tal y como se observó en esta investigación, donde no existieron diferencias vegetativas entre las plantas tratadas y las no tratadas.

El incremento de todas las variables después del primer día de evaluación, más que por la aplicación de nematicidas durante el mes de agosto, quizás se debió al incremento de las lluvias y que por ende existía un mayor crecimiento de los tejidos vegetativos. La segunda evaluación se hizo en el mes de octubre, lo que coincidió con el aumento en la precipitación la cual fue para ese mes de 338.6 mm de lluvia acumulada (Figura 12).

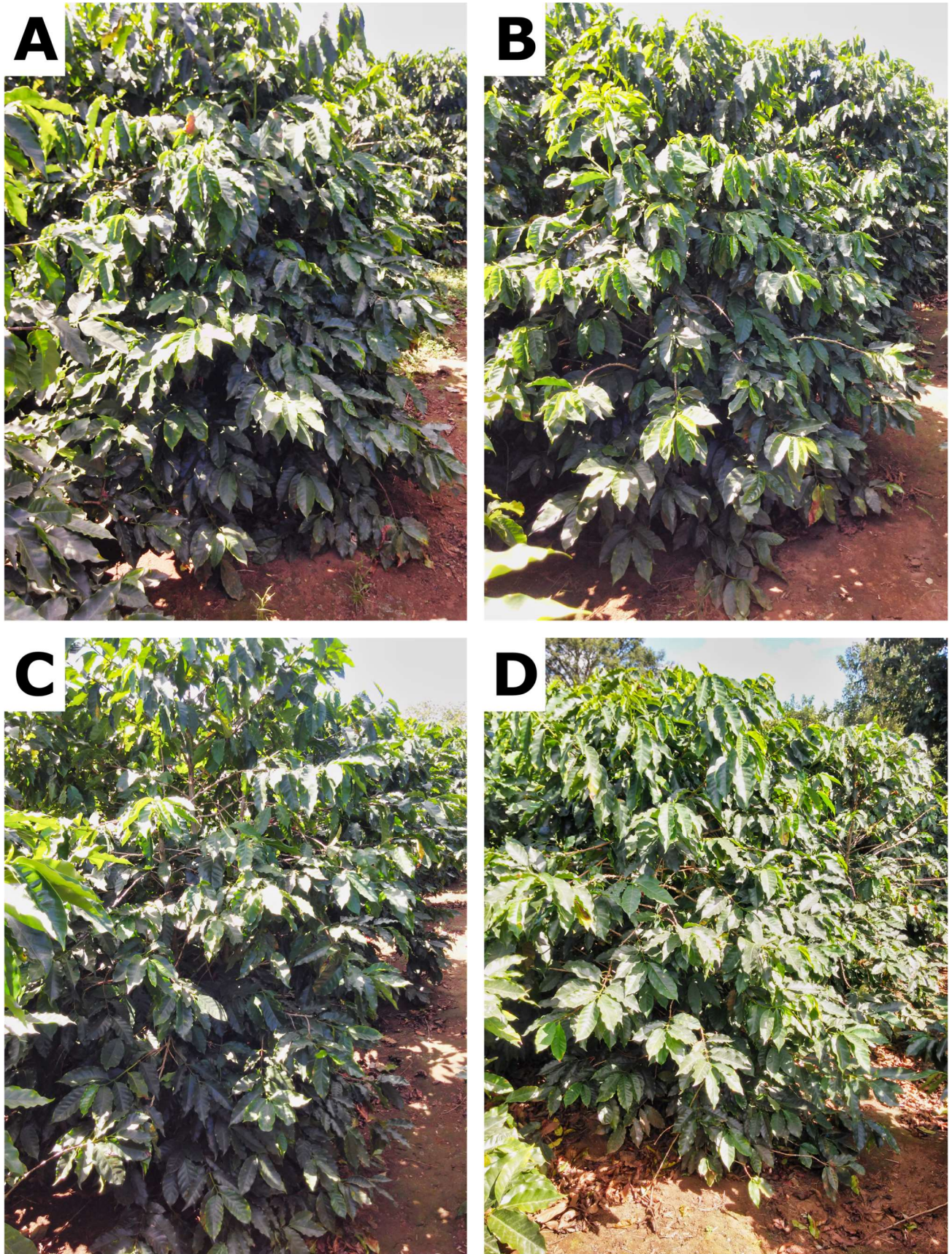


**Figura 12.** Lluvia acumulada (mm) por año y mes, en el año 2016 y en promedio desde el 2009-2017.



A pesar de que en los conteos nematológicos se encontraron altas densidades poblacionales de *Meloidogyne*, visualmente el desarrollo vegetativo en cada tratamiento fue muy similar mostrando plantas con buen vigor (Figura 13). Para Rojas (2010), la salud en general observada en una plantación o finca, está relacionada principalmente a un buen manejo donde se incluya fertilización, manejo de sombra, y materia orgánica. Aunque la variedad Catuaí sea susceptible (S) a nematodos y fue la utilizada en esta investigación, permitió la reproducción alta de las poblaciones de nematodos sin mostrar daños en las variables vegetativas (Artavia, 2019).

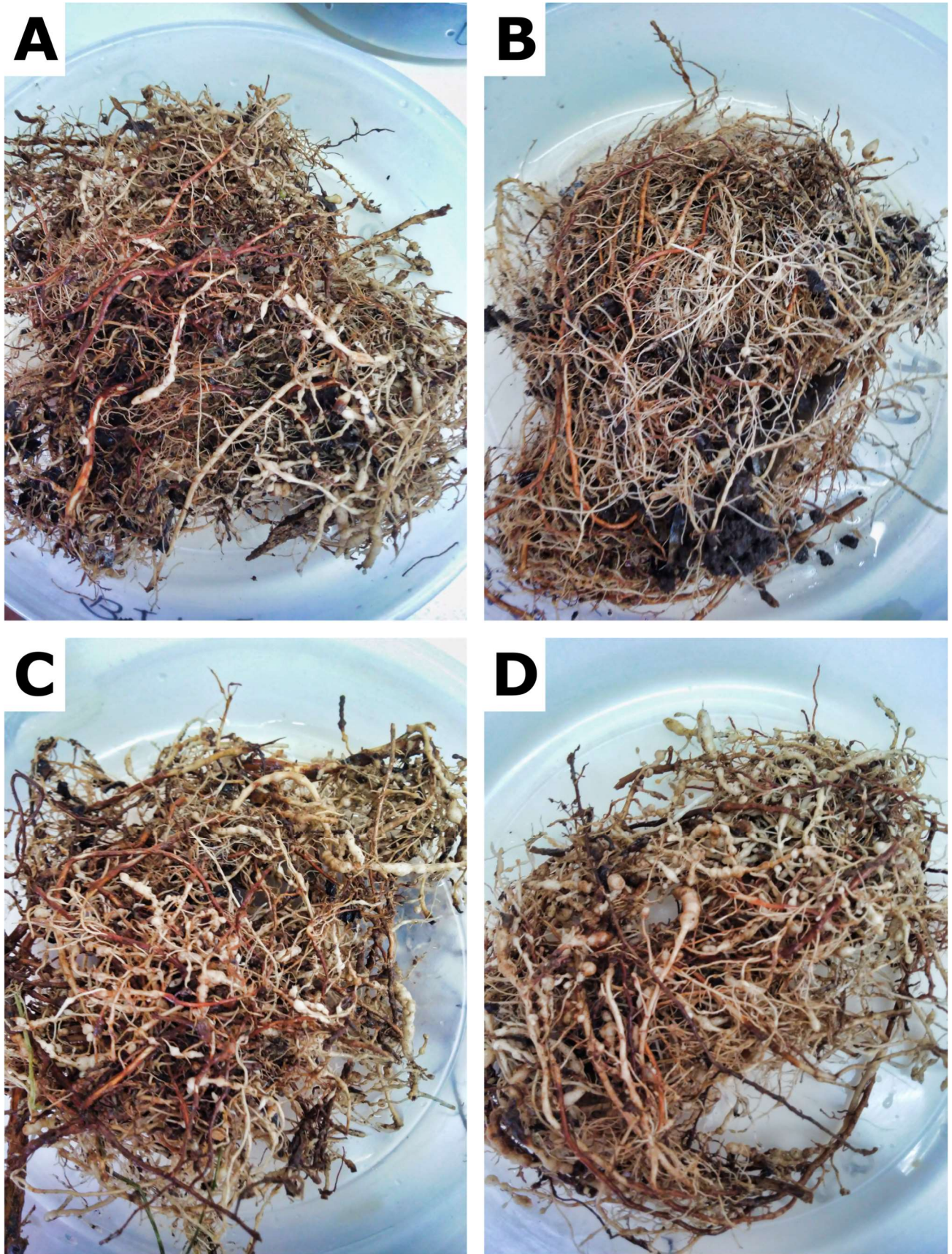
El cafetal evaluado presentó un buen manejo, además de que el dueño de la finca realiza constantes prácticas agronómicas como: fertilizaciones foliares y 3 abonadas al año. Según Rojas (2011), el uso de estas prácticas puede ser un factor determinante en que la plantación no presente deficiencias. En un estudio realizado por Barbosa *et al.*, (2004) en Brasil, determinaron en un ensayo con 125 plantaciones de café con presencia de *M. exigua*, que la mayor causa de un menor follaje y producción no fue la presencia de la plaga como tal, sino que más bien el manejo deficiente de la plantación.



**Figura 13.** Desarrollo vegetativo de las plantas a los 97 días después de la aplicación de los nematocidas. A. Radiax®, B. Nemaxxion, C. Counter, D. Testigo. Naranjo, Alajuela. 2016.

#### **4.4.2 Efecto de los nematocidas sobre las raíces**

Al observar el sistema radical en los distintos tratamientos (Figura 14), se determinó que el Nemaxxion Biol 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 así como necrosadas producto de la actividad de *M. exigua*.



**Figura 14.** Sistemas radicales de plantas de café a los 97 días después de la aplicación de los nematocidas. A. Radiax®, B. Nemaaxion, C. Counter, D. Testigo. Naranjo, Alajuela. 2016.

El producto Nemaxxion Biol podría estar asociado a su acción nematicida la cual permite que la raíz tenga un crecimiento más vigoroso y con mayor cantidad de pelos absorbentes. El bioestimulador Radiax® posee además de elementos esenciales, proteínas y polisacáridos, un alto porcentaje de fósforo, el cual incrementa la tasa de crecimiento de las raíces (Martínez 2016). Cuando se aplican compuestos fosfatados solubles en banda al suelo, las raíces de las plantas se extienden proliferando su desarrollo en las áreas del suelo tratado. Es importante destacar la importancia que tiene un buen sistema radical en el suelo, ya que de acuerdo con Araya (1990), las variedades de café con esta característica, tienen un comportamiento más tolerante y por ende, los nematodos podrían causar un menor daño en las plantas.

Adicionalmente, Corrales, Varon y Berrera (1999), observaron una correlación entre las poblaciones de nematodos y el peso radicular, es decir, que al existir altas poblaciones de nematodos habrá una mayor disminución del peso seco de raíz. Sobre este mismo tema, Corrales (1999) observó una reducción en el peso seco de raíces en las plantas de café inoculadas con 10.000 huevos y que, de acuerdo con la susceptibilidad de la planta, el proceso infectivo inhibe en tiempo muy corto la formación de raíces jóvenes. Además, Callejas, Covarrubias, y Kusch, (2005) mencionan que *Xiphinema index*, *M. incognita* y *Pratylenchus vulnus*, provocan una reducción del peso seco, largo y superficie activa de raíces, independientemente de que el nematodo se alimenta de tejido vascular, cortical o puntas de raíces.

El peso fresco de las raíces presenta una tendencia a disminuir a medida que aumenta la población de larvas J<sub>2</sub> de *Meloidogyne*. Además, en investigaciones realizadas por Álvarez, Botina, Ortiz y Botina (2016) encontraron que las raíces infestadas con *Meloidogyne* son más cortas que las raíces sanas, tienen menos raíces laterales y menos pelos radicales lo que reduce el peso radical. Resultados son similares a los que reporta Artavia (2018), donde observó que los nematodos fitoparásitos principalmente los del género *Meloidogyne*, ocasionaban reducciones en la producción de raíces secundarias y absorbentes, que son las más importantes en las plantas.

Sin embargo, es importante tomar en cuenta que aunque el nematodo disminuye el crecimiento radicular, este induce a la formación de nódulos por lo que el peso de una raíz sana es similar a la de una agallada. Además afirma que las variables de peso radical fresco son un poco engañosas, ya que no siempre la planta con mayor peso radical es la que está sana y con buen vigor, sino que por el

contrario, los pesos radicales altos pueden precisamente, indicar una mayor cantidad de agallas o nódulos (Artavia, 2018).

### 4.4.3 Evaluación de la productividad

#### 4.4.3.1 Rendimiento

En el último conteo de granos por tratamiento no se observaron diferencias significativas ( $P>0.05$ ) en cada fecha evaluada. El tratamiento con mayor cantidad de Fanegas por hectárea ( $F/ha_{Tn}$ ) fue el Testigo con 34,14 fanegas/ha, seguido por el Counter con 32,57 fanegas/ha y a los que menos se estimó fue al Nemaaxion Biol con 29,72 fanegas/ha y por último al Radiax® con 29,03 fanegas/ha (Tabla 5).

**Tabla 5.** Estimación de producción café cereza ( $F/ha_{Tn}$ ), cosecha 16/17 en Hacienda.

	Nemaaxion Biol	Radiax	Counter	Testigo
Ultimo conteo de granos por tratamiento	30.40	31.05	35.89	36.83
Promedio de bandolas por tratamiento	50.42	48.25	46.83	47.83
Plantas/ha	5,000	5,000	5,000	5,000
Capacidad en litros de café en fruta de una fanega (L)	400	400	400	400
Densidad promedio de café en fruta (g/L)	645	645	645	645
Peso promedio de un grano de café en fruta (g)	1.00	1.00	1.00	1.00
9.1 Granos promedio por planta por tratamiento ( $GP/P_{Tn}$ )	1,532.77	1,498.16	1,680.85	1,761.58
9.2 Fanegas por hectáreas por tratamiento ( $F/ha_{Tn}$ )	29.70	29.03	32.57	34.14

Fuente: Elaboración propia

La estimación realizada en el área de estudio no mostró diferencias significativas ( $P>0.05$ ) entre tratamientos en cada fecha evaluada, y la aplicación de nematicidas no generó una mayor estimación de cosecha ( $F/ha_{Tn}$ ), por el contrario, el tratamiento en el que se presentó una mayor estimación fue el Testigo con 34,77 F/ha, seguido de los nematicidas Counter con 32,57 F/ha y Nemaaxion Biol con 29,70F/ha y el tratamiento con menor estimación fue el bioestimulante Radiax®. Este resultado concuerda con investigaciones realizadas por Rojas, Ramírez y Salazar (2016), quienes luego de realizar pruebas en café inoculado con *M. exigua*, observaron que los promedios de cosecha obtenidos fueron muy similares, reiterando que los productos aplicados no lograron algún efecto que retribuyera la inversión realizada. Adicionalmente, Rojas (2016), observó en un ensayo en café inoculado con *M.*

*exigua* que no hubo diferencias en el rendimiento promedio de cinco cosechas con variaciones entre 4.11 y 4.88 kg de cereza por planta.

Matiello, Santinato, Garcia, Almeida y Fernandes, D (2005) indican que es posible que un cafetal pueda convivir con *M. exigua*, ya que no llega a exterminar la planta y causa pérdidas pequeñas de producción. Además mencionan que con una fertilización adecuada, las plantaciones infestadas por este nematodo normalmente se pueden mantener con producciones estables. Por lo anterior, sería recomendable establecer un sistema de monitoreo tanto en invierno como en verano para determinar cómo se comporta la población de *M. exigua* en el tiempo. De esta manera se pueden realizar medidas de combate de la plaga (Peraza, 2019 comunicación personal, 25 de Julio, 2019).

#### 4.5 Determinación de la viabilidad económica del uso de los nematicidas

Se realizó un análisis de costos de los productos utilizados, aplicando el análisis marginal para la determinación de la viabilidad económica del uso de los nematicidas.

En la Tabla 6, es posible observar que todos los tratamientos tuvieron una aplicación no así el testigo por su condición de control; sin embargo, fue el que tuvo un mayor rendimiento con 34.14 fanegas/ha, seguido por Counter con 32.57 fanegas/ha y por último Nemaxxion Biol y Radiax® con 29.7 y 29.03 fanegas/ha respectivamente.

**Tabla 6.** Datos del experimento del uso de nematicidas por hectárea.

Tecnología	Nematicidas (cantidad/ha)	Aplicaciones (número)	Rendimiento promedio (fanegas/ha)
Testigo	0	0	34.14
Counter	50Kg	1	32.57
Nemaxxion Biol	4L	1	29.70
Radiax	200g	1	29.03

Fuente: Elaboración propia

El tratamiento testigo es el que brindó un mayor Beneficio Neto en el experimento con ¢2,377.946.57/ha, seguido de Counter con ¢ 2,184,534.43/ha y por último están los tratamientos Nemaxxion y Radiax® con menos de ¢ 2,000,000 de beneficios netos por hectárea (Tabla 7).

**Tabla 7.** Beneficios netos del uso de nematicidas por hectárea.

	Unidades	Testigo	Nemaxxion	Radiax	Counter
Rendimiento promedio	Fanegas/ha	34.14	29.70	29.03	32.57
Rendimiento ajustado	Fanegas/ha	30.73	26.73	26.13	29.31
Beneficios Brutos en campo	Colones/ha	¢2,377,946.59	¢2,068,688.16	¢2,022,020.78	¢2,268,591.70
Costos productos	Colones/ha	0	¢79,618.40	¢52,500.00	¢71,850
Costos Mano de la obra	Colones/ha	0	¢24,414.54	¢24,414.54	¢12,207.27
Costos totales que varían	Colones/ha	0	¢104,032.94	¢76,914.54	¢84,057.27
<b>Beneficio Neto</b>	<b>Colones/ha</b>	<b>¢2,377,946.59</b>	<b>¢1,964,655.22</b>	<b>¢1,945,106.24</b>	<b>¢2,184,534.43</b>

Fuente: Elaboración propia

El Beneficio Neto se obtuvo sustrayendo los costos totales de los beneficios brutos en campo. Como se mencionó, el tratamiento testigo es el que mostró una mayor ganancia con ¢2,377,946.57/ha, seguido de Counter con ¢ 2,184,534.43/ha y por último están los tratamientos Nemaxxion Biol y Radiax® con los cuales obtendrían al utilizar los nematicidas ganancias de ¢1,964,655.22 y de ¢1,945,106.24 respectivamente.

En la Tabla 8 se muestra como el tratamiento testigo al no tener que realizar alguna inversión y como mencionó anteriormente, es el que mayor Beneficios Netos posee, por lo que los demás tratamientos son excluidos del experimento.

**Tabla 8.** Análisis de Dominancia de los nematicidas.

Tecnología	Costos totales que varían (Colones/ha)	Beneficios Netos (Colones/ha)
Testigo	0	¢2,377,946.59
Radiax	¢76,914.54	¢1,945,106.24
Counter	¢84,057.27	¢2,184,534.43
Nemaxxion	¢104,032.94	¢1,964,655.22

Fuente: Elaboración propia

Todos los productos utilizados mostraron un menor beneficio neto que el testigo (Tabla 8) y por lo tanto como mencionan Richard, Anderson, Winkelmann y Moscardi (1988), estos tratamientos son “dominados”, lo que quiere decir que son excluidos del análisis. Para entender el término “dominados” quiere decir que el productor incurriría en un gasto adicional al utilizar todas las tecnologías evaluadas, ya que el hecho de que el testigo (utilizado como control) tenga los beneficios netos más altos por hectárea y que no presente costos totales, muestra que los costos asociados a las nuevas tecnologías



fueron lo suficientemente altos para no garantizar un cambio del tratamiento testigo, por lo que es recomendable seguir realizando investigaciones donde se busque que las tecnologías a evaluar hagan un aumento en los beneficios netos y que sus costos totales no sean muy elevados.

### **Tasa Marginal de Retorno (TMR)**

No se realizó el cálculo de la TMR, ya que el análisis de dominancia excluyó todos los productos, por lo que la TMR calculada nos indicaría que el productor no va a recibir una ganancia al cambiar la tecnología, y que por ende, estos productos no son recomendables.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base en los resultados obtenidos en el presente estudio se concluye y recomienda lo siguiente:

### 5.1 Conclusiones

- Existió diferencias significativas entre el Nemaaxión Biol y el testigo después de la aplicación de productos. Los tratamientos Radiax®, Counter y Testigo no demostraron diferencias significativas después de la aplicación de productos. Con respecto a los resultados obtenidos no se observó una disminución de la población de *M. exigua*. en ninguno de los tratamientos.
- Las variables vegetativas no mostraron efectos positivos de los nematicidas evaluados bajo las condiciones de esta investigación.
- El tratamiento testigo fue el que presentó un mayor beneficio neto, por lo que un cafetal adulto con condiciones similares a las que de este estudio, la utilización de nematicidas muestra costos adicionales que son lo suficientemente altos para no garantizar un cambio de tecnología.

### 5.2 Recomendaciones

- Es recomendable realizar más de una aplicación de los nematicidas biológicos y a un mayor plazo de tiempo, ya que de esta manera se puede asegurar una colonización exitosa de los microorganismos en el suelo. En este experimento para que fuera más rentable se probó una única aplicación para conocer si se lograba tener un control en la población de nematodos sin realizar más aplicaciones y que de esta manera el productor no tuviera que incurrir a un gasto mayor; no obstante, se observó que una sola aplicación no fue suficiente.
- Aunque no se observó diferencias significativas entre el control de nematodos con Nemaaxion Biol (Nematicida biológico) y Counter, hay que tomar en cuenta las ventajas de no utilizar nematicidas químicos en el suelo, ya que el uso de estos productos es restringido, son costosos y tóxicos para el humano y el ambiente.

- Si la planta (mayor a 3 años) presenta un buen sistema radical o es resistente a los nematodos se podría contemplar la posibilidad de no utilizar nematicidas, ya que como el caso de esta investigación, aunque presenten una densidad poblacional alta de nematodos, las plantas pueden realizar sus funciones biológicas sin presentar ningún problema.
- El manejo adecuado del cafetal evita daños importantes de nematodos y asegura buenas producciones. La aplicación de un nematicida se debe realizar después de asegurarse que realmente los nematodos están causando pérdidas, con el fin de evitar aplicaciones innecesarias y pérdidas económicas.
- Realizar estudios futuros con una mayor duración, con el objetivo de generar más información y así observar si en un periodo mayor existe algún efecto significativo en las variables evaluadas.
- Tomar en cuenta las variables climáticas para futuros estudios de nematodos, ya que estas influyen mucho en el comportamiento de los mismos. Se debería establecer un sistema de monitoreo tanto en invierno como en verano para determinar cómo se comporta la población de *M. exigua* en el tiempo y así poder realizar un manejo más adecuado.
- Realizar las evaluaciones vegetativas en plantaciones menores a 2 años para cada una de las alternativas evaluadas, ya que por la fenología del café, permite que en corto tiempo se pueda determinar si alguno de los tratamientos tiene un efecto sobre dichas variables.
- Para evitar problemas con esta plaga en los cafetales, se recomienda que el almácigo que se vaya a sembrar esté libre de nematodos, y también utilizar variedades de café tolerantes a los nematodos o con la raíz injertada con robusta que es una variedad de café resistente a nematodos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, F. (2012). *Propuesta del modelo de compra del café. Zamorano, Honduras*. 1p. (en línea). Recuperado de <http://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/878/3/T3242.pdf>
- Aliaga, M. (2009). *Efecto de bioestimulantes en la formación de callos de Haplorhus peruviana engl. para la propagación*. (Tesis de grado). Universidad Nacional del centro de Perú. Huancayo-Perú. 21p.
- Álvarez, D., Botina, J., Ortiz, A., Botina, L. (2016). *Evaluación nematocida del aceite esencial de Tagetes zypaquirensis en el manejo del nematodo Meloidogyne spp*. Revista de Ciencias Agrícolas. 33(1): 22-33. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v33n1/v33n1a03.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.
- Arcila, J., Farfán, F., Morreno, A., Salazar, G. (2007). Hincapié, E. *Crecimiento y desarrollo de la planta de café*. Cenicafé. Colombia. 42p.
- Arguedas, I., Calderón, J., Céspedes, E. Chacón, M., López, K. Medaglia, C., Mora, E., Vargas, F. (2013). *Estadísticas de comercio exterior de Costa Rica. Promotora del Comercio Exterior de Costa Rica*. San José, Costa Rica. 258pp.
- Artavia, R. (2018). *Evaluación de la tolerancia de cinco líneas de café derivadas del "Sarchimor T5296" contra el nematodo agallador Meloidogyne exigua (Gøeldi 1887) en etapa de almacigo, en San Isidro de Alajuela* (Tesis de grado). Univerdidad Nacional de Costa Rica, Costa Rica.
- ASERCA (Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios). 2017. *Panorama internacional café*. Recuperado de [https://amecafe.org.mx/wp-content/uploads/2017/09/Panorama\\_Internaciona\\_Caf%C3%A9\\_2017.pdf](https://amecafe.org.mx/wp-content/uploads/2017/09/Panorama_Internaciona_Caf%C3%A9_2017.pdf)
- Bertrand, D., Rapidel, B. (Eds). (1999). *Desafíos en la caficultura de centroamerica*. San José, Costa Rica. Recuperado de [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)

- Bendezu, R. 2017. Control de *Meloidogyne* sp. en vivero de *Coffea Arabica* mediante quinoleína fenólica, *Paecilomyces lilacinus* y estiércol en la zona de Satipo. (Tesis). Universidad Nacional del Centro del Perú. 13p
- Calderón G. (2013). *Nematodos y los síntomas en café*. ANACEFE. Recuperado de <https://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=16TEC:Sintomas-nematodos>
- Callejas, R., Covarrubias, J., Kusch, C. (2005). *Raíz de la Vid: su crecimiento y la eficiencia en el control de nematodos*. Universidad de Chile.
- Castilla, E., Millán, E., Mercado, J., Millán, C. (2016). *Relación de parámetros edáficos sobre la diversidad y distribución espacial de nematodos de vida libre*. Tecnología en Marcha. Vol. 30-3. Pág 24-34.
- Castillo, C., Hernández, M. (2005). *Evaluación de opciones alternativas al uso de agroquímicos para el manejo de nematodos fitoparásitos en el cultivo de café. En fincas de Masaya, Granada y Carazo*. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 6 p.
- Castro, R. (2017). *Almacenamiento de carbono y análisis de rentabilidad en sistemas agroforestales con Coffea arabica (L.) en la zona de los Santos, Costa Rica*. (Tesis de grado). Instituto tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). (1988). *Informe anual 1988-1989*. Turrialba, Costa Rica. Recuperado de <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A4168e/A4168e.pdf>
- Caveness, FE., Jensen, HJ. (1955). *Modification of centrifugal- flotation technique for the isolation and concentration of nematodes and their eggs from soil and plant tissue*. Proceedings Helminthological Society Washington 22(2):87-89.
- 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 maestría). CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Corrales, S., Varon, F., Barrera, N. (1999). *Reconocimiento de nematodos y efecto de Meloidogyne spp. En el cultivo de lulo Solanum quitoense Lam*. Acta Agronómica. 49, 43-47.

- Coyne, D., Nicol, J., Claudis, B. (2007). *Nematología práctica: una metodología de campo y laboratorio*. International Institute of Tropical Agriculture. 11p. Recuperado de <http://www.uark.edu/ua/onta/info/2010%20Nematodes%20Manual%20SPANISH.pdf>
- Cruz, L. (2013). *Identificación del nematodo agallador de la raíz del café en la región centro de Veracruz*. Universidad de Veracruz. Recuperado de <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/32253/1/cruzhernandezlibrado.pdf>
- Escobar, M. (2008). *Poblaciones de nematodos fitoparásitos asociados a diferentes sistemas de manejo de café en el municipio de Masatepe, Departamento de Masaya (Ciclo 2006-2007)*. (Tesis de grado). Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 10p.
- Evans, E. (S.f.) *Marginal Analysis: An Economic Procedure for Selecting Alternative Technologies/Practices I*. Recuperado de <http://edis.ifas.ufl.edu/pdf/FE/FE56500.pdf>
- Franco, J. (1986). *Nematodos del quiste de la papa Globodera sp.* 2 ed. Boletín de información técnica 9. Lima Perú. 18p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). *Los fertilizantes y su uso*. 632p. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-x4781s.pdf>
- García, M. (2004). *Estudio de la distribución horizontal de los nematodos fitoparásitos en áreas cultivadas con café de la cabecera municipal de San Vicente Pacaya, Escuintla*. (Tesis de grado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- González, A., Franco, J. (2008). *Los Nematodos en la producción de semilla de papa*. Producción de Tubérculos-Semillas de Papa Manual de Capacitación. 2p.
- Guaman, M. (1996). *Identificación de fuentes de resistencia al nematodo Meloidogyne sp. en germoplasma de tomate de árbol (Phomandra betacea Sendt) Ecuador* (Tesis de grado). Universidad Central de Ecuador, Quito.
- Hernán, F. (2001). *Efecto del nematicida Fosthiazate sobre poblaciones de nematodos fitoparásitos presentes en un huerto de vid (Vitis vinifera L.) cv. Cabernet Sauvignon, en la zona de Olivar, bajo situación de replante* (tesis de grado). Universidad Católica de Valparaíso, Chile.
- Hernández, D., Arias, Y., Gómez, L., Peteira, B., Miranda, I., Rodríguez, M. (2012). *Elementos del ciclo de vida de población cubana de Meloidogyne incognita (Kofoid y White) Chitwood en Solanum lycopersicum L.* La Habana, Cuba. Revista de protección vegetal. 27(3)

- 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).
- ICAFFE (Instituto del Café de Costa Rica). (2011). Guía técnica para el cultivo de café. Barva, Heredia. Recuperado de <http://www.icafe.cr/wp-content/uploads/cicafe/documentos/GUIA-TECNICA-V10.pdf>
- ICAFFE (Instituto del Café de Costa Rica). (2014). *Próxima cosecha de café podría aumentar en un 7.25%*. San José, Costa Rica. 2p. Consultado el 7 de agosto de 2016. Disponible en: <http://www.icafe.go.cr/icafe/anuncios/cosecha2014-1eraestimacion.pdf>. Visitado el 23 de setiembre de 2014
- ICAFFE (Instituto del Café de Costa Rica). (2018). *Informe sobre la actividad la actividad cafetalera de Costa Rica*. Heredia, Costa Rica.
- ICAFFE (Instituto del Café de Costa Rica). (s.f). *Déficit y excedente hídrico acumulado mensual*. Recuperado de <http://www.icafe.cr/sector-cafetalero/deficit-y-excedente-hidrico/>
- Jacas, J., Caballero, P., Avilla, J. (2005). *El control biológico de plagas y enfermedades*. Universidad Pública de Navarra. 154p.
- Kim, E., Seo, Y., Su, Y., Park, Y., & Ho, Y. (2017). *Effects of Soil Textures on Infectivity of Root-Knot Nematodes on Carrot*. The Plant Pathology Journal, 33(1), 66-74. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5291399>
- Leguizamon, J. (1988). *Los nematodos del café en Colombia y su control*. CENICAFE. Recuperado de <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/713/13/13%20Nematodos%20cafe%20y%20control.pdf>
- Leguizamón, J., Padilla, B. (2001). *Efecto de Beauveria bassiana y Metarhizium anisopliae en el control del nematodo del nudo radical*. Cenicafé. 52(1):29-41.
- López, I. (2009). *Control de Meloidogyne sp., en viveros de café (Coffea arabica L.), mediante el hongo Paecilomyces lilacinus*. (Tesis de grado). Universidad de El Salvador. 2p.

- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). (2000). *Manual técnico buenas prácticas de cultivo en café orgánico (Para productores)*. Costa Rica. Recuperado de [http://www.redmujeres.org/biblioteca%20digital/buenas\\_practicas\\_cafe\\_organico.pdf](http://www.redmujeres.org/biblioteca%20digital/buenas_practicas_cafe_organico.pdf)
- Mai, W. F., Lyon, H. H., Kruk, T. H. (1964). *Pictorial key to genera of plant parasitic nematodes*. First Edition. Department of Plant Pathology, New York State College of Agriculture. New York, USA. 54 p.
- Márquez, M., Gonzalvez, E. (2006). *Selección de cepas de Bacillus thuringiensis con efecto nematocida*. Manejo integrado de plagas y Agroecología (Costa Rica). 78 (1).
- Martínez, B., Infante, D., Reyes, Y. (2013). *Trichoderma spp. y su función en el control de plagas en los cultivos*. Revista de Protección Vegetal. 28 (1).
- Martínez, J., Díaz, T., Partida, L., Allende, R., Valdez, J., y Carrillo, J. (2015). *Nematodos fitoparásitos y su relación con factores edáficos de papaya en Colima, México*. Revista Mexicana de ciencias agrarias, 6(1). Recuperado de [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 de grado). Universidad Rafael Landívar. Jutiapa.
- Matiello, J., Santinato, R., García, A., Almeida, S., Fernandes, D. (2005). *Cultura de café no Brasil: Novo manual de recomendaciones*. Rio de Janeiro: Fundação Procafé. 434 pp.
- Mendoza, G., Wilson, J., Colina, J., 2013. *Efecto de Trichoderma atroviride, Trichoderma harzianum y Trichoderma viride sobre huevos de Meloidogyne sp. en condiciones de laboratorio*. Universidad Nacional de Trujillo. Revista científica de estudiantes. 1(2):e65
- Meza, P. (2017). *Nematodo lesionador*. Instituto de investigaciones agropecuarias. Recuperado de <http://www.inia.cl/wp-content/uploads/FichasTecnicasSanidadVegetal/Ficha%2010%20Nematodo%20lesionador.pdf>
- Millán, E., Castilla, E., Millán, C. (2016). *Comunidades de nematodos de vida libre en el suelo y su correspondencia con la calidad*. Revista Ingeniería y Región. 16(2):25-34



- Monzón, A., Herrera, I., Méndez, E. (Eds.). (2009). *Uso y manejo bioplaguicidas a base de Paecilomyces lilacinus para el control de nematodos fitoparásitos*. Nicaragua: Editorial Universidad Nacional Agraria.
- Morales, R. (2006). *Manejo de nematodos fitoparásitos utilizando productos naturales y biológicos*. (Tesis de grado). Puerto Rico. Universidad de Puerto Rico. Puerto Rico. 6p.
- Murga, S., Alvarado, J., Vera, N. (2012). Efecto del follaje de *Tagetes minuta* sobre la nodulación radicular de *Meloidogyne incognita* en *Capsicum annuum*, en invernadero. *Rev Peruana de Biología*, 19(3). Recuperada de [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). Universidad Agraria del Ecuador. Guayaquil, Ecuador. 8p.
- Niño, N., Arbeláez G., Navarro, F. (2008). *Efecto de diferentes densidades poblacionales de Meloidogyne hapla sobre uchuva (Physalis peruviana L.) en invernadero*. *Agronomía Colombiana*, 26(1), 58-56. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/18164/1/13917-40680-1-PB.pdf>
- Novasys. (2015). *Nematodos, una amenaza que tiene solución de forma ecológica*. España. Recuperado de <http://novasys.es/nematodos-amenaza-tiene-solucion-ecologica/>
- 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). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.
- Pérez, F., Cruz, D., Poma, E., Cadena, F. (2017). *Densidad poblacional de nematodos en el cultivo del café (Coffea arábica L.), Alto Lima-Caranavi*. *Revistas Bolivianas*, 4(1), 2409-1618. Recuperado de [http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S2409-16182017000100007&script=sci\\_arttext](http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S2409-16182017000100007&script=sci_arttext)
- Piedra, R. (2008). *Manejo biológico de nematodos fitoparásitos con hongos y bacterias. Tecnología en marcha*. *Revista Tec*. 21 (1):123-132
- Poveda, J. (1991). *Determinación de la distribución y frecuencia de fitonemátodos asociados al cultivo de melón (Cucumis melo L.) y evaluación de tácticas para combatir (Meloidogyne incognita (Kofoid & White) (Chitwood) en la región de Azuero, Panamá* (Tesis de maestría). CATIE, Turrialba, Costa Rica.

- Rendón, J., Arcila, J., Montoya, E. (2008). Estimación de la producción de café con base en los registros de floración. *Cenicafé*. 59(3):238-259p.
- Richard, P., Anderson, J., Winkelmann, d., Moscardi, E. (1988). *From Agronomic Data Farmer Recommendations: An Economic Training Manual*. CIMMYT: México, D.F. Recuperado de <http://www.cimmyt.org>
- Roberts, T. & Hutson, D. (Eds). (1999). *Metabolic Pathways of agrochemicals*. United Kingdom. Recuperado de <http://pubs.rsc.org/en/content/ebook/978-0-85404-499-3>
- Rojas, M. (2010). *Nemátodos del café. Revista informativa. CICAFFE, Heredia, Costa Rica*. Recuperado de <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 J Ramírez (Presidencia). III simposio de caficultura. CICAFFE, Heredia, Costa Rica.
- Rojas, M. Ramírez, D. Salazar, L. (2016). Pérdidas causadas por *Meloidogyne exigua* en café variedad caturra bajo condiciones controladas. XIV Congreso Nacional Agropecuario Forestal y Ambiental. San José.
- 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*. Turrialba, Costa Rica.
- Salazar, W. Guzmán, T. (2014). *Efecto nematicidas de extractos de Quassia amara y Brugmansia suaveolens sobre Meloidogyne sp. asociado al tomate en Nicaragua*. *Agronomía mesoamericana*. 25(1):111-119.
- Salazar, W., Guzmán, T. (2013). *Nematodos fitoparásitos asociados al tomate en la zona occidental de Nicaragua*. *Agronomía Mesoamericana*, 24(1):27-36. 2013. Recuperado de [http://www.mag.go.cr/rev\\_mesov24n01\\_027.pdf](http://www.mag.go.cr/rev_mesov24n01_027.pdf)
- Talavera, R. (2003). *Manual de nematología agrícola. Instituto de Investigación y formación agraria y pesquera*. Islas Baleares. 23 p.
- Taylor, A., Sasser, J. (1983). *Biología, identificación y control de los nematodos de nódulos de la raíz*. Recuperado de [http://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/PNAAQ245.pdf](http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNAAQ245.pdf)

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.

Villasagua, E. (S.f.) *Nematodos que afectan el cultivo del café*. Recuperado de: [https://www.academia.edu/20060167/NEMATODOS\\_QUE\\_AFECTAN\\_AL\\_CULTIVO\\_DEL\\_CAF%C3%89](https://www.academia.edu/20060167/NEMATODOS_QUE_AFECTAN_AL_CULTIVO_DEL_CAF%C3%89)

## ANEXOS

**Anexo A.** Análisis de nematodos en el 2015 en el lote experimental, Naranjo.

			
<b>INFORME DE ANALISIS DE NEMÁTODOS</b>			
FECHA:	02.06.2015		
CLIENTE:	F. J. Orlich Hnos. Ltda. (Hacienda Pilas)		
PROVINCIA:	Alajuela	CANTÓN:	San Ramón
DISTRITO:			
CULTIVO:	Café		
		Nematodos / 100 ml de Raíz	
No. Lab.	Identificación	Meloidogyne	Pratylenchus
N-73	E1 6	70000	4000
N-74	E1 7	4000	2000
<b>Observaciones:</b>		La muestra del Lote el 6, resultó con muy altas y severas poblaciones del principal nemátodo endoparásito: Meloidogyne sp, con gran proliferación de nódulos o agallas radicales. No obstante, se observó gran volumen de raíz viable o sana, la cual hay que proteger con aplicación de nematicida.	

**Anexo B.** Tabla análisis físico del suelo, Naranjo.

Textura del suelo	
Arena	57.60%
Arcilla	12.00%
Limo	30.40%
Textura	Franco arenosa

**Anexo C.** Fotomicrografías de la población de *M. exigua* identificada en una plantación de café.

- A. Región anterior de juveniles.
- B. Región posterior de Juveniles.
- C. Juvenil completo de *M exigua*.

Naranjo, Alajuela, 2016. Escala: A-F= 20  $\mu$ m, G y H= 30  $\mu$ m.



Anexo D. Poblaciones de *Meloidogyne* spp. en 10 g raíz de café y 100 g suelo.

Raíz				Suelo			
Fecha	Tratamiento	Bloque	<i>Meloidogyne</i>	Fecha	Tratamiento	Bloque	<i>Meloidogyne</i>
04/08/2016	T1	1	6040	04/08/2016	T1	1	8
04/08/2016	T2	1	1544	04/08/2016	T2	1	0
04/08/2016	T3	1	2368	04/08/2016	T3	1	3
04/08/2016	T4	1	16040	04/08/2016	T4	1	41
04/08/2016	T1	2	3848	04/08/2016	T1	2	8
04/08/2016	T2	2	9960	04/08/2016	T2	2	23
04/08/2016	T3	2	22600	04/08/2016	T3	2	3
04/08/2016	T4	2	3562	04/08/2016	T4	2	1
04/08/2016	T1	3	7896	04/08/2016	T1	3	24
04/08/2016	T2	3	5448	04/08/2016	T2	3	94
04/08/2016	T3	3	12680	04/08/2016	T3	3	36
04/08/2016	T4	3	8440	04/08/2016	T4	3	18
04/08/2016	T1	4	16040	04/08/2016	T1	4	140
04/08/2016	T2	4	3552	04/08/2016	T2	4	69
04/08/2016	T3	4	4008	04/08/2016	T3	4	1
04/08/2016	T4	4	8240	04/08/2016	T4	4	176
11/01/2017	T1	1	14280	11/01/2017	T1	1	208
11/01/2017	T2	1	4240	11/01/2017	T2	1	128
11/01/2017	T3	1	15800	11/01/2017	T3	1	648
11/01/2017	T4	1	8800	11/01/2017	T4	1	276
11/01/2017	T1	2	18000	11/01/2017	T1	2	496
11/01/2017	T2	2	14120	11/01/2017	T2	2	800
11/01/2017	T3	2	9080	11/01/2017	T3	2	384
11/01/2017	T4	2	33440	11/01/2017	T4	2	392
11/01/2017	T1	3	36840	11/01/2017	T1	3	616
11/01/2017	T2	3	10120	11/01/2017	T2	3	928
11/01/2017	T3	3	14600	11/01/2017	T3	3	568
11/01/2017	T4	3	20240	11/01/2017	T4	3	984
11/01/2017	T1	4	11040	11/01/2017	T1	4	32
11/01/2017	T2	4	10000	11/01/2017	T2	4	64
11/01/2017	T3	4	14800	11/01/2017	T3	4	304
11/01/2017	T4	4	22400	11/01/2017	T4	4	208

**Anexo E.** Costo de manejo del café en la finca.

Tipos de Labores	Jornales	Precio Mano de Obra/ha	Insumos	Mano de Obra + Insumos
Arreglo de sombra	3.1	₺ 31,186.00	₺ -	₺ 31,186.00
Atomizo 1	2.5	₺ 25,150.00	₺ 16,220.00	₺ 41,370.00
Atomizo 2	2.5	₺ 25,150.00	₺ 16,220.00	₺ 41,370.00
Atomizo 3	2.5	₺ 25,150.00	₺ 14,341.00	₺ 39,491.00
Atomizo 4	2.5	₺ 25,150.00	₺ 14,341.00	₺ 39,491.00
Atomizo 5	2.5	₺ 25,150.00	₺ 10,830.00	₺ 35,980.00
Control de malezas 1	4.2	₺ 42,252.00	₺ -	₺ 42,252.00
Deshija	4.6	₺ 46,276.00	₺ -	₺ 46,276.00
Fertilización 1	1.3	₺ 13,078.00	₺ 73,500.00	₺ 86,578.00
Fertilización 2	1.3	₺ 13,078.00	₺ 78,750.00	₺ 91,828.00
Fertilización 3	1.3	₺ 13,078.00	₺ 90,450.00	₺ 103,528.00
Herbicida	3.1	₺ 31,186.00	₺ 27,606.00	₺ 58,792.00
Herbicida 1	3.1	₺ 31,186.00	₺ 27,606.00	₺ 58,792.00
Insecticida	2.5	₺ 25,150.00	₺ 37,733.00	₺ 62,883.00
Poda de café	6.1	₺ 61,366.00	₺ -	₺ 61,366.00
Total				₺ 841,183.00

**Anexo F.** Cálculo de beneficios brutos en campo.

	Nemaxxion Biol	Radiax	Counter	Testigo
Fanegas	29.70	29.03	32.57	34.14
Precio fanega 16/17	₺ 77,392.00	₺ 77,392.00	₺ 77,392.00	₺ 77,392.00
Ingresos	₺ 2,298,914.36	₺ 2,247,011.48	₺ 2,521,011.90	₺ 2,642,095.24

Fuente: Elaboración propia

**Anexo G.** Cálculo detallado del Costo de cada uno de los tratamientos por hectárea.

	Nemaxxion Biol	Radiax	Counter	Testigo
<b>Costo de los productos por aplicación</b>				
Precio producto	₺ 19,529.60	₺ 17,500.00	₺ 23,950.00	₺ -
Cantidad de producto	4.0	3.0	3.0	-
Precio Melaza / (L)	₺ 1,500.00			
	<b>₺ 79,618.40</b>	<b>₺ 52,500.00</b>	<b>₺ 71,850.00</b>	<b>₺ -</b>
<b>Costo de la aplicación</b>				
Jornal (6 horas)	₺ 9,663.00	₺ 9,663.00	₺ 9,663.00	₺ -
Cantidad de jornales	2.0	2.0	1.0	-
Cargas sociales 26,33%	₺ 5,088.54	₺ 5,088.54	₺ 2,544.27	-
	<b>₺ 24,414.54</b>	<b>₺ 24,414.54</b>	<b>₺ 12,207.27</b>	<b>₺ -</b>
Número de aplicaciones	1	1	1	-
Costos	₺ 104,032.94	₺ 76,914.54	₺ 84,057.27	₺ -

Fuente: Elaboración propia