

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



TESIS DE GRADO

EVALUACIÓN DEL USO DE RESIDUOS AGRÍCOLAS COMO BIOFUMIGANTES EN EL CAFÉ (*Coffea arabica L.*) PARA EL CONTROL DEL NEMATODO AGALLADOR (*Meloidogyne spp.*) EN LA SUB - CENTRAL AGRARIA ALTO LIMA - CARANAVI - LA PAZ

PRESENTADO POR:

Fernando Perez Quispe

LA PAZ – BOLIVIA
2017

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

EVALUACIÓN DEL USO DE RESIDUOS AGRÍCOLAS COMO BIOFUMIGANTES EN EL CAFÉ (*Coffea arabica* L.) PARA EL CONTROL DEL NEMATODO AGALLADOR (*Meloidogyne spp.*) EN LA SUB - CENTRAL AGRARIA ALTO LIMA - CARANAVI - LA PAZ.

*Tesis de Grado presentado
como requisito parcial para optar
el título de Ingeniero Agrónomo*

FERNANDO PÉREZ QUISPE

ASESOR:

Ing. Ph. D. David Cruz Choque

Ing. M.Sc. Estanislao Poma Loza

TRIBUNAL EXAMINADOR:

Ing. M.Sc. Teresa Ruiz Díaz Luna Pizarro

Ing. M.Sc. Carlos López Blanco

Ing. Freddy Cadena Miranda

APROBADA

Presidente Tribunal Examinador

La Paz – Bolivia

2017

DEDICATORIA

A Dios por la vida y por brindarme salud y un hogar especial.

Al sacrificio constante de mi papá Bernabé y la dulzura comprensión de la madre más linda del mundo Carmen. A la confianza de mis hermanos Ramiro y Aida; la comprensión y apoyo de mi compañera de vida Nadir.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por demostrarme tantas veces su existencia y con ello darme fuerzas para salir delante de cada tropiezo.

A la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés, por los conocimientos y experiencias transmitidas que hicieron posible mi formación profesional.

A mis asesores Ph. D. David Cruz Choque y Ing. M.Sc. Estanislao Poma Loza, por el constante apoyo, paciencia, entrega y dirección de este trabajo.

Al tribunal examinador Ing. M.Sc. Teresa Ruiz Díaz Luna Pizarro, Ing. Freddy Cadena Miranda y Ing. M.Sc. Carlos López Blanco, quienes me apoyaron bastante en la corrección del documento final.

Al Proyecto Efecto Podas Café Caranavi, por el apoyo económico en la ejecución y conclusión del presente trabajo.

A mis padres Bernabé Perez y Carmen Quispe por su determinación, entrega y humildad que me han enseñado tanto y a mis hermanos Ramiro y Aida por su apoyo y alegría brindados.

A los Sres. Cristóbal Poma, Eduardo Chávez y la Sra. Claudia por su amistad incondicional y su gran apoyo en la fase de campo tanto en la implementación de prácticas en los campos cafetaleros y el contacto con los productores cafetaleros.

Y a todas aquellas personas que, de una u otra forma, colaboraron o participaron en la realización de esta investigación, hago extensivo mi más sincero agradecimiento.

¡Que Dios les bendiga a todos!

ÍNDICE GENERAL

	Pagina
ÍNDICE GENERAL	<i>i</i>
ÍNDICE DE CUADROS	<i>vi</i>
ÍNDICE DE FIGURAS	<i>vii</i>
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	<i>viii</i>
ANEXOS	<i>x</i>
RESUMEN	<i>xi</i>
ABSTRACT	<i>xii</i>

	Pagina
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVOS.....	3
1.1.1. Objetivo general	3
1.1.2. Objetivos específicos	3
1.2. Hipótesis.....	3
2. REVISIÓN LITERARIA	4
2.1. Producción de café a nivel mundial.....	4
2.2. Importancia del cultivo en la producción a nivel nacional	4
2.3. Características de la producción de café a nivel regional.....	5
2.3.1. Características agroecológicas y climáticas.....	5
2.3.2. Características de la producción.....	6
2.3.3. Producción de café	6
2.3.4. Variedades presentes en la región	6

2.4	. Taxonomía del cultivo del café	6
2.5.	Nematodos Fitoparásitos en la caficultura	7
2.5.1.	Nematodos fitoparásitos asociados al cultivo del café	8
2.5.1.1.	<i>Meloidogyne</i> spp.	8
2.5.1.2.	Ciclo de vida	10
2.5.2.	Factores que afectan la actividad de los nematodos fitoparásitos.....	13
2.5.2.1.	Factores que afectan el desarrollo y reproducción de los nematodos ...	14
2.5.2.2.	Las condiciones de Suelo	14
2.5.2.3.	Humedad en el suelo	14
2.5.2.4.	Temperatura	14
2.5.2.5.	Tipo de Suelo	15
2.5.2.6.	Fertilidad del suelo.....	15
2.5.2.7.	Las condiciones de clima	16
2.6.	Control de nematodos fitoparásitos.....	17
2.6.1.	Alternativas agroecológicas para el control Nematodos Fitoparásitos	17
2.6.1.1.	Control físico.....	17
2.6.1.2.	La vaporización	18
2.6.1.3.	La solarización.....	18
2.6.1.4.	Control cultural	19
2.6.1.5.	El barbecho	19
2.6.1.6.	Rotación de cultivo	20
2.6.1.7.	Cultivos trampa.....	20

2.6.1.8. Cultivares con genes de resistencia	20
2.6.1.9. Control biológico	21
2.7. Biofumigación	21
2.7.1. La biofumigación como alternativa de control de Nematodos Fitoparásitos ..	22
2.7.2. Modo de acción de la biofumigación	26
2.7.3. Acción de la biofumigación y el control biológico de nematodos Fitoparásitos ..	27
2.7.4. La Biofumigación con enmiendas orgánicas	28
2.7.4.1. Pulpa de café.....	29
2.7.4.2. Gallinaza	30
2.7.4.3. Cascarilla de Arroz	31
2.7.5. Biofumigación y uso de la materia orgánica.....	31
3. MATERIALES Y MÉTODOS	34
3.1. Localización	34
3.1.1. Fisiografía y vegetación de la Provincia Caranavi.....	34
3.1.1.1. Zona numero dos Serranías Altas Levemente Disectadas con Bosque Húmedo.....	34
3.2. Materiales	37
3.2.1. Material vegetal	37
3.2.2. Material de laboratorio	38
3.2.3. Insumos de laboratorio	39
3.3. Metodología	39
3.3.1. Método de campo para diagnóstico de nematodos.....	39

3.3.1.1. Criterios de selección de las zonas de estudio para la recolección de poblaciones de Nematodos Fitoparásitos	39
3.3.1.2. Características de la comunidad seleccionada de la Provincia Caranavi para la recolección de poblaciones de Nematodos Fitoparásitos	40
3.3.2. Identificación de la incidencia del principal agente causal de Nematodos Fitoparásitos del café	41
3.3.2.1 Recolección de muestras en campo	41
3.3.3. Método en Laboratorio.....	42
3.3.3.1. Extracción de nematodos a partir de muestras de raíz del café	42
3.3.3.2. Extracción de nematodos a partir de muestras de suelo del café	43
3.3.3.3. Procedimiento de conteo de Nematodos Fitoparásitos	43
3.3.3.4. Procedimiento de fijación de Nematodos Fitoparásitos.....	44
3.3.3.5. Identificación de Nematodos Fitoparásitos	44
3.3.4. Incorporación de la materia orgánica para la biofumigación en campo	45
3.3.4.1. Recolección de poblaciones de nematodos aplicados con tratamientos	47
3.3.5. Muestreo de nematodos Fitoparásitos fluctuación poblacional	48
3.4. Diseño Experimental.....	49
3.4.1. Modelo Lineal Aditivo.....	50
3.5. Variables evaluadas.....	51
3.5.1. Análisis de datos.....	51
3.5.2. Croquis experimental	51
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	53

4.1. Géneros de Nematodos Fitoparásitos asociados al Cultivo del café (<i>Coffea arábica</i> L.).....	53
4.2. Efecto de los tratamientos biofumigación sobre las poblaciones de nematodos Fitoparásitos en la zona baja de la colonia Alto Lima.....	57
4.2.1 <i>Meloidogyne</i> spp en las raíces del café.	57
4.2.2 <i>Meloidogyne</i> spp en el suelo del café.	60
4.3. Efecto de los tratamientos biofumigación sobre las poblaciones de nematodos Fitoparásitos en la zona alta de la colonia Alto Lima.....	62
4.3.1. <i>Meloidogyne</i> spp en las raíces.....	62
4.3.2. <i>Meloidogyne</i> spp en la el suelo.....	64
5. CONCLUSIONES	68
6. RECOMENDACIONES	70
7. BIBLIOGRAFÍA.....	72

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Características geográficas y generales de las Zonas seleccionadas de la comunidad Alto Lima Provincia Caranavi	40
Cuadro 2. Cantidad de Tratamiento Aplicado al café	46
Cuadro 3. Número de muestras extraídas por mes	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ciclo biológico del género <i>Meloidogyne</i> (tomado de Piedra Buena 2005).	12
Figura 2. Mapa de ubicación de la zona de estudio de la Provincia Caranavi, donde se ha realizado la investigación	36
Figura 3. Recolección de muestras en los cafetales.....	41
Figura 4. Detalle de recolección de muestras con tratamientos de los cafetales	49
Figura 5. Croquis del diseño experimental en cada zona	51
Figura 6. Frecuencia de presencia de nematodos Fitoparásitos en el suelo asociados al cultivo del café (<i>Coffea arábica</i> L) en la comunidad Alto Lima Caranavi 2016.....	53
Figura 7. Frecuencia de presencia de nematodos Fitoparásitos en la raíz cultivo del café (<i>Coffea arábica</i>	55
Figura 8. Densidad poblacional del nematodo <i>Meloidogyne</i> spp en la raíz cultivo del café (<i>Coffea arábica</i> L) en la comunidad Alto Lima Caranavi zona baja 2016.....	57
Figura 9. Densidad poblacional del nematodos <i>Meloidogyne</i> spp en los suelos del cultivo de café (<i>Coffea arabica</i> L) en la comunidad Alto Lima Caranavi zona baja 2016.	60
Figura 10. Densidad poblacional del nematodos <i>Meloidogyne</i> spp en la raíz cultivo del café (<i>Coffea arabica</i> L) en la comunidad Alto Lima Caranavi Zona Alta 2016.	63
Figura 11. Densidad poblacional del nematodos <i>Meloidogyne</i> spp en los suelos del cultivo de café (<i>Coffea arabica</i> L) en la comunidad Alto Lima Caranavi Zona Alta 2016.	65

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍA

Fotografía 1. Marbeteado del café	79
Fotografía 2. Plantaciones de cafe afectado por nematodos.....	79
Fotografía 3. Recolección de raíz y suelos infectados con nematodos agallador	79
Fotografía 4. Aplicación de la cascarilla de arroz en anillos en los cafetales.....	80
Fotografía 5. Aplicación de tratamiento de gallinaza en los cafetales.....	80
Fotografía 6. Aplicación de pulpa de café en anillos en cafetales	81
Fotografía 7. Remoción de los tratamientos biofumigantes con la ayuda de un pico....	81
Fotografía 8. Extracción de muestras de raiz y suelo del cafe.....	82
Fotografía 9. Muestras de raíz y suelos etiquetados	82
Fotografía 10. Mezcla y cuarteado de suelos infectados con nematodos fitoparásitos.	82
Fotografía 11. Pesado de 100 g de suelo.....	82
Fotografía 12. Lavado y secado de las raíces de café	82
Fotografía 13. Troceado de la raíz a un centimetro	82
Fotografía 14. Pesado de 25 g de raíz del café.....	83
Fotografía 15. Raíces con modulaciones del café.....	83
Fotografía 16. Agitación de suelo con presencia de nematodos fitoparásitos en agua.	83
Fotografía 17. Licuado de las raíces durante 30 s en dos fases a 3500 y 3000 rpm	83
Fotografía 18. Demarcación a un cm la placa petri para conteo poblacional de nematodos	83
Fotografía 19. Vaciado del licuado en tamices de 100 y 400 mesh sobrepuestos.....	83
Fotografía 20. Lavado del tamiz de 400 mesh con presencia de nematodos con ayuda de una piseta	84
Fotografía 21. Recolección de la muestra en un vaso de precipitados los nematodos.	84

Fotografía 22. Colocado de la muestra con presencia de nematodos en los tubos de centrifugar	84
Fotografía 23. Primera centrifugación a 3500 rpm durante 3 minutos	84
Fotografía 24. Eliminación del sobrenadante de todos los tubos de centrifugación	84
Fotografía 25. Preparación de la solución azucarada al 50 porciento	84
Fotografía 26. Aplicación de solución azucarada a los tubos de centrifugacion	85
Fotografía 27. Segunda centrifugacion a 3000 rpm durante 3 minutos	85
Fotografía 29. Recoleccion de los nematodos en tamiz de 400 mesh	85
Fotografía 30. Recolección de nematodos en una placa Petri para su observación	85
Fotografía 31. Recolección de los nematodos con abundante agua	85
Fotografía 32. Identificación de nematodos con claves taxonómicas y morfométricas	86
Fotografía 33. Cuantificación de nematodos fitoparásitos	86
Fotografía 34. Medidas micrométricas para la identificación de nematodos fitoparásitos	86
Fotografía 35. Nematodo agallador <i>Meloidogyne</i> spp.	87
Fotografía 36. Vista de estilete del nematodo <i>Meloidogyne</i> spp.	87
Fotografía 37. Estadio J2 del nematodo agallador <i>Meloidogyne</i>	87
Fotografía 38. Nematodo lesionador <i>Pratylenchus</i> spp	88
Fotografía 39. Nematodo espiral <i>Helicotylenchus</i> spp.	88
Fotografía 40. Nematodo del genero <i>Criconemella</i> spp.	89
Fotografía 41. Vista del estilete <i>Criconemella</i>	89
Fotografía 42. nematodos de vida libre, no presentan estilete en el aparato bucal	89

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Cultivo del café afectados por el nematodo agallador <i>Meloidogyne spp.</i>	79
Anexo 2. Aplicación de la biofumigación en las plantaciones de café	80
Anexo 3. Extracción, cuantificación de nematodos fitoparásitos y su identificación.....	82
Anexo 4. Identificación de generos encontrados en el cultivo del café	87
Anexo 5. Precapitaciones medias mensuales (mm) del área de estudio Caranavi San Lorenzo.....	90
Anexo 6. Análisis de la varianza Muestras de Raíz.....	91
Anexo 7. Análisis de la varianza Muestras de Suelo	94

RESUMEN

Una de las varias problemáticas en la caficultura en los yungas del departamento de La Paz, es la presencia y ataque imperceptible de los nematodos fitoparásitos en las plantaciones de cafetales, en especial el género *Meloidogyne spp.* o nematodo formador de agallas el cual tiene mayor distribución geográfica y el que más comúnmente se encuentra asociado al cultivo del café, que conjuntamente a los cambios climáticos estos merman los rendimientos considerablemente, afectando los ingresos económicos de las familias dedicadas a este rubro. En tal razón se planteó la siguiente investigación, con el objetivo de evaluar el efecto de la Biofumigación sobre la población de nematodos fitoparásitos del Genero *Meloidogyne spp.* asociados al cultivo de café. En cada zona de estudio Alta y Baja, se establecieron un área de 800 m² y 820 m² respectivamente, donde se encontró al agente causal de mayor incidencia que es el Nematodo *Meloidogyne spp.*, para su control se evaluaron los tratamientos: Cascarilla de Arroz (1); Gallinaza (2); Pulpa de Café (3); Mezcla (Cascarilla de Arroz, Gallinaza, Pulpa de Café) (4); Testigo Absoluto (0). Mensualmente se tomaron muestras de suelo y de raíz, las cuales fueron analizadas en el laboratorio de Fitopatología de la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor San Andrés, mediante las técnicas de tamizado y centrifugado en soluciones de azúcar, para las muestras de suelo; y licuadora más tamices para las muestras de raíz. Las muestras fueron tomadas utilizando barreno y pala, en el área comprendida entre los 20 centímetros del tronco de la planta y 15 a 20 centímetros de profundidad. Las variables evaluadas fueron: Número de nematodos fitoparásitos por género presentes en 100 g de suelo y Número de nematodos fitoparásitos por género presentes en 25 g de raíces.

Los resultados obtenidos mostraron que todos los tratamientos de Biofumigación sobre la población de Nematodos *Meloidogyne spp.* fueron significativos, el tratamiento que presentó las poblaciones más bajas de nematodos, en las dos zonas de estudio fue la Cascarilla de Arroz (1), con reducciones de 98,2 % y el que presentó las poblaciones más altas fue el Testigo Absoluto (0). Con relación a la densidad poblacional de los géneros de nematodo en las dos zonas de estudio, las poblaciones más altas, fue el Testigo Absoluto (0) con relaciones de 33928 a 5920 nematodos en 25 g de raíces y de 420 a 425 nematodos en 100g de suelo. El tratamiento que menor población presento fue la Cascarilla de Arroz (1) con relaciones de 17548 a 108 nematodos en 25 g de raíces y de 370 a 20 nematodos en 100g de suelo.

ABSTRACT

One of the several problems in coffee cultivation in the Yungas department of La Paz is the imperceptible presence and attack of plant nematodes in coffee plantations, especially the genus *Meloidogyne* spp. Or gill-forming nematode, which has a greater geographical distribution and is more commonly associated with coffee cultivation, which together with climatic changes, reduce yields considerably, affecting the economic income of families dedicated to this area. In this reason, the following research was proposed, with the objective of evaluating the effect of Biofumigation on the population of plant nematodes of the genus *Meloidogyne* spp. Associated with the cultivation of coffee. An area of 800 m² and 820 m² was established in each Upper and Lower study area, where the most important causal agent was *Nematodo Meloidogyne* spp. The treatments were: Rice husk (1); Hens (2); Coffee Pulp (3); Mixture (Rice husks, hens, Coffee pulp) (4); Absolute Witness (0). Monthly soil and root samples were taken, which were analyzed in the Phytopathology Laboratory of the Faculty of Agronomy of the Universidad Mayor San Andrés, using sieving and centrifuging techniques in sugar solutions for soil samples; And blender plus sieves for root samples. Samples were taken using drill and shovel, in the area between 20 centimeters of the trunk of the plant and 15 to 20 centimeters deep. The variables evaluated were: Number of plant nematodes per genus present in 100 g of soil and Number of plant nematodes per genus present in 25 g of roots.

The results showed that all Biofumigation treatments on the population of *Nematodes Meloidogyne* spp. Were significant, the treatment of the lowest populations of nematodes in the two study areas was the Rice Cascade (1), with reductions of 98.2% and the one with the highest populations was the Absolute Witness (0). In relation to the population density of nematode genera in the two study areas, the highest populations were the Absolute Witness (0) with ratios of 33928 to 5920 nematodes in 25 g of roots and 420 to 425 nematodes in 100 g Of soil. The treatment that the lowest population presented was Rice husk (1) with ratios of 17548 to 108 nematodes in 25 g of roots and 370 to 20 nematodes in 100g of soil.

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo del café (*Coffea arabica* L.) es de gran importancia económica a nivel mundial, tanto así en los países tropicales de América Central, América del Sur, África y Asia, el cual es considerado como una fuente importante de ingreso para cooperativas y familias productoras (Alvarado, 1998).

Estos últimos años las plantaciones de café se viene afectado por diversos factores que ponen en riesgo la producción cafetalera, por el ataque de plagas y enfermedades. Entre las diferentes plagas que atacan al cultivo del café se encuentran los nematodos fitoparásitos, que son considerados como gusanos microscópicos incoloros que se ubican en las raíces secundarias de la planta, los cuales se encuentran en forma filamentosa (alargada) o globosa cuando son adultos (FECAFEB, 1998).

Los nematodos fitoparásitos constituyen un factor limitante para la producción de café en muchas zonas productoras del mundo, se les responsabiliza de pérdidas considerable en los rendimientos (Rosales 1995). El daño causado por los nematodos a las raíces afecta las funciones de nutrición mineral y de absorción del agua, (Barrientos, 1998). Estas alteraciones fisiológicas conducen a un lento crecimiento y una clorosis de las hojas que pueden evolucionar en un rápido paloteo y agotamiento de la planta, causando grandes pérdidas en la producción (Anzueto *et al.* 2000).

El manejo y control de los nematodos fitoparásitos se ha fundamentado básicamente en el control químico, utilizando nematicidas. No obstante, estos productos son costosos, afectan el medio ambiente y la salud humana (Acosta, 1990).

Debido a los efectos negativos de los plaguicidas, tales como el desarrollo de resistencia a las plagas, el efecto sobre la salud humana y la contaminación ambiental, así como exigencia de los consumidores y nuevos enfoques de producción agrícola, ha surgido la necesidad de desarrollar opciones alternativas de manejo de plagas, entre las que los productos biológicos, botánicos, así como enmiendas orgánicas y la biofumigación

juegan un papel muy importante. (Gonzales, 1993).

La biofumigación, se basa en la acción desinfectante de las sustancias volátiles procedentes de la biodescomposición de la materia orgánica y de los residuos agropecuarios en el control de patógenos de los vegetales. El uso de la biofumigación, como alternativa no química para el control de los organismos patógenos de los vegetales, ha sido aceptada sin dificultad por aquellos productores y técnicos con gran experiencia en la gestión de los sistemas agrarios y en el manejo de la materia orgánica (Bello *et al.* 2001).

Tomando en consideración la necesidad que existe de proponer alternativas para el control de los fitoparásitos y debido a la aplicación de materia orgánica tales como cascarilla de arroz, pulpa de café, gallinaza y otros, estos pueden ser usados como biofumigantes para el control de los nematodos fitoparásitos del cultivo del café.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo general

- Evaluar el efecto de residuos agrícolas y pecuarios como biofumigantes en el café (*coffea arábica*), para el control del nematodo agallador (*Meloidogyne spp.*), en dos zonas altitudinales en la provincia de Caranavi.

1.1.2. Objetivos específicos

- Determinar los principales nematodos fitoparásitos que afectan a la producción de café en la comunidad intercultural de Alto Lima, Provincia Caranavi – La Paz

- Evaluar el efecto de los tratamientos con residuos agrícolas y pecuarios como biofumigante, sobre la población del nematodo agallador *Meloidogyne spp.*, en el cultivo del café.

- Determinar la fluctuación poblacional del nematodo agallador *Meloidogyne spp.* con los tratamientos aplicados con residuos agropecuarios en su efecto como biofumigación.

1.2. Hipótesis

Ho. No existe diferencia en la aplicación de tres tratamientos de biofumigación en la población del nematodo agallador *Meloidogyne spp.*

2. REVISIÓN LITERARIA

2.1. Producción de café a nivel mundial

El café es cultivado por más de cincuenta países en diversos continentes, llegando a ocupar un área superior a los 11 millones de hectáreas, con una producción media anual entre el periodo 1997 a 2000 de 103 millones de sacos, donde los países del Brasil, Colombia, Indonesia, México y el Vietnam contribuyeron con más del 56% de esa producción (GARCAFE, 2000 citado por Huarcacho, 2008).

2.2. Importancia del cultivo en la producción a nivel nacional

La llegada del café a Bolivia, se dice que la planta fue traída por africanos que huían de la esclavitud en el Brasil en 1780 y que se establecieron en la región de los Yungas del departamento de La Paz (FECAFEB, 2006).

El cultivo del café es uno de los productos que a nivel Nacional ha generado ingresos importantes los cuales llegaron a alcanzar cifras de hasta 15 millones de dólares anuales, donde la Provincia Caranavi genera el 80% de toda esa producción a nivel nacional (FECAFEB, 2001).

Este cultivo también de forma indirecta genera más de 8000 empleos los cuales se distribuyen desde el acopio, transporte, beneficiado, torrefacción y venta del producto, donde más de 20 mil familias productoras son beneficiadas. La producción de este cultivo va en aumento cada año, principalmente la producción orgánica la cual va creciendo 20% anual sobre todo en la OECA's (Organizaciones Económicas Campesinas) establecidas como cooperativas exportadoras. (FECAFEB, 2001 citado por Huarcacho, 2008).

2.3. Características de la producción de café a nivel regional

2.3.1. Características agroecológicas y climáticas

Según FECAFEB (2001), la Provincia Caranavi se encuentra clasificada en tres zonas fisiográficas, las cuales fueron clasificadas por la Unidad de Tierra del Subandino en el Departamento de La Paz, según el Documento Zonificación

Agroecológica y propuesta técnica del plan de uso del suelo en la región amazónica, donde la zona N° 2 clasificada como serranías altas, levemente disecadas con bosque húmedo es la que concentra el mayor interés en la producción de café por las condiciones climáticas ideales para el cultivo.(FECAFEB, 2001 citado por Huarcacho 2008).

En esta macro región Zona N° 2, las características más sobresalientes están en función de los requerimientos del cultivo, el cual es mencionado por la FECAFEB (2001) de la siguiente forma:

Esta zona desde el punto de vista altitudinal se encuentra entre los 700 a 2000 m.s.n.m., dentro de esta faja altitudinal los 1200 a 1800 m.s.n.m., es la mejor zona para el cultivo del café. Esta zona presenta una precipitación promedio de 1500 mm/año donde precipitaciones menores a 1000 mm/año limitan el crecimiento de la planta, y con mayores a los 3000 mm la calidad física del café se llega a deteriorar.

Así mismo, los periodos secos de tres meses (julio, agosto y septiembre), y los periodos lluviosos de cinco meses (diciembre, enero, febrero, marzo y abril), donde el sector Noreste, lugar donde se encuentra el Cantón Entre Ríos y San Lorenzo registraron lluvias muy intensas de 2000 mm/año. Con relación a la temperatura, se reporta un promedio anual de 20 a 22°C que son favorables para el cultivo. (FECAFEB, 2001 citado por Huarcacho)

2.3.2. Características de la producción

Según FECAFEB (2001) y ASOCAFE (1998) la producción de café en la Región de Caranavi se encuentra concentrada en la Zona N° 2, donde cada una de las colonias se encuentran agrupadas en OECA's (Organizaciones Económicas Campesinas), que con la ayuda del Proyecto Café Orgánico, han logrado resultados positivos en la presentación final del producto, y de esta forma acceder a mercados internacionales.

2.3.3. Producción de café

Según el documento de FECAFEB (2001), "Tipificación de la Calidad del café de las OECA's", estadísticamente se tiene registrado la producción de 14 OECA's afiliadas a la FECAFEB con una producción total de 31'059,54 sacos de 70 Kg en 97 colonias y con 1749 productores.

Así mismo FECAFEB (2001), menciona que la superficie total utilizada por las 14 OECA's para la producción de este cultivo se encuentra entre los 6372.07 hectáreas. Por otro lado se menciona un rendimiento promedio de 11 sacos de 50 Kg/ ha de café verde oro de exportación y aproximadamente 29 quintales por hectárea de café pergamino húmedo.

2.3.4. Variedades presentes en la región

Barrientos (1998) y FECAFEB (2001), señalan que la variedad criolla o típica abarca aproximadamente el 67% de la superficie cafetalera y el 31.33 % corresponde a variedades mejoradas como Caturra, Catuai, Catimor y otras.

2.4. Taxonomía del cultivo del café

Según Rojas (1994) y Cuba (2003), el cultivo del café tiene la siguiente clasificación taxonómica:

- **Clase:** Magnoliopsida
- **Sub Clase :** Asteridae
- **Orden:** Rubiales
- **Familia:** Rubiaceae
- **Género:** *Coffea*
- **Especie:** *Coffea arabica* ($2n = 4x = 44$)
- **Variedad:** Typica, Bourbon, Caturra, Catuai, Catimor, Mundo Novo

2.5. Nematodos Fitoparásitos en la caficultura

Mendoza et al. 1995 menciona que los nematodos fitoparásitos en caficultura constituyen un grupo de organismos poco estudiados y en consecuencias pobremente entendidos. Es hasta hace poco tiempo cuando en Centroamérica se empezó a hablar sobre ellos, debido en gran medida a la reconfirmación de problemas en la producción (Mendoza et al. 1995).

Los nematodos son uno de los grupos de invertebrados más numerosos sobre la tierra; son de gran importancia en la agricultura debido a los problemas que causan (Condori, 2000). Una parte importante de los daños se generan debido a la secreción que los nematodos inyectan al alimentarse de la planta y esta secreción afecta el tejido vegetal causando necrosis, destrucción de las paredes celulares y provoca la supresión de la división celular en el meristemo apical, impidiendo así el crecimiento de la raíz (González, 1993).

Los nematodos predisponen a las plantas para la infección por otros organismos, ya que al penetrar en las raíces causan cambios fisiológicos en los tejidos, lo que facilita la acción de los hongos, bacterias y virus que habitan el suelo (Taylor y Sasser 1983), ocasionan daños indirectos; no permiten que el café se desarrolle normalmente y exprese plenamente su potencial productivo. Los nematodos se producen mayormente

durante el período lluvioso pero sus daños en las plantas se acentúan durante el período seco (Mateille 1993).

Arauz (1998), menciona que el desarrollo de una población de nematodos fitoparásitos en un cultivo, involucra los procesos de supervivencia, diseminación, infección, alimentación y reproducción. En ausencia del hospedante los fitonematodos pueden sobrevivir períodos de semanas o meses en estados de baja actividad metabólica, como el reposo o diapausa, inducidos por factores endógenos y ambientales (Arauz, 1998).

Muchos patógenos que habitan en el suelo, también son causa importante de pérdidas en la producción (Miller, 1975). Monterroso (1999), comparo poblaciones de nematodos en cafetales con manejo convencional y sombra menor de 10% y cafetales con sombra entre el 60% encontrando la predominancia de los géneros *Meloidogyne* y *Pratylenchus*, siendo *Meloidogyne* el más abundante.

Debido a que estos organismos que viven en el suelo, son de tamaño microscópico y a menudo no causan síntomas específicos en las partes aéreas de los cafetos, los nematodos no son detectados fácilmente, por ello su impacto económico ha sido subestimado por largo tiempo (Noir *et al.* 2003).

2.5.1. Nematodos fitoparásitos asociados al cultivo del café

2.5.1.1. *Meloidogyne* spp.

Las especies de *Meloidogyne* (nematodo agallador de la raíz) son endoparásitos sedentarios. Su reproducción ocurre solamente cuando el segundo estadio larval infectivo penetra en las raíces u otras partes subterráneas de una planta apropiada, 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 (Taylor y Sasser 1983).

Este género se considera de gran importancia para el cultivo del café, estudios de nocividad han demostrado que la progresión de los daños ha significado pérdidas en rendimientos superiores al 60% en campos de producción afectados (Fernández *et al.* 1993). Este género destruye completamente la raíz del cafeto, la planta no forma raíces nuevas, quedando las raíces gruesas, las que tienen una capacidad muy limitada para la absorción de agua y nutrientes (Jaehn 1990). A diferencia de otros géneros *Meloidogyne* posee una característica muy peculiar, (formación de agallas) a simple vista son fáciles de identificar; inicialmente de color blanco, pero después se tornan parduzcas (Teliz *et al.* 1993).

La posición sistemática de los nematodos formadores de nódulos hasta el nivel de familia ha sido objeto de discusión durante muchos años. Después de los estudios de Gómez y Lucila (2007), la ubicación taxonómica de este género se ha considerado del modo siguiente:

- **Phylum:** *Nematoda* Pott, 1932.
- **Clase:** *Chromadorea* Inglis, 1983.
- **Subclase:** *Chromadoria* Pearse, 1942.
- **Orden:** *Rhabditida* Chitwood, 1933
- **Suborden:** *Tylenchina* Thorne, 1949
- **Infraorden:** *Tylenchomorpha* De Ley y Blaxter, 2002
- **Superfamilia:** *Tylenchoidea* Örley, 1980
- **Familia:** *Meloidogynidae* Skarbilovich, 1959.
- **Subfamilia:** *Meloidogyninae* Skarbilovich, 1959
- **Género:** *Meloidogyne* Göldi, 1892.

En cuanto a la parte aérea, los síntomas de una planta infestada con *Meloidogyne* son similares a los que presenta una planta con otro tipo de daño en las raíces, estos pueden ser; de acuerdo con Magunacelaya (1999); Taylor y Sasser (1983).

La inhibición de la brotación, disminución del crecimiento y deficiencias nutricionales

en forma de clorosis del follaje, ya que los nematodos interfieren la producción y translocación de sustancias provenientes de las raíces, como las hormonas giberelinas y cito quininas, y también de sustancias que regulan la fotosíntesis.

Marchitez temporal a pesar de haber humedad adecuada en el suelo, debido al menor tamaño del sistema radical y a que los elementos vasculares en los nódulos se rompen y se deforman interrumpiendo mecánicamente el flujo normal de agua y nutrientes. Finalmente, disminución de la producción o pérdida de ésta.

2.5.1.2. Ciclo de vida

El conocimiento de la biología, hábitos de vida y alimentarios, así como de la influencia de los factores ecológicos sobre las poblaciones de nematodos en general y de *Meloidogyne* spp. en particular, es esencial para la adopción de las estrategias de manejo más adecuadas (Gheysen y Jones 2006).

El ciclo biológico de los nematodos del género *Meloidogyne* (Figura 1) comienza en el huevo, donde aparece la primera de las cuatro fases juveniles (J1). Dentro del huevo tiene lugar la primera muda, emergiendo como segundo estadio juvenil (J2), el cual posee capacidad migratoria y puede penetrar en los tejidos de la planta “fase infectiva” (Taylor y Sasser 1983, citado por Huarcacho, 2008).

El estado J2 tiene energía suficiente para permanecer cerca de un mes en la búsqueda y penetración de la raíz, estableciendo un sitio de alimentación. Cuando los juveniles del segundo estadio (J2) de *Meloidogyne* spp. se ponen en contacto con las raíces usualmente penetran por detrás de la radícula, pero pueden hacerlo por cualquier sitio de la raíz (Gheysen y Jones 2006). Para penetrar la rígida pared celular de la raíz utilizan una combinación de fuerzas físicas y bioquímicas. Las primeras, ejercidas mediante el estilete, y las segundas mediante enzimas peptolíticas y celulolíticas, que ocasionan la ruptura de la pared celular. La penetración puede ocurrir a manera de infestación múltiple, donde varios J2 invaden una misma raíz, o de forma individual (Davis *et al.* 2000).

Una vez que los nematodos penetran el tejido vegetal, se trasladan intercelularmente desde los puntos de penetración hasta encontrar y desarrollar sus sitios de alimentación. Según Wyss (1997), es posible que este comportamiento de desplazarse entre las células durante la migración sin dañarlas, sea parcialmente responsable del gran número de plantas hospederas que poseen estos nematodos.

Para esquivar la barrera formada por la endodermis, migran intercelularmente hacia el extremo final de la raíz y penetran en la región meristemática apical, regresando posteriormente hacia la zona de diferenciación del cilindro vascular, donde se vuelve sedentario y establece un punto de alimentación permanente, induciendo la formación de células gigantes (Karssen y Moens 2006).

Este punto de alimentación se forma en respuesta a las secreciones que el nematodo inyecta a las células del hospedero, las cuales inducen varias divisiones nucleares sin citoquinesis, dando lugar a células grandes, multinucleadas, llamadas "células gigantes". Las células de la planta alrededor del lugar de alimentación se dividen e hinchan, lo cual se manifiesta externamente como nódulos.

El nematodo ingiere el citoplasma de las células gigantes derivadas de la planta a través de sus estiletes, ya que estas células gigantes funcionan como fosas metabólicas que canalizan los recursos de la planta hacia el nematodo parásito. Luego pasa por las dos fases juveniles restantes (J3 y J4) hasta convertirse en adulto. Tanto el estadio J2 como el adulto poseen estilete, mientras que los estadios J3 y J4 carecen de él (FAO 2003)

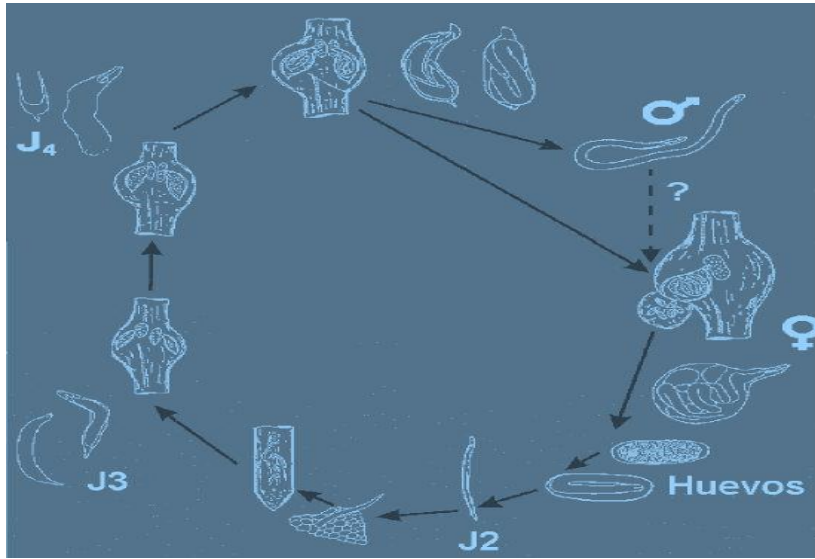


Figura 1 Ciclo biológico del género *Meloidogyne* (tomado de Piedra Buena 2005).

Los niveles poblacionales y duración del ciclo de vida de *Meloidogyne* spp. dependen de su adaptación al ambiente físico y biológico del suelo, su compatibilidad con la planta hospedero y el consiguiente acceso a fuentes de nutrientes. En el suelo es difícil separar la interacción de factores tales como textura, humedad, aireación y temperatura (Van Gundy 1985). La temperatura se considera el factor que mayor influencia tiene en la duración del ciclo de vida de *Meloidogyne* spp. Cuando ésta se mantiene a bajos niveles, el número de nematodos se incrementa lentamente, mientras que con el aumento de las temperaturas se reduce la duración del ciclo. El ciclo completo a 28–30 °C se cumple en unas 3 semanas, la reproducción es partenogenética, aunque se encuentran machos. Como resultado de la infección se forma una agalla o nódulo en la raíz frecuentemente empleado para diagnosticar la infección. La extensión de la agalla depende de la población de nematodos en particular y de la especie hospedera. El ciclo de vida dura aproximadamente 6 semanas, al finalizar el nematodo muere y la célula gigante degenera (FAO 2003).

2.5.2. Factores que afectan la actividad de los nematodos fitoparásitos

La supervivencia y la reproducción de los nematodos se ven afectadas principalmente por tres factores: la temperatura, la humedad y las propiedades físicas del suelo (Taylor y Sasser 1983). Altas temperaturas favorecen el desarrollo de los nematodos, mientras que las temperaturas bajas prolongan la duración de su ciclo biológico, disminuyendo por lo tanto la multiplicación (Lemus y Valenzuela 1993).

Sin embargo, se deben considerar los intervalos de temperaturas extremas que afectan la supervivencia y la reproducción. Para el caso de huevos y larvas de *Meloidogyne*, el intervalo entre 0 a 5°C determina el tiempo que sobreviven huevos y larvas, mientras que entre 35°C a 40°C las larvas son inefectivas (Taylor y Sasser 1983).

La humedad del suelo es importante tanto para la actividad y supervivencia de los nematodos como para la actividad de la planta. Los nematodos requieren de agua, aunque han desarrollado estrategias que les permiten sobrevivir a situaciones de anhidrobiosis. Esta capacidad de sobrevivir a los estados de estrés hídrico aumenta cuando la humedad declina lentamente o la desecación es lenta (Magunacelaya, 1999).

La textura del suelo es importante ya que las larvas tienen que moverse a través de los poros del suelo; el movimiento es imposible si los espacios porosos son tan pequeños que les impidan a los nematodos deslizarse a través de ellos. Se ha demostrado que el nematodo de la raíz *Meloidogyne* spp es más severo en suelos arenosos que en suelos arcillosos (Taylor y Sasser 1983).

Respecto a la materia orgánica, algunos autores aseguran que la descomposición de la misma tiene una acción nematicida; otros afirman que el beneficio se debe a una acción indirecta, ya que permite una nutrición más adecuada de la planta que compensa el porcentaje de raíces dañadas (Magunacelaya, 1999).

2.5.2.1. Factores que afectan el desarrollo y reproducción de los nematodos

Jiménez (1991) dice que las poblaciones de nematodos tienden a aumentar y a disminuir a través del tiempo y son afectados tanto en número como en comportamiento por una serie de factores. Entre los factores que afectan las poblaciones de nematodos están: las condiciones de clima y de suelo, la fisiología de la planta, la presencia de otros organismos y las variaciones patogénicas del nematodo.

2.5.2.2. Las condiciones de Suelo

Según Jiménez (1991) los principales factores del suelo que afectan a los nematodos fitoparásitos son: humedad, temperatura, tipo de suelo y fertilidad del suelo.

2.5.2.3. Humedad en el suelo

Cuando el contenido de agua en el suelo se limita a una película envolvente de las partículas de éste, es cuando se producen las mejores condiciones de humedad para la vida de los nematodos.

La sequía excesiva puede frenar o incluso matar al nematodo. Igual ocurre en el encharcamiento prolongado, que por falta de oxígeno en el suelo se ve afectado este organismo. Probablemente el contenido de humedad óptimo de éste se encuentre entre el 40 y 80 por ciento de la capacidad de retención del suelo (Aragón 1991).

2.5.2.4. Temperatura

La temperatura en el suelo tiene un importante impacto sobre los nematodos, afectando las actividades como la puesta, reproducción, movimiento, desarrollo y supervivencia.

Casi todos los nematodos parásitos de las plantas se tornan inactivos en una gama de temperaturas bajas entre 5 y 15 °C, la amplitud óptima es de 15-30 °C y se vuelven inactivos a temperaturas de 30-40 °C. La temperatura fuera de estos límites puede ser fatal (Jiménez 1991).

Sin embargo en un estudio de fluctuación poblacional de *Radopholus similis* realizado por Jiménez (1991) encontró que la temperatura del suelo a 30 cm de profundidad no juega un papel importante en las variaciones poblacionales.

2.5.2.5. Tipo de Suelo

Aragón (1991) dice que la actividad de los nematodos está relacionada con las características del suelo las cuales son: la granulometría, aireación, textura y características químicas, no obstante, al existir gran variación entre estos factores es imposible generalizar por lo cual no se puede establecer un tipo de suelo que sea ideal para todos los nematodos.

Algunos suelos livianos son generalmente más favorables para el desarrollo de estos organismos, esto es debido probablemente a que los suelos más livianos tienen una mejor aireación al tener partículas más grandes.

En investigaciones realizadas por Reynolds y Sleeth (1955) encontraron que las poblaciones de *Meloidogyne javanica* eran extremadamente bajas en suelos de textura fina o arcillosas y más elevada en suelos de textura gruesa.

La velocidad de movimiento del nematodo dentro del suelo está relacionada con el diámetro de los poros, el tamaño de las partículas y el diámetro del nematodo. Los nematodos pueden moverse más libremente en suelos de partículas gruesas o arenosas (National Academy of Science 1978).

2.5.2.6. Fertilidad del suelo

El contenido de materia orgánica, la salinidad y el pH entre otros componentes del suelo pueden influir en las actividades de los nematodos, pues los diferentes factores edáficos están interrelacionados. Wallace *et al* (1993), utilizando un modelo estadístico llamado GLIM (Generalised Linear Interactive Modelling), encontró que algunos factores del suelo tuvieron una influencia más fuerte que otros. Las densidades de *Pratylenchus penetrans* fueron mayores cuando hubo un alto contenido de limo, pero fueron bajas donde las

concentraciones de calcio excedieron los 20 cmol/kg, mientras que la capacidad efectiva de intercambio catiónico influyó en las poblaciones de *Tylenchus mauis* y *Criconomella* sp. En otro estudio similar se detectó altas densidades de *Heterodera glycines* conforme el pH y el Mg aumentaban (Congreso Nacional Agronómico 1996).

Además, se señala que la aplicación de fertilizantes, especialmente en suelos secos crea altas presiones osmóticas que pueden alterar el comportamiento de *Meloidogyne* sp. (Congreso Nacional Agronómico 1996).

2.5.2.7. Las condiciones de clima

Tanto la lluvia como la temperatura están vinculadas tanto en el crecimiento y desarrollo de nematodos como el de las plantas. A estos dos factores mencionados se vinculan con las fluctuaciones estacionales en las poblaciones de nematodos (National Academy of Science 1978).

Fernández y Ortega (1982) informan de una correlación positiva del 1 % ($r = 0.63$) entre el movimiento poblacional de *R similis* y la precipitación, también *Meloidogyne* manifestó tendencia a responder a la lluvia .

Hutton (1978) encontró en Jamaica que en plátano solo los géneros *Rotylenchulus reniformes* y *Helicotylenchus* sp. respondieron de una manera significativa a la lluvia. En suelos retenedores de agua (arcillosos) las poblaciones de estos nematodos aumentaron durante las primeras semanas de lluvia, pero conforme aumentaron el número de días y la cantidad de lluvias las poblaciones bajaron, no así en suelos de textura limo arcillosa con buen desagüe, en donde se obtuvo una correlación negativa.

Jiménez (1972) señala que las fluctuaciones poblacionales de los nematodos no pueden atribuirse a las lluvias como factor directo, sino más bien a los efectos que de su influencia se derive como puede ser la reducción de oxígeno disponible cuando el suelo se encuentra saturado o la incorporación al suelo de cantidades óptimas de humedad que benefician la reproducción de los nematodos y su movilización libre.

2.6. Control de nematodos fitoparásitos

El manejo y control de los nematodos se ha fundamentado, básicamente en el control químico, utilizando nematicidas. En los sistemas intensivos de producción de café, los nematicidas aún se utilizan ampliamente, pero en muy raros casos de manera racional (Noble y Sams 1999)

Los primeros químicos utilizados en el control de nematodos fueron fumigantes del suelo. La fumigación causa una disminución de los nematodos presentes en el suelo, pero en los siguientes años la tasa de reinfestación aumentan lentamente alcanzando densidades poblacionales semejantes o mayores a las encontradas en suelos no fumigados (Katan 1981).

2.6.1. Alternativas agroecológicas para el control Nematodos Fitoparásitos

El impacto negativo de la mayoría de los agroquímicos sobre aspectos sociales, económicos y ecológicos han propiciado el auge, en muchos países y círculos de productores, investigadores, extensionistas y académicos, de la búsqueda de alternativas de manejo de nematodos dirigidas a su sustitución por métodos más amigables con el equilibrio del agroecosistema (Gómez Lucila 2007). A continuación, describimos algunas de estas alternativas de manejo.

2.6.1.1. Control físico.

Consiste en la utilización de agentes físicos como la temperatura, la humedad o la radiación solar, de manera que resulten letales para los nematodos. El fundamento de estos métodos es que los nematodos sólo pueden desarrollarse y sobrevivir dentro de ciertos límites de intensidad de los factores físicos ambientales, y que más allá de estos límites mínimos y máximos, las condiciones resultan letales para ellos (Noling 2002).

Dentro de estos métodos destacan el uso de vapor, la solarización y la inundación.

2.6.1.2. La vaporización

La vaporización es la introducción de vapor de agua dentro del suelo, bajo cubiertas plásticas. La temperatura del suelo y la duración del tratamiento térmico determina si la eliminación es total (esterilización: pocos minutos entre 90-100 °C), o si ocurre sólo parcialmente (pasteurización: mezcla de vapor y aire entre 70-80° C). Es una tecnología muy costosa, por lo que es usualmente aplicada a pequeñas áreas, como por ejemplo invernaderos (Rodríguez-Kabana 1997).

2.6.1.3. La solarización

Consiste en cubrir el suelo húmedo con plástico transparente y dejarlo expuesto al sol por varias semanas. La temperatura del suelo se eleva a niveles entre 40-50 °C, las cuales son letales para los nematodos fitoparásitos (Lamberte 1997). Es una forma de pasteurización que no esteriliza el suelo y ha demostrado buenos resultados para muchos patógenos edáficos. Su modo de acción se relaciona tanto con el efecto directo que tiene el aumento de la temperatura sobre los patógenos como con el estímulo que ejerce sobre microorganismos benéficos (MBTOC 1995).

Esta técnica ha mostrado resultados variables sobre los nematodos formadores de nódulos, ya que su efectividad depende de las condiciones ambientales durante el período en que se realiza. La solarización es efectiva cuando hay condiciones ambientales favorables, y su eficacia aumenta cuando se la integra con otras estrategias de manejo de patógenos. Las mejores condiciones se dan en zonas de clima seco, con baja nubosidad y alta intensidad solar, como son los países de la cuenca del Mediterráneo: Israel, Grecia, Italia, España, Marruecos. (MBTOC 1995).

Heald (1987) cuestiona la efectividad de la solarización para nematodos endoparásitos (*Meloidogyne* spp.), aunque sí la considera efectiva para algunos nematodos ectoparásitos y endoparásitos migratorios como *Ditylenchus* spp. y *Pratylenchus* spp.

Por otra parte, la aplicación de la solarización en forma como única medida de manejo tampoco parece ser efectiva para algunas plantas adventicias como *Cyperus* spp., y para patógenos fúngicos que se ubican en capas profundas del suelo como *Armillaria* spp. (MBTOC 1995).

En cuanto a la práctica de inundación, se basa en que un alto contenido de agua limita las disponibilidades de oxígeno y reduce la actividad de los nematodos (Van Gundy 1985). En los campos inundados la materia orgánica sufre una descomposición anaerobia, desarrollándose sustancias letales, tales como el ácido butírico, propiónico y el sulfuro de hidrógeno, que actúan como verdaderos nematicidas. Se ha comprobado que las inundaciones disminuyen la densidad de población de *Meloidogyne* spp. en suelos encharcados por períodos prolongados, siendo una técnica usual en regiones tropicales donde se cultiva arroz (Netscher y Sikora 1990). Su combinación con la aplicación de compost ha demostrado ser efectiva en el control de poblaciones de *M. arenaria* y es uno de los métodos más usados en áreas donde se cultivan berenjenas, tomates, fresas y pepinos en Japón (MBTOC 1995).

2.6.1.4. Control cultural

La mayoría de las prácticas o labores de cultivo tienen un impacto directo o indirecto sobre la incidencia y severidad de las enfermedades ocasionadas por organismos del suelo (MBTOC 1995). Entre las principales prácticas culturales para el manejo de nematodos fitoparásitos se encuentran el barbecho, la rotación de cultivos, el uso de cultivos trampa, los cultivos de cobertura, la aplicación de enmiendas orgánicas, la biodesinfección y el uso de cultivares y portainjertos resistentes (Puertas 2007).

2.6.1.5. El barbecho

El barbecho consiste en dejar el suelo sin cultivar por un cierto período, principalmente durante los meses de primavera y verano, removiéndolo en forma periódica (Nolin 2002). Frecuentemente no se practica debido a las labores que son necesarias para mantener el suelo libre de especies silvestres que pueden ser hospederos alternativos para los

parásitos y plagas de los cultivos (Bridge 1996). Tiene como inconveniente que los cultivos posteriores al barbecho pueden reducir su productividad, debido a la disminución de organismos beneficiosos. Además, la erosión del suelo puede representar un problema serio bajo ciertas condiciones (Noling 2002).

2.6.1.6. Rotación de cultivo

La rotación de cultivos consiste en la plantación de cultivos sucesivos no hospederos, pobres hospederos o cultivos “trampa”, para las plagas que afectan a los cultivos. La efectividad de las rotaciones depende, entre otras cosas, del organismo que se pretende controlar. Se ha alcanzado en el control de plantas adventicias y nematodos que atacan las raíces de las plantas, por lo cual esta práctica se suele incluir en programas de manejo alternativo de plantas adventicias, en la regulación de nematodos y, en menor magnitud, para el manejo de insectos y patógenos (Pérez, 2001).

2.6.1.7. Cultivos trampa

El uso de cultivos “trampa” una práctica muy útil para reducir las poblaciones de nematodos endoparásitos sedentarios tales como *Meloidogyne* spp. Consiste en utilizar un hospedero susceptible, dejarlo crecer por un período de tiempo y eliminarlo antes de la formación de las masas de huevos (es decir, antes de que complete su ciclo de vida). Es importante eliminar y destruir todas las raíces antes de la siembra del siguiente cultivo (Cuadra *et al.* 2000).

2.6.1.8. Cultivares con genes de resistencia

El uso de cultivares con genes de resistencia es una de las alternativas que se han venido considerando como que pueden ser muy eficaces al uso de agroquímicos (especialmente el BM), presentando como ventajas que es una práctica efectiva, ambientalmente segura y no costosa. Es un método ideal para mantener bajas las poblaciones de nematodos y reducir los períodos de rotación de cultivos, además de no necesitar técnicas especiales para su aplicación. En la mayoría de los casos estos

nuevos cultivares, necesarios para resolver problemas específicos de plagas, pueden ser obtenidos con técnicas de mejora tradicional, y han probado ser comercialmente exitosos.

Para los nematodos del género *Meloidogyne* existen actualmente cultivares resistentes de tomate y pimiento disponibles a nivel comercial (Piedra Buena 2005).

2.6.1.9. Control biológico

En los últimos años se ha avanzado en la aplicación de organismos del suelo parásitos y antagonistas de nematodos para el control biológico de los nematodos fitoparásitos, a pesar de que se sabe muy poco de los factores que afectan a estos organismos una vez introducidos en el suelo. Fernández *et al.* (2000) analizan las alternativas al control de nematodos en Cuba, señalando la existencia de varios agentes de biocontrol, tanto hongos como bacterias, con interés para el desarrollo de estrategias no químicas de control.

2.7. Biofumigación

La biofumigación del suelo es una técnica que permite utilizar la materia orgánica (residuos agrícolas y guanos), así como los productos de su descomposición, en el control de los patógenos presentes en el suelo. Se ha encontrado que, por lo general, cualquier materia orgánica puede actuar como biofumigante, dependiendo su eficacia principalmente de la dosis y del método de aplicación. En España existen buenos ejemplos de su aplicación en cultivos de fresón en Andalucía y Valencia, pimiento en Murcia y Castilla-La Mancha, cucurbitáceas en Valencia, Castilla-La Mancha y Madrid, tomate en Valencia y Canarias, *brassicas* en Valencia, platanera en Canarias, cítricos y frutales en Valencia, viñedos en Castilla-La Mancha y flor cortada en Valencia (Bello *et al.* 1998, García *et al.* 1999, Bello *et al.* 2000).

Esta técnica incluye el uso de material vegetal como las crucíferas, cuya descomposición libera sustancias tóxicas volátiles como el Allilisometiltiocianato que ejerce acción de control sobre hongos y nematodos. Adicionalmente, la incorporación de materia orgánica mejora la estructura física y propiedades químicas del suelo. Se puede utilizar urea en dosis controladas, o estiércol de pollo o pavo, para balancear la relación carbono/nitrógeno en la descomposición de la materia orgánica, y aprovechar el amonio que libera, tanto la urea como el estiércol en el suelo, como complemento al control de patógenos (Bello *et al.* 1998)

La efectividad de la biofumigación, se mejora con el uso de cubiertas plásticas, o en combinación con la solarización. La solarización es eficaz cuando se combina con biofumigación, durante dos meses, a una temperatura ambiental superior a 40°C (Lacasa *et al.* 1999). Las mayores desventajas de esta alternativa son la oportunidad de disponer de material vegetal y la heterogeneidad de su eficiencia, en suelos con baja actividad biológica que facilite la descomposición del material.

Es de un costo relativamente bajo y de fácil aplicación, lo que puede ser de gran interés en cultivos de bajo retorno económico, particularmente en producciones hortícola de pequeños agricultores. Además, puede resultar una técnica interesante para aquellos productores que se dedican a la producción orgánica. Es recomendable que el agricultor tenga incorporada la producción de especies crucíferas al aire libre, como repollo y brócoli en su sistema de producción, las cuales le proporcionarán el material vegetal necesario para la realización de la biofumigación en la próxima temporada.

2.7.1. La biofumigación como alternativa de control de Nematodos Fitoparásitos

La biofumigación se basa en la utilización de las sustancias volátiles resultantes de la descomposición de las enmiendas orgánicas y residuos agroindustriales como fumigantes

para el control de los organismos patógenos de vegetales. Inicialmente, el concepto de biofumigación sólo incluía la emisión de isotiocianatos durante los procesos de descomposición de las brasicas y su efecto fungicida e insecticida. Este concepto fue ampliado posteriormente, incluyendo a todas las materias orgánicas y residuos agroindustriales (Bello *et al.* 2002), por su parte, definieron a la biofumigación como “la supresión de plagas y patógenos del suelo por rotaciones con brasicas o abonos verdes”.

Recientemente, el término que se considera más correcto es biodesinfección, pues de esta manera comprende no sólo el efecto producido por las sustancias volátiles que se liberan durante la descomposición de la materia orgánica en el suelo, sino también a las sustancias solubles que se pueden producir y pasar a la solución del suelo. Además, el nuevo término contribuye a diferenciar entre la fumigación con productos químicos y el tratamiento de desinfección mediante el aporte de materia orgánica fresca (Bello, *et al.* 2007).

Es necesario establecer las diferencias entre la biofumigación y el uso de enmiendas orgánicas, consistentes en las características especiales que deben tener los materiales utilizados como biodesinfectantes, la dosis y el método de aplicación. En primer lugar, para que un material orgánico tenga función biodesinfectante debe estar en vías de descomposición, lo cual no sucede con la materia orgánica que se suele añadir normalmente al suelo como abono (Bello *et al.* 2000), que es materia orgánica estabilizada (composts o estiércoles “maduros”). Además, el método de aplicación debe tener en cuenta la necesidad de retener los gases que puedan producir ser liberados durante la biodescomposición de la materia orgánica. Esto debe lograrse por un período mínimo de dos semanas, ya que el efecto de los gases es en la mayoría de los casos bioestático, lo que hace necesario prolongar en el tiempo su acción sobre los patógenos (García Álvarez *et al.* 2004).

Se ha encontrado que cualquier tipo de materia orgánica puede actuar como biodesinfectante, aunque su eficacia depende tanto de sus características como del tipo de suelo, la dosis y el método de aplicación. El efecto nematocida de la materia orgánica

se produce a través de diversos mecanismos, aunque su modo de acción aún no ha sido dilucidado completamente. Los estudios realizados indican que éste puede provenir de la liberación de compuestos tóxicos para los nematodos, o ser causado por el papel que la materia orgánica juega en el suelo, como sustrato que favorece el desarrollo de la microfauna y microflora, o al introducir organismos antagonistas, tales como de nematodos depredadores y otros microorganismos beneficiosos (Díaz Viruliche 2000).

En general, los materiales con alto contenido de nitrógeno generan amonio, que posee efecto nematicida (urea y guanidinas), aunque en el caso de la quitina y los materiales quitinosos su efecto proviene no sólo de la generación de amonio, sino del estímulo que ejercen sobre la actividad de la microflora quitinolítica. Este efecto presenta gran interés, puesto que los microorganismos quitinolíticos son efectivos para destruir huevos de nematodos y micelio de algunos hongos fitopatógenos. En cuanto a los organismos antagonistas, su modo de acción puede ser directo, como en el caso de los depredadores (algunos microartrópodos) y los parásitos (ciertos hongos y bacterias), o indirecto, a través de la producción de enzimas o metabolitos tóxicos capaces de dañar el nematodo y/o sus huevos (MBTOC 1995).

Algunos trabajos encuentran que el uso de biofumigación sola es insuficiente para evitar daños en cultivos sensibles como el pepino, siendo necesario complementar esta práctica con, por ejemplo, la solarización. La combinación de la biofumigación con la solarización tiene un efecto sinérgico. Por una parte, al elevarse la temperatura del suelo aumenta la sensibilidad de los patógenos a los compuestos volátiles que se desprenden durante la descomposición de la materia orgánica, y por otra, el aporte de materia orgánica incrementa la temperatura de la solarización entre 2-3°C, así como la profundidad del suelo a la cual llega el tratamiento (Bello *et al.* 2001).

El aumento en temperatura puede deberse a la mayor humedad y conductividad térmica en los suelos con materia orgánica y/o a la actividad microbiana exotérmica. Además, el calor de la solarización provoca una destrucción directa de los propágulos del patógenos, y los cambios ocasionados en la microbiota edáfica propician el incremento del

crecimiento y la producción en las plantas (Medina 2002).

En particular, la biofumigación, solarización combinados con estiércol fresco de oveja y gallinaza ha demostrado ser un método eficaz para regular las poblaciones de nematodos y patógenos fúngicos en cultivos de pimiento en invernadero de la región del Campo de Cartagena (Bello *et al.* 1997).

En cuanto al uso de la gallinaza, Díaz Viruliche (2000). señalaron el efecto reductor de este material para el control de *M. incognita*. Esto coincide con el trabajo de Wahundeniya (1991), que observó que las poblaciones de *Meloidogyne* spp. en tomate se reducían con dosis de gallinaza de 10 t ha⁻¹. Kaplan *et al.* (1992), señalaron buenos resultados aplicando gallinaza para el control de *Meloidogyne* spp., la utilizan para el control de *M. incognita*.

Con respecto a la utilización de estiércoles, Díaz Viruliche (2000). compararon el efecto reductor del estiércol de vacuno, la gallinaza, el nitrato amónico, el sulfato potásico y el superfosfato para el control de *M. incognita*, encontrando que todos, estos materiales reducen los problemas del nematodo, a excepción del sulfato potásico.

En cuanto al uso de restos de cultivos y residuos agroindustriales como material desinfectante, Zambolim *et al.* (1996) estudiaron el efecto de la pulpa de café, los residuos urbanos, las cortezas de eucalipto y el vermicompost sobre *M. javanica* en tomate, encontrando que la pulpa de café reduce significativamente sus poblaciones. Atribuyeron este efecto a la liberación de amonio durante el proceso de descomposición y al efecto nematicida del furfural. Díaz viruliche (2000) probó el efecto de la pulpa de café sola y con gallinaza para el control de *M. incognita*, encontrando que ambos tratamientos obtienen un alto porcentaje de control sobre este nematodo (100% de mortalidad en el caso de la pulpa de café sola y 99% cuando se combinó con la gallinaza).

Ahmad y Alam (1997) estudiaron la eficacia de la fracción soluble del arroz en el control de *M. incognita* y *R. reniformis*, encontraron que el compost de jacinto de agua, paja de

mostaza, cascarilla de arroz y espárragos redujeron las poblaciones de *M. incognita* en la India.

Díaz Viruliche (2000) estudió el efecto biodesinfectante de la cascarilla de arroz sola y en combinación con gallinaza, obteniendo 100% de mortalidad de *M. incognita* al combinar la cascarilla de arroz con gallinaza y 98% de mortalidad cuando se aplicó sólo la cascarilla de arroz.

2.7.2. Modo de acción de la biofumigación

La biofumigación es una alternativa basada en principios similares a los que ocurren con el bromuro de metilo, con la diferencia de que en este caso los gases liberados provienen de la descomposición de materia orgánica (Lacasa *et al.* 1999). La alta temperatura que se origina del proceso de descomposición, potencia su efecto sobre los microorganismos del suelo (Bello *et al.* 1998)

Cuando se aplica materia orgánica al suelo, se produce una secuencia de cambios microbiológicos. Al principio, se produce una proliferación de microorganismos que se nutren y obtienen energía de la materia orgánica, iniciando la descomposición de ésta. Durante la descomposición, se estimula el desarrollo de otros organismos, tanto benéficos como perjudiciales (hongos nematófagos, nematodos predadores, lombrices, hongos, protozoos, algas y otros organismos), los cuales originan una gran cantidad de productos químicos que participan en el control de los patógenos del suelo. Amonio, nitratos, ácido sulfhídrico, otras sustancias volátiles y ácidos orgánicos, derivados de la descomposición de la materia orgánica, producen un efecto nematicida directo sobre la incubación de los huevos o sobre la movilidad de los estados juveniles, (Lacasa *et al.* 1999)

La adición de urea, junto con la materia orgánica, además de aumentar los niveles de nitrógeno del sustrato orgánico, incrementa la cantidad de amonio, por lo tanto, existe un efecto nematicida. Sin embargo, se debe tener cuidado en la cantidad de urea que se agregue, puesto que un exceso puede desbalancear la relación

nitrógeno/carbono. (Bello *et al.* 2000)

Dentro de los medio de control disponibles el más utilizado hasta la fecha es el control químico, que sin restarle méritos a su acción de control inmediato, es costoso altamente peligroso, si no se toman las medidas de seguridad apropiadas, no debemos ignorar que la constante utilización de productos químicos complica la problemática de las plagas, haciendo que simples visitantes de las fincas de café se conviertan en enemigos de la cosechas, así como también estimulan el desarrollo de la resistencia de las plagas ya existentes e inducen a que una especie sea remplazada por otra, tal vez más agresiva (Cárdenas 1993).

Los nematicidas deterioran la salud humana y animal (Davide 1996), lo cual ha despertado, tanto en las regiones tropicales como subtropicales, un creciente interés por evitar sistemas de manejo basados en el control químico (Luc *et al.* 1990). En este sentido, existe una amplia gama de opciones basadas en un manejo de bajos insumos, orientada hacia la sostenibilidad del agroecosistemas.

La filosofía actual en torno al control de nematodos se basa en los sistemas de manejo integrado, cuyo objetivo supremo consiste en la dependencia mínima de compuesto químico mediante la utilización combinada de otros métodos de control. En este enfoque se considera el uso de cultivares resistentes, enmiendas orgánicas, control biológico, microclima como regulador de plagas y enfermedades, coberturas vivas, etc (Luc *et al.* 1990).

2.7.3. Acción de la biofumigación y el control biológico de nematodos Fitoparásitos

González y Fernández (2003), sugieren que el método biológico con el incremento de organismos antagonistas como hongos micorríticos, nematófagos y endofíticos nativos o introducidos, bacterias u otros depredadores naturales, en combinación con fertilizantes orgánicos, representan una alternativa muy apreciable para la obtención de cultivos en armonía con el ambiente.

Bajo condiciones naturales, los nematodos fitoparásitos son atacados por una gran variedad de organismos del suelo. Estos parásitos y predadores incluyen hongos, Bacterias, virus, protozoos y otros nematodos, sin embargo en muy pocos casos han sido usados efectivamente en control biológico las causas de las actividades de estos organismos y sus efectos sobre los nematodos son poco comprendidas (Herrera *et al.* 2002).

López (1995); Estrada y Romero (1995); Ayala *et al.* (1996); Pérez (1996); Trujillo (1997); Vázquez y Castellanos (1997); Rovesti (1998), utilizaron hongos entomopatógenos (*Paecilomyces lilacinus*) en el control de *Meloidogyne spp*, *Rotylenchulus réniformes*, *Tylenchulus semipenetrans*, *Radopholus similis*. Obtuvieron un 75% del control.

La severidad del daño causado por los nematodos a las plantas puede ser reducida si se crean condiciones favorables para el desarrollo y reproducción de enemigos naturales que se encuentran en el suelo. Los agentes de control.

biológico inhiben o matan a los patógenos en compost maduros y por tanto, inducen la eliminación de enfermedades. Los agentes de control biológico presentes en los compost pueden inducir la resistencia sistémica adquirida contra los patógenos foliares de las plantas (Paredes, 1999).

2.7.4. La Biofumigación con enmiendas orgánicas

El aprovechamiento de los residuos orgánicos cobra cada día mayor importancia como medio para mejorar la producción, reducir la dependencia de insumo externos de alto costo económico y ambiental, mejorar y hacer más sostenible la productividad del suelo, utilizar los recursos locales disponibles para el productor, responder a la creciente demanda internacional de productos agrícolas libres de agroquímicos y de hacer más eficiente el ciclaje de nutrientes en la biosfera (Barrientos 1991).

La importancia de la materia orgánicas como la gallinaza y la pulpa de café aumenta la disponibilidad de los nutrientes y mejoran la capacidad de intercambio cationico del

suelo, de manera que la planta mejora su crecimiento e incrementa la tolerancia a los nematodos, debido a que ésta desarrolla cantidad de raíces (Valencia 1990b).

Otro aspecto importante, es que a través de la adición de materia orgánica se estimula la actividad de microorganismos y se incrementa la presencia de microorganismos benéficos y que son antagónicos a los nematodos, durante el proceso de la descomposición de la materia orgánica se liberan compuestos volátiles que afectan el crecimiento de nematodos (Vásquez y Castellanos, 1997).

Stirling (1991), en una revisión sobre el control biológico de los nematodos parásitos de plantas, señala la importancia de la materia orgánica no solo por mejorar la fertilidad y estructura del suelo, sino también por su efecto tóxico sobre los nematodos fitoparásitos. Liu *et al.* (1995), señalaron que todas las enmiendas orgánicas tienen un amplio espectro de actividad sobre la microflora nativa de la rizósfera y del tejido radical.

La repuesta del café a los abonos orgánicos no es inmediata, es decir, el café requiere cierto tiempo para aprovechar los abonos en su nutrición, dependiendo de la humedad disponible en el suelo, presencia de lluvia o aplicación del abono orgánico. La gran diferencia entre los fertilizantes químicos/inorgánicos y los abonos orgánicos es que los primeros son aprovechados por la planta en menor tiempo, mientras que los últimos actúan en forma directa y lenta pero mejorando la cantidad y actividad de los microorganismos en el suelo (Zelaya y Sotelo 2000).

2.7.4.1. Pulpa de café

La adición de materia orgánica al suelo como: compost, desechos vegetales, desechos animales, pulpa de café entre otros, han demostrado ser una alternativa efectiva en muchos países teniendo como resultado un aumento en la fertilidad del suelo, incrementando los rendimientos, mejorando la estructura del suelo y provocando la disminución de organismos patógenos presentes en el suelo (Bello *et al.* 2000). La pulpa de café se ha utilizado como fertilizante orgánico aplicado directamente sobre los cultivos. En los beneficios generalmente la pulpa se acumula en las áreas destinadas para su descomposición, donde los nutrientes son disueltos y se pierden. De la misma

manera en la descomposición anaeróbica los ácidos del material crea malos olores y atrae insectos no deseados (Barrientos 1991).

Entre los beneficios que brinda la aplicación de pulpa de café: mejora la estructura del suelo, haciéndola más porosa y por lo tanto ayuda en la aireación de las raíces, produce una mayor retención de humedad, estimula el desarrollo de raíces absorbentes, incrementa la actividad microbiana, aumenta la fertilidad potencial del suelo, reduce la utilización de fertilizantes químicos y nematicidas (Alfaro 2001).

Para cafetales en producción (Salazar 1983), demostró que la aplicación de 12 kg de pulpa de café descompuesta por árbol cada seis meses, reemplaza la fertilización química del cafetal al sol, es decir, la pulpa producida por un cafetal sirve para abonar la quinta parte de ese cafetal. Cadena (1982) encontró que en almácigos de café la mezcla de suelo: pulpa de café descompuesta en proporción de volumen 3:1 hace innecesaria la utilización de fungicidas para el control de la mancha de hierro.

2.7.4.2. Gallinaza

Generalmente, los residuos orgánicos más efectivos para el control de nematodos son aquellos con alto contenido de nitrógeno en comparación a los que contienen compuestos nematóxicos (Gonzales y Canto 1993), La gallinaza tiene un notable potencial para el control de nematodos agalladores, con ella el crecimiento y el rendimiento de frutos de tomate se incrementa y la severidad del ataque de nematodos disminuye (Chindo y Khan 1990).

Su principal aporte consiste en mejorar las características de la fertilidad del suelo con algunos nutrientes, principalmente el nitrógeno y otros elementos como el Fósforo, Calcio, Manganeso, Zinc, Cobre y Boro. Este residuo ayuda a mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo (Restrepo 1998).

2.7.4.3. Cascarilla de Arroz

La cascarilla de arroz es un subproducto de la industria molinera, que resulta abundantemente en las zonas arroceras de muchos países y que ofrece buenas propiedades para ser usado, mejora las características físicas del suelo y de los abonos orgánicos, facilitando la aireación, absorción de humedad y el filtraje de nutrientes. Beneficia el incremento de la actividad macro y microbiológica de la tierra al mismo tiempo que estimula el desarrollo uniforme y abundante del sistema radical de las plantas. Es una fuente rica en sílice, lo que favorece a los vegetales para darle una mayor resistencia contra insectos y microorganismos. A largo plazo, se convierte en una constante fuente de humus. En la forma de cascarilla carbonizada, aporta principalmente fósforo y potasio, al mismo tiempo que ayuda a corregir la acidez de los suelos (Bello *et al.* 2000).

Ahmad y Alam (1997) estudiaron la eficacia de la fracción soluble del arroz en el control de Nematodo *Meloidogyne spp.*, encontraron que el compost de jacinto de agua, paja de mostaza, cascarilla de arroz y espárragos redujeron las poblaciones de *Meloidogyne spp.*, en la India. Restrepo (1998), menciona que los restos del cultivo de arroz, maíz, olivo y *Ricinus communis*, como materiales efectivos para reducir los problemas debido a nematodos fitoparásitos en Egipto. Díaz (2000) estudió el efecto biodesinfectante de la cascarilla de arroz sola y en combinación con gallinaza, obteniendo 100% de mortalidad de nematodos *Meloidogyne incognita* al combinar la cascarilla de arroz con gallinaza y 98% de mortalidad cuando se aplicó sólo la cascarilla de arroz.

2.7.5. Biofumigación y uso de la materia orgánica

La incorporación de materia orgánica al suelo para incrementar la fertilidad y manejar los patógenos edáficos es una práctica que se ha venido realizando desde el inicio de la agricultura, con efectos beneficiosos tanto sobre los parámetros físicos como químicos y biológicos. La mejora de las propiedades físicas se refleja a través de una mayor estabilidad de los agregados, mayor absorción de la radiación solar (debido al color oscuro del humus), aumento de la porosidad, aireación y circulación de agua en suelos

arcillosos y disminución de la compactación, mejora de la infiltración y capacidad de retención de agua y disminución de la evaporación de agua desde el suelo.

En cuanto a los parámetros químicos, aumenta la capacidad de intercambio catiónico, aporta nutrientes y posee un efecto tampón que disminuye las variaciones de pH en el suelo. En cuanto al efecto sobre los parámetros biológicos, éste se traduce en un estímulo de la actividad biológica y el desarrollo vegetal. Además, la mejora en la aireación del suelo por el aporte de materia orgánica favorece la respiración radicular, la germinación de semillas, el desarrollo de órganos vegetales subterráneos y la actividad metabólica de los organismos edáficos. Este incremento de la actividad microbiana produce CO₂, que acidifica el suelo y favorece la solubilización de compuestos minerales de baja solubilidad (D'addabbo 1995; Labrador Moreno 2001).

El MBTOC (1995) ha presentado a la incorporación de enmiendas orgánicas, ya sea aguas residuales, composts, residuos agrícolas, forestales o agroindustriales, como una alternativa no química al uso del BM para el control de patógenos de suelo. Una amplia gama de materiales han sido probados para el manejo de nematodos fitoparásitos, hongos fitopatógenos y plantas adventicias. En el caso de suelos infestados con nematodos fitoparásitos, esta práctica ha mostrado ser un método de manejo satisfactorio para varios de ellos, con una eficacia que depende sobre todo de la composición química y las propiedades físicas del material, que determinan el tipo de microorganismos involucrados en su descomposición en el suelo y los productos que se obtendrán de la misma.

Se han realizado revisiones de los trabajos de utilización de diferentes materiales orgánicos para el control de nematodos. En los trabajos revisados en muchos casos los autores no diferencian si el modo de aplicación de la materia es como enmienda o como biodesinfectante, reportándose una gran variedad de materiales utilizados en los ensayos. Estos materiales incluyen abonos verdes, restos frescos de cultivos, partes de plantas ornamentales, plantas adventicias, abonos de granja (cerdo, pollo, gallina, vaca), camas de animales (serrín y paja), composts, residuos sólidos urbanos, tortas derivadas

de la extracción de aceites de semillas (de nim, mostaza, ricino, cacahuete, mahua, karanj) y otros residuos agroindustriales (cáscaras de arroz, cacao, etc., pieles de cítricos, restos de té y café, almidón, bagazo de caña de azúcar, melaza, residuos de industrias de la fruta y de mariscos, quitina, celulosa). Muchos de estos materiales han demostrado buen efecto nematicida, pero en dosis altas pueden producir fitotoxicidad (D'addabbo 1995).

Desde el punto de vista económico, D'addabbo, (1995) sugiere que la aplicación de enmiendas orgánicas sólo puede sustituir a los nematicidas en lugares en regiones de producción de materiales orgánicos donde estén disponibles sin coste o a coste muy bajo. En consecuencia, el autor concluye que los materiales orgánicos que se adapten mejor a los agrosistemas de cada región deberán ser ensayados en forma local, lo cual concuerda con el informe del MBTOC (1995). En general, es posible afirmar que la incorporación de materia orgánica para el control de nematodos fitoparásitos es una práctica especialmente indicada para los países en vías de desarrollo, donde estos materiales son baratos y se encuentran fácilmente disponibles (D'addabbo 1995).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización

El presente trabajo tomo en cuenta dos zonas de estudio de diferentes estratos de la comunidad de Alto Lima de la Provincia Caranavi para la aplicación de la biofumigación y recolección de poblaciones de nematodos *Meloidogyne* spp., los cuales se encontraban distribuidos en dos estratos diferentes una en la parte Alta y otra en la parte baja respectivamente (Figura 2).

La Sub-Central agraria Alto Lima está ubicada en la Provincia de Caranavi, departamento de La Paz, a una altitud de 1356 msnm en la Zona Alta y 1197 msnm en la Zona Baja, según insitu GPS Perez, con temperatura promedio y precipitación anual de 24°C y 2100 mm, respectivamente (SENAMHI 2015)

3.1.1. Fisiografía y vegetación de la Provincia Caranavi

Según el mapa cartográfico del (IGM,1996) citado por Huarcacho (2008), en la provincia Caranavi se identifican tres zonas fisiográficas claramente definidas, donde la zona No.2 corresponde a las zonas cafetaleras y a nuestra área de estudio, lugar donde se recolectaron las poblaciones de nematodos *Meloidogyne* spp. Las características fisiográficas del lugar de estudio son descritas a continuación:

3.1.1.1. Zona numero dos Serranías Altas Levemente Disectadas con Bosque Húmedo

Esta zona se encuentra en los cantones de Carrasco la Reserva, Rosario Entre Ríos, Noreste de Incahuara, Taipiplaya, Illimani, Sudeste de Calama , San Lorenzo, Alto Lima, Uyunense y la región central de Caranavi (IGM 1996, citado por Huarcacho 2008).

a) Geomorfología, esta zona cuenta con serranías altas y macizas, paralelas y escarpadas, levemente disectadas, muy susceptibles a la erosión. Altitudes desde los

600 a 2390 m.s.n.m. y pendientes entre 40 a 60 por ciento (IGM, 1996) citado por Huarcacho (2008).

b) Clima, la región presenta una precipitación de 1400 a 1600 mm, con temperaturas promedio de 20 a 22°C (IGM, 1996) citado por Huarcacho (2008).

c) Zona de Vida, corresponde a un Bosque muy húmedo subtropical (bmh-ST), Bosque húmedo subtropical (bh-ST) y Bosque pluvial subtropical (bp-ST), (IGM, 1996) citado por Huarcacho (2008).

d) Cobertura Vegetal, unidad formada por serranías poco disectadas, cubiertas por 80% de bosque denso húmedo, siempre verdes y 20% de bosque ralo y antrópico, cultivos con bosque secundario (IGM, 1996) citado por Huarcacho (2008). Son bosques de mediana altura de 15 a 25 metros con sotobosque denso esciofito, las especies que se caracterizan son *Mezilarus itauba* (Itauba), *Cedrella odorata* (Cedro rosado), *Cedrella fissilis* (Cedro colorado), *Cedrella sp.* (cedro de altura), *Cariniana sp.* (colomero), *Ficus sp.* (tulfo), *Claricia rasemosa* (mascajo), *Inga sp.* (siquili), *Nectandra sp.* (laurel), existen también palmeras y otras especies.

e) Suelos, son suelos superficiales a profundos; drenaje bueno a moderado; erosión hídrica tipo laminar y en surco leve a moderada; con pocos sectores con cárcavas. Las características físicas mas importantes son: profundidad efectiva entre 35 a 110 cm, textura franco y franco-arenoso, en los horizontes superiores son franco arcillosos, arcillosos y arcillosos arenoso, en algunos sectores son franco arenoso, arenosos franco y arenosos en los horizontes inferiores. Color: pardo rojizo a rojizo en los horizontes superiores, rojizo oscuro, pardo rojizo y rojizo en los horizontes inferiores (IGM, 1996) citado por Huarcacho (2008).

f) Propiedades químicas, presenta un pH entre 4.10 y 7.60; materia orgánica entre 0.70 y 5.50 por ciento.

3.2. Materiales

3.2.1. Material vegetal

El material vegetal utilizado en la presente investigación está constituido por la variedad criolla de café, la cual se está produciendo actualmente en la mayoría de las comunidades de la Provincia Caranavi.

Los materiales que se llegaron a utilizar tanto en el proceso de deshierbe, la aplicación de los tratamientos y como también en la recolección de poblaciones de nematodos fitoparásitos fueron los siguientes:

- Cuaderno de registro
- Cinta métrica
- Cámara fotográfica
- GPS (Sistema de Posicionamiento Global)
- Bolsas de yute y nilón
- Etiquetas de identificación
- Raíces infestadas con nódulos producidos por nematodos (25 gramos/muestra)
- Suelo infestadas por nematodos (100 gramos/muestra)
- Pala
- Machete
- Picota
- Palas de jardín
- Caja de plastofomo

3.2.2. Material de laboratorio

El material utilizado en la fase de laboratorio, determinación géneros y la cantidad de nematodos fitoparásitos dentro de 100 g de suelo y 25 g de raíz, fue el siguiente:

- Estereoscopio
- Microscopio compuesto con cámara fotográfica incorporada
- Centrifugadora
- Tubos de centrifugación
- Refrigerador
- Licuadora de tres velocidades
- Tamices de 100 y 400 mesh
- Balanza de precisión
- Hornilla
- Piceta
- Micropipeta
- Bisturí
- Pinzas
- Tijera
- Placas petri
- Vasos de precipitación
- Porta y cubreobjetos
- Marcador indeleble

3.2.3. Insumos de laboratorio

Los insumos más utilizados para la fijación y para la identificación fueron los siguientes:

- Formaldehído al 40%
- Glicerina
- Agua destilada
- Laca ó Cutex (esmalte), incoloro y de color negro
- Sacarosa
- Detergente

3.3. Metodología

3.3.1. Método de campo para diagnóstico de nematodos

La investigación fue realizada en la Sub-Central agraria Alto Lima Ubicada en la Provincia de Caranavi, departamento de La Paz, a una altitud de 1356 msnm en la Zona Alta y 1197 msnm en la Zona Baja, con temperatura promedio y precipitación anual de 24°C y 2100 mm, respectivamente entre los meses de diciembre 2015 a junio del 2016 épocas lluviosas.

3.3.1.1. Criterios de selección de las zonas de estudio para la recolección de poblaciones de Nematodos Fitoparásitos

Los criterios tomados en cuenta para la aplicación de la biofumigación sobre la población de nematodos en los cultivos de café fueron los siguientes:

- 1) Zona o comunidades con mayor producción de café.
- 2) Estudios anteriores realizados con nematodos.
- 3) Comunidades pertenecientes o agrupadas a Cooperativas cafetaleras.

- 4) Aceptación por parte de los productores para realizar el trabajo de muestreo.
- 5) Alta incidencia de población de nematodos fitoparásitos.

3.3.1.2. Características de la comunidad seleccionada de la Provincia Caranavi para la recolección de poblaciones de Nematodos Fitoparásitos

Para la recolección de Poblaciones de nematodos fitoparásitos y posterior aplicación de la biofumigación se realizó la delimitación del área de estudio, el cual comprendió dos zonas de estudio una Alta y Una Baja de la Provincia Caranavi: Colonia Alto Lima perteneciente al Cantón San Lorenzo a 24.8 Km de la población de Caranavi, (cuadro 1).

Cuadro 1. Características geográficas y generales de las Zonas seleccionadas de la comunidad Alto Lima Provincia Caranavi

Colonia Alto Lima	Coordenadas	Altitud m.s.n.m.	Dueño del terreno	Área de estudio m²
Zona 1 (Baja)	15° 48' 2,88" (LS) 67° 28' 30,06" (LW)	1197	Cristóbal Poma	800,00
Zona 2 (Alta)	15° 48' 14,1" (LS) 67° 27' 35,58" (LW)	1356	Eduardo Chávez	820,00
TOTAL				1620,00

LS = Latitud Sud; LW = Longitud Oeste; Datos GPS Garmin (Fuente: lectura insitu GPS, Pérez 2015)

3.3.2. Identificación de la incidencia del principal agente causal de Nematodos Fitoparásitos del café

La recolección de las poblaciones de nematodos del suelo y raíces de café (nódulos, necrosis y lesiones) para su identificación de los géneros presentes, se realizó a fines del mes de diciembre 2015 y enero del 2016 en plantaciones ya establecidas, donde su identificación y cuantificación se realizó en base a metodología de laboratorio.

3.3.2.1 Recolección de muestras en campo

Se realizaron dos muestreos en cada zona inicialmente en los meses de diciembre 2015 a enero del 2016 para conocer las poblaciones iniciales de nematodos en las parcelas y agente causal de mayor incidencia. El muestreo se realizó en plantaciones de café constituidas por variedad criolla *Coffea arabica*, donde todas las plantas en su totalidad presentaban nodulaciones por el ataque de nematodos. La edad de los cafetales en cada una de las Zonas muestreadas está comprendida entre los 30 a 40 años.

Para la extracción de los suelos en los cafetales, las muestras fueron recolectadas de manera sistemática, según la ubicación de las plantaciones, se emplearon cinco plantas seleccionadas en zig-zag dentro de cada lote para formar una muestra compuesta de cada uno de ellos, la extracción se realizó a una distancia de 20 cm de la base del tallo y entre 15 a 20 cm de profundidad. En cada punto se obtuvo una muestra de suelo y se cortó la parte radical, ambas se colocaron en bolsas plásticas etiquetadas para su traslado al laboratorio.

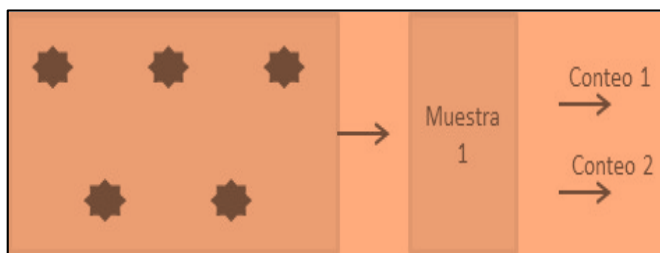


Figura 3. Recolección de muestras en los cafetales.

3.3.3. Método en Laboratorio

Se llegó a realizar las evaluaciones correspondientes en el laboratorio de Fitopatología de la Carrera de Ingeniería Agronómica de la Facultad de Agronomía (U.M.S.A.), llegándose a transportar cada una de las muestras (raíces con presencia de agallas, lesiones y suelos infectados de nematodos fitoparásitos), en bolsas de plásticos resistentes con serraduras, previamente etiquetados, a la ciudad de La Paz y de esta forma proceder con las evaluaciones correspondientes para la extracción, identificación y conteo de poblaciones de nematos fitoparásitos en laboratorio.

3.3.3.1. Extracción de nematodos a partir de muestras de raíz del café

Se lavaron las raíces con abundante agua y se dejaron secar a temperatura ambiente, se pesaron 25 gramos de raíces funcionales en una balanza digital y se cortaron con la ayuda de una tijera en trozos pequeños de aproximadamente un centímetro. Estos fueron procesados por el método de Licuado-tamizado-centrifugado en solución azucarada como se describe a continuación: la raíz se licua en 500 ml de agua y dos gotas de solución jabonosa durante dos fases, 15 segundos a velocidad baja y 15 segundos a velocidad alta, luego se pasa por un juego de tamices superpuesto de 100 y 400 mesh (Araya et. al 1995).

El material obtenido en los tamices de 400 mesh se pasó a un vaso de precipitados lavándolos en agua con la ayuda de una piseta para evitar pérdidas de nematodos. Esta solución se homogenizo y se pasó a cuatro tubos de centrifugación cada uno con una capacidad de doce ml, donde se centrifugo durante tres minutos a 3500 rpm posteriormente se eliminó el sobrenadante con residuos orgánicos (los nematodos se van al fondo), después se volvió a llenar los tubos con solución azucarada del 50% (50 g azúcar / 100 ml agua) para realizar una segunda centrifugación a 3000 rpm por un tiempo de tres minutos, con esto los nematodos flotan en la solución azucarada la cual se vierte en el tamiz de 400 mesh el cual se lavó rápidamente con abundante

agua con la ayuda de una piseta para eliminar el azúcar y así evitar que los nematodos se plasmóisen, por último se recolecto los nematodos del tamiz, en una placa Petri, para su observación. Taylor, (1985) y Araya et al (1995)

3.3.3.2. Extracción de nematodos a partir de muestras de suelo del café

Para la extracción de nematodos de suelo se cuarteo la muestra y se quitó todo el material vegetal y piedras que contenía la muestra, posteriormente se pesó 100 gramos de suelo homogenizado, se pasó en un balde con dos litros de agua se removió con la ayuda de una varilla el suelo durante 30 segundos y se dejó en reposo durante cuatro minutos (Araya et. al.1995).

Posteriormente se realizó de la misma manera que en la extracción de raíz tamizado y centrifugado en solución azucarada, donde se pasa la suspensión del balde por un juego de tamices superpuesto de 100 y 400 mesh.

El material obtenido en los tamices de 400 mesh se pasó a un vaso de precipitados con la ayuda de una piseta para evitar pérdidas de nematodos. Esta solución se homogenizo y se pasó a tubos de centrifugación donde se centrifugo durante tres minutos a 3500 rpm (revoluciones por minuto), posteriormente se eliminó el sobrenadante con residuos orgánicos (los nematodos se van al fondo), después se volvió a llenar los tubos con solución azucarada del 50% (50 g azúcar / 100 ml agua) para realizar una segunda centrifugación a 3000 rpm (revoluciones por minuto), por tres minutos, con esto los nematodos flotan en la solución azucarada la cual se vierte en el tamiz de 400 mesh luego se lavó rápidamente con abundante agua con la ayuda de una piseta para eliminar el azúcar, por último se recolecto los nematodos del tamiz, en una placa Petri, para su observación (Araya et al 1995)

3.3.3.3. Procedimiento de conteo de Nematodos Fitoparásitos

En el conteo de nematodos procedentes del suelo, previamente se demarco la placa Petri con un marcador indeleble a cada centímetro, de todas estas cuadrículas, se seleccionó tres casillas al azar, para realizar el conteo visual en un microscopio de la

cuadrícula seleccionada, obteniendo un promedio que fue multiplicado por el número total de cuadrículas (Esquivel, 2005)

Para el caso de las raíces, se retira una alícuota de 0,5 a 1 mililitros para el conteo en la placa petri pequeña, de igual manera se selecciona tres casillas al azar, promediando el dato, para luego multiplicarlo por el número total de cuadrículas y posteriormente extrapolar al volumen total de la solución obtenida del tamiz de 400 mesh recomendado por (Magunacelaya, 1999).

En algunos casos donde los nematodos tenían movimientos variados, que dificultaban la visualización, se sumergieron en baño maría a más de 80° centígrados, por un lapso de 30 segundos, y luego continuar con el procedimiento, recomendado por (Magunacelaya, 1999).

3.3.3.4. Procedimiento de fijación de Nematodos Fitoparásitos

Se empleó el fijador formaldehído al 40% en una relación de 89 mililitros de agua destilada, 10 mililitros de formalina y 1 mililitros de ácido acético. Se preparó 100 mililitros de solución fijadora. Con este procedimiento se logró estabilizar a los nematodos y evitar que se plasmolicen, manteniendo su morfología original (Coyne et al 2007)

3.3.3.5. Identificación de Nematodos Fitoparásitos

De la solución de la placa Petri, previamente homogeneizada y con la ayuda de una micro pipeta, se recolectaron manualmente a diez individuos, los cuales fueron montados sobre el portaobjetos con hendidura, previamente adicionada una gota de solución fijadora, se colocó el cubreobjetos y se procedió al sellado con esmalte negro, (laca coloreada), pasando al microscopio compuesto para su análisis, revisando nuevamente que la muestra contenga a solo diez individuos en caso diferente se rechazó la muestra, para volver a preparar otra. La muestra fue visualizada con el lente de primer aumento (4x) para ubicar su posición geográfica en el portaobjetos, pasando al segundo aumento (10x) para observar el tamaño del nematodo,

empleando el lector de longitud (en micras) del microscopio compuesto, para conocer el diámetro del cuerpo en la región ecuatorial se utilizó el lente de (40x), en el caso de los nematodos con estilete se utilizó el aumento (100x), las variables evaluadas fueron las siguientes:

- L = Longitud en micras de cada uno de los individuos
- DA = Diámetro del ancho del cuerpo en la región ecuatorial
- E = Longitud del estilete de los individuos

Se repitió la medición y descripción para el resto de los nueve individuos, cabe aclarar que para la medición de la longitud del estilete y las características de cada nematodo se utilizó aceite de inmersión para una buena visualización.

La identificación de los individuos se realizó con descriptores morfológicos y morfométrico, con la ayuda de la clave taxonómica mayor para nematodos fitoparásitos debajo del orden Tylenchomorpha. Mekete T., Dababat A., Sekora N., Akyazi F., Abebe E. (comps). 2012. Claves taxonomicas de Mai y Lyon (1960), el manual de Fitopatología de Zuckerman *et al.* (1990), Manual de identificación de géneros de nematodos Importantes de Esquivel (2005). Se realizaron tres conteos por muestra para obtener después un promedio.

3.3.4. Incorporación de la materia orgánica para la biofumigación en campo

En la colonia de Alto Lima, las plantaciones de Café oscilaban entre 30 a 40 años de edad, sembradas a una distancia de 2,0 m entre hileras y 1,0 m entre plantas, para una densidad de 5000 plantas ha⁻¹.

El área de cada parcela en estudio estaba constituida por 800 m² en la zona baja y 820 m² en la zona alta, donde fueron seleccionados aleatoriamente 50 plantas de café, (*Coffea arábica L.*) en cada zona de estudio (unidad de muestreo), 10 plantaciones por tratamiento, dándonos un total de 100 Plantaciones estudiadas en las dos zonas.

Para la incorporación de la Biofumigación se aprovechó las precipitaciones que se dio en los meses de febrero y marzo donde se incorporó la materia orgánica, para su efectiva reacción de los abonos orgánicos como ser Cascarilla de arroz, Pulpa de Café, Gallinaza, Mezcla entre ellos, para lo cual con la ayuda de una pala y picota se limpió en anillos los cafetales en un diámetro de 3 m se removió el suelo a una profundidad de 15 a 30 cm sin dañar la raíces. Posteriormente se colocó los tratamientos removiéndolos y mezclándolos, se incorporó a cada diez plantas de café un tratamiento y así respectivamente, finalmente se colocó una cobertura de hojarasca con la que se tapó cada tratamiento recomendados (Carrasco y Riquelme, 2008)

La cantidad de tratamiento por plantación de café se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 2. Cantidad de Tratamiento Aplicado al café

Colonia Alto Lima	Nº	Plantas de café seleccionadas	Tratamiento aplicado	Cantidad de Biofumigación aplicado kg/tratamiento	
Zona 1 (Baja)	1	10	Cascarilla de Arroz	6	
	2	10	Gallinaza	6	
	3	10	Pulpa de Café	6	
	4	10	Mezcla	Cascarilla de arroz	2
				Gallinaza	2
				Pulpa de café	2
		Sub total	6		
5	10	Testigo	0		
Sub total		50		24	
Zona 2 (Alta)	1	10	Cascarilla e Arroz	6	
	2	10	Gallinaza	6	
	3	10	Pulpa de Café	6	
	4	10	Mezcla	Cascarilla de arroz	2
				Gallinaza	2
				Pulpa de café	2
		Sub total	6		
5	10	Testigo	0		
Sub total		50		24	
TOTAL		100		48	

Fuente: Elaboración propia 2016

3.3.4.1. Recolección de poblaciones de nematodos aplicados con tratamientos

Después de dos meses de haberse realizado la aplicación de los tratamientos (Biofumigación) en campo de los cafetales, se realizaron tres muestreos, en los meses abril, mayo y junio del 2016 para ver la fluctuación poblacional de los nematodos.

La recolección de poblaciones de nematodos fitoparásitos, se la llevo a realizar de la siguiente manera:

- Al igual que la anterior se realizó el muestreo en plantaciones de café constituidas por variedad criolla *Coffea arábica*, donde se realizaron la aplicación de los tratamientos con cascarilla de arroz, gallinaza, pulpa de café, mezcla y el testigo.
- La extracción de los suelos de los cafetales con nematodos disgregados, se la realizó a 20 cm de la base del tallo y 15 a 20 cm de profundidad recomendados por (Cuharay et al., 2000), en una proporción de 20 g/planta en cada tratamiento.
- Para la extracción de las raíces con nódulos, donde en el interior se encontraban los nematodos *Meloidogyne*, se la realizó también a 20 cm de la base del tallo y 15 a 20 cm de profundidad, en una proporción de 5 g/planta, esto con el fin de no dañar y dejar sin raíces a la planta, (Cuharay et al., 2000).

La cantidad de suelo y raíz extraída se muestra en el cuadro 3.

Cuadro 3. Número de muestras extraídas por mes

Colonia Alto Lima	Nº de muestras	Nº de plantas de Café Muestreadas	Cantidad de suelos Extraído (g)/tratamientos	Cantidad de Raíz Extraídas (g)/tratamientos
Zona 1 (Baja)	1	10	100	25
	2	10	100	25
	3	10	100	25
	4	10	100	25
	5	10	100	25
Sub Total		50	500	125
Zona 2 (Alta)	1	10	100	25
	2	10	100	25
	3	10	100	25
	4	10	100	25
	5	10	100	25
Sub Total		50	500	125
TOTAL		100	1000	250

Fuente: Elaboración propia 2016

3.3.5. Muestreo de nematodos Fitoparásitos fluctuación poblacional

En total se realizaron cinco muestreos; dos en el mes de diciembre 2015 y enero del 2016 para conocer los géneros de nematodos Fitoparásitos que afectan al cultivo del café y determinar al agente causal con sus poblaciones iniciales de nematodos en las parcelas. Posterior a la aplicación de los tratamientos se realizaron tres muestreos, en los meses de abril, mayo y junio del 2016 para ver el efecto de la biofumigación sobre la dinámica poblacional de nematodos Fitoparásitos.

Para la identificación y cuantificación de los nematodos en muestras de suelo y raíz del café siguió todo el anterior procedimiento del método de laboratorio descritos anteriormente.

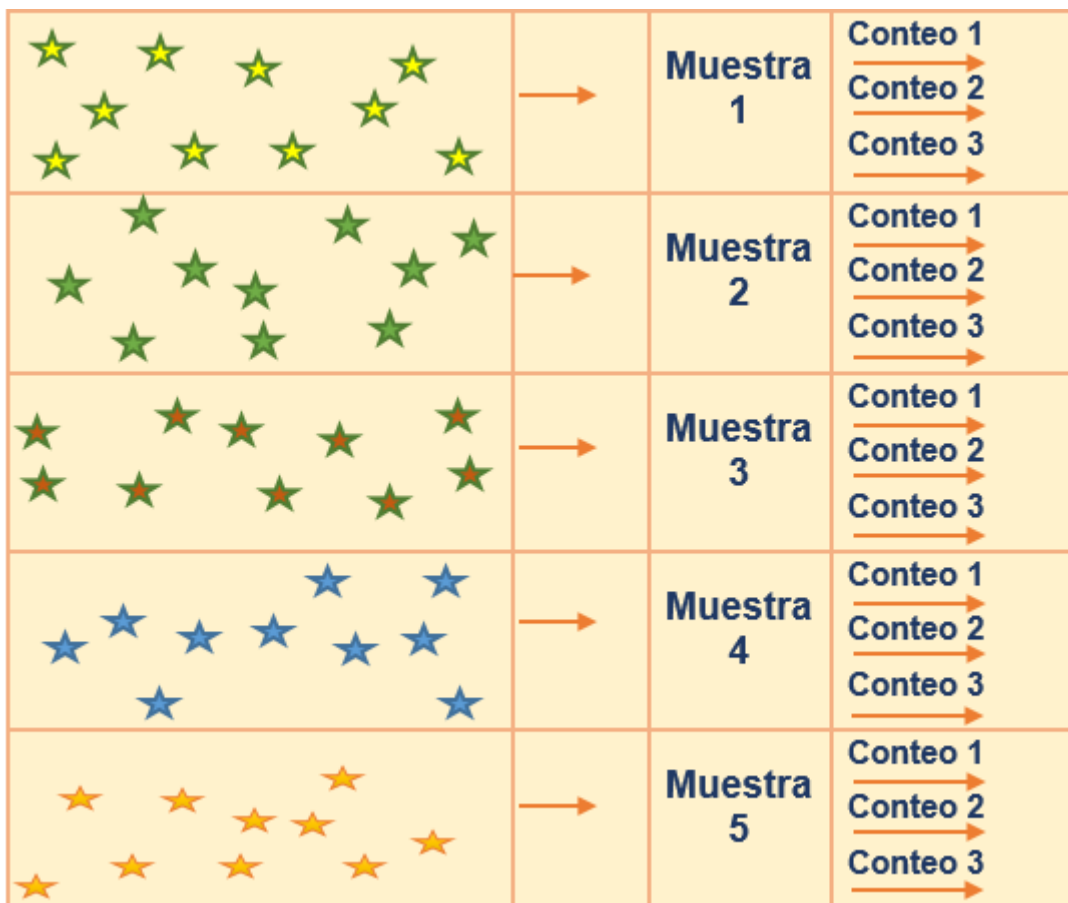


Figura 4. Detalle de recolección de muestras con tratamientos de los cafetales

Amarillo=Cascarilla de Arroz; Verde=Pulpa de Café; Azul=Gallinaza; Dorado=Mezcla; Café=Testigo.

3.4. Diseño Experimental

Debido a que el experimento se realizó en condiciones de campo abierto se llegó a utilizar un Diseño de Bloques al Azar bajo una Distribución Factorial, donde se ensayaron dos factores: Factor A (Biofumigación) y Factor B (zonas), con cinco bloques, donde cada bloque estuvo constituido por 10 plantas, en los cuales se llegaron a combinar los diferentes tratamientos.

Para el análisis estadístico se realizó un Análisis de Varianza con el programa, Software Estadístico; InfoStat; Versión 2008; Copyright.

Factor A: Biofumigación:

a1: Cascarilla de arroz (6 kg)

a2: Gallinaza (6 kg)

a3: Pulpa de café (6 kg)

a4: Mezcla (2 kg cascarilla de arroz, 2 kg gallinaza, 2 kg pulpa de café)

a5: Testigo

Factor B: Zona:

b1: Zona alta

b2: Zona baja

3.4.1. Modelo Lineal Aditivo

El modelo lineal estadístico utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_k + \alpha_i + \gamma_j + \alpha_i\gamma_j + \varepsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} = Una observación cualquiera

μ = La media poblacional

β_k = Efecto del k-ésimo bloque

α_i = Efecto del i-ésimo tratamiento (biofumigación)

γ_j = Efecto del j-ésimo zonas altitudinales

$\alpha_i\gamma_j$ = Efecto de la interacción de la i-ésima tratamientos de la Biofumigación con el efecto de la j-ésima zonas altitudinales (Interacción A x B)

ε_{ijk} = Error experimental

3.5. Variables evaluadas

Géneros de nematodos y densidades de nematodos presentes en suelo y en raíz según las técnicas de extracción de nematodos aplicadas al cultivo del café en la comunidad de Alto Lima Caranavi.

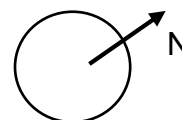
Número de nematodos Fito-patógenos por género *Meloidogyne* spp, presentes en 100 gramos de suelo.

Número de nematodos Fito-patógenos por género *Meloidogyne* spp, presentes en 25 gramos de raíces.

3.5.1. Análisis de datos

Los géneros *Meloidogyne* spp y densidades presentes fueron analizados por medio de estadística descriptiva (Promedios generales y frecuencias absolutas de nematodos), con el objetivo de determinar el efecto de los tratamientos biofumigantes sobre las poblaciones de nematodos a través del tiempo. Finalmente se realizó separación de medias, mediante Duncan (0.05).

3.5.2. Croquis experimental



C ₁	C ₂	P ₁	P ₂	G ₁	G ₂	M ₁	M ₂	T ₁	T ₂	I
M ₁	M ₂	G ₁	G ₂	T ₁	T ₂	P ₁	P ₂	C ₂	C ₁	II
P ₁	P ₂	M ₁	M ₂	C ₁	C ₂	T ₁	T ₂	G ₁	G ₂	III
T ₁	T ₂	C ₁	C ₂	P ₁	P ₂	G ₁	G ₂	M ₁	M ₂	IV
G ₁	G ₂	T ₁	T ₂	C ₁	C ₂	M ₁	M ₂	P ₁	P ₂	V

Figura 5. Croquis del diseño experimental en cada zona

C=Cascarilla de arroz; G=Gallinaza; P=Pulpa de café; M=Mezcla; T=Testigo

Las características de las unidades experimentales por cada zona de estudio son las siguientes:

Número de Bloques del Experimento:	5
Número total de Unidades Experimentales:	50
Número de Unidades Exp. / Bloque:	10
Número de Tratamientos / Bloque:	5x2
Número de Repeticiones por Tratamiento:	10
Área de Trabajo Zona Baja:	800 m ²
Área de Trabajo Zona Alta:	820 m ²

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Géneros de Nematodos Fitoparásitos asociados al Cultivo del café (*Coffea arábica* L.)

De acuerdo al diagnóstico realizado los principales géneros de nematodos fitoparásitos asociados al cultivo de café en las Zonas de la colonia de Alto Lima de la Provincia de Caranavi en orden de importancia (descendente) son: *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Helicotylenchus*, *Criconemella* los cuales se encuentran clasificados en el orden Tylenchida, familias Heteroderidae, Hoplolaimidae y Pratylenchidae, respectivamente y además de géneros de vida libre y algunos otros con frecuencias y poblaciones bajas. Estos géneros se pueden apreciar en la Figura 6.

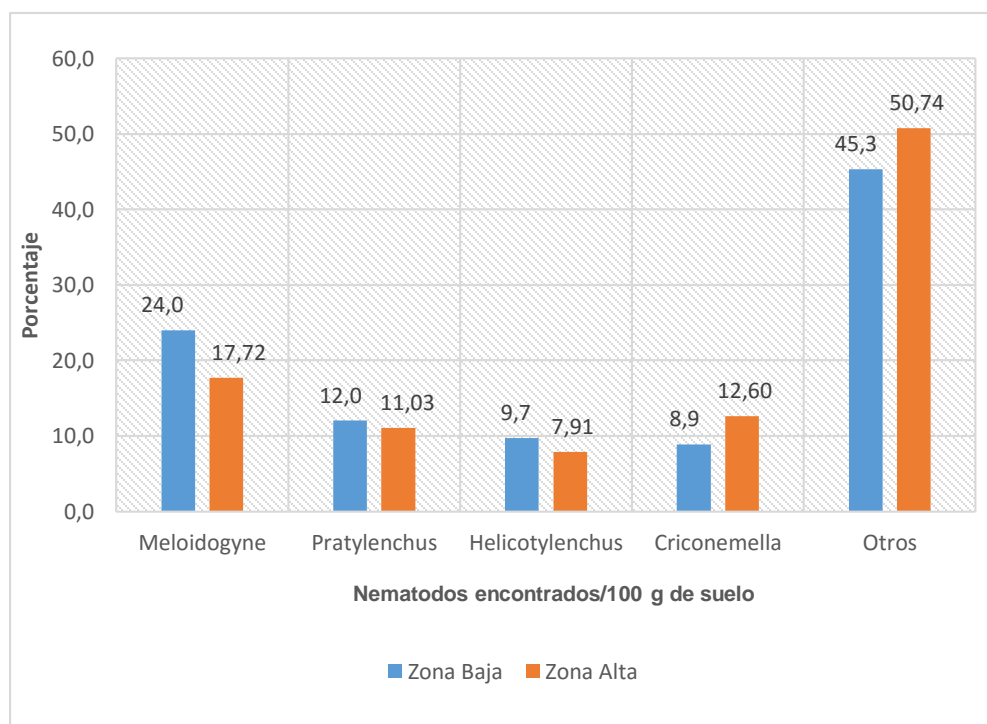


Figura 6. Frecuencia de presencia de nematodos Fitoparásitos en el suelo asociados al cultivo del café (*Coffea arábica* L) en la comunidad Alto Lima Caranavi 2016.

El número de nematodos fitoparásitos encontrados en el suelo fueron significativamente menores en los hallados en la raíz del café, la Figura 6 muestra mayor presencia de nematodos del género *Meloidogyne sp.*, con 24.0% (291 nematodos en 100 g de suelo) en la zona baja respecto a 17.72% (204 nematodos en 100 g de suelo) en la zona alta. La presencia del género *Pratylenchus sp.* Fue en 12.0% (146 nematodos en 100 g de suelo) en la zona baja, respecto a 11.0% (127 nematodos en 100 g de suelo) en la zona alta. Se reporta la presencia del género *Helicotylenchus sp.*, con 9.7% (118 nematodos en 100 g de suelo) en la zona baja, respecto a 7.9% (91 nematodos en 100 g de suelo) en la zona alta. *Criconemella sp.*, es otro de los géneros identificados cuya presencia fue de 8.9% (108 nematodos en 100 g de suelo) en la zona baja, respecto a 12.6% (145 nematodos en 100 g de suelo), todos ellos nematodos fitoparásitos.

Se tiene presencia significativa de otros nematodos 45.3% (550 nematodos en 100 g de suelo) en la zona baja respecto a 50,74% (584 nematodos en 100 g de suelo) en la zona alta (Figura 6). En el suelo prácticamente se encuentra casi la mitad de nematodos que no son fitoparásitos, cabe destacar a otros géneros de nematodos de vida libre y entre otros nematodos que no son parásitos del café.

Los nematodos fitoparásitos más representativos de daño del café cabe destacar los géneros de *Meloidogyne spp* y *Pratylenchus spp*. Los otros dos géneros *Criconemella spp* y *Helicotylenchus spp* tuvieron frecuencias menores, esto coincide con lo que menciona (Rosales 1995), que los géneros de nematodos ectoparásitos en el suelo, se encuentran reportados en el cultivo de café los géneros siguientes: *Aphelenchus*, *Helicotylenchus*, *Criconemella*, *Longidorus*, *Paratylenchus*, *Psilenchus*, *Rotylenchus*, *Trichoduros*, *Trophurus*, *Tylenchus* y *Xiphinema*.

Entre los nematodos endoparásitos migratorios se encuentra el género: *Pratylenchus spp*. Asimismo, entre los nematodos endoparásitos sedentarios se encuentran los del género *Meloidogyne spp*, dentro del cual se reconocen 17 especies parásitas de café (Montes, 2000).

Estos dos últimos géneros (*Meloidogyne* y *Pratylenchus*) son los de mayor importancia económica debido a su alta frecuencia y abundancia en los cafetales (Fernández,1993)

En cuanto a frecuencia en raíz se nota en la Figura 7 que el nematodo de mayor frecuencia y de mayor importancia para café es *Meloidogyne spp* nematodos agallador.

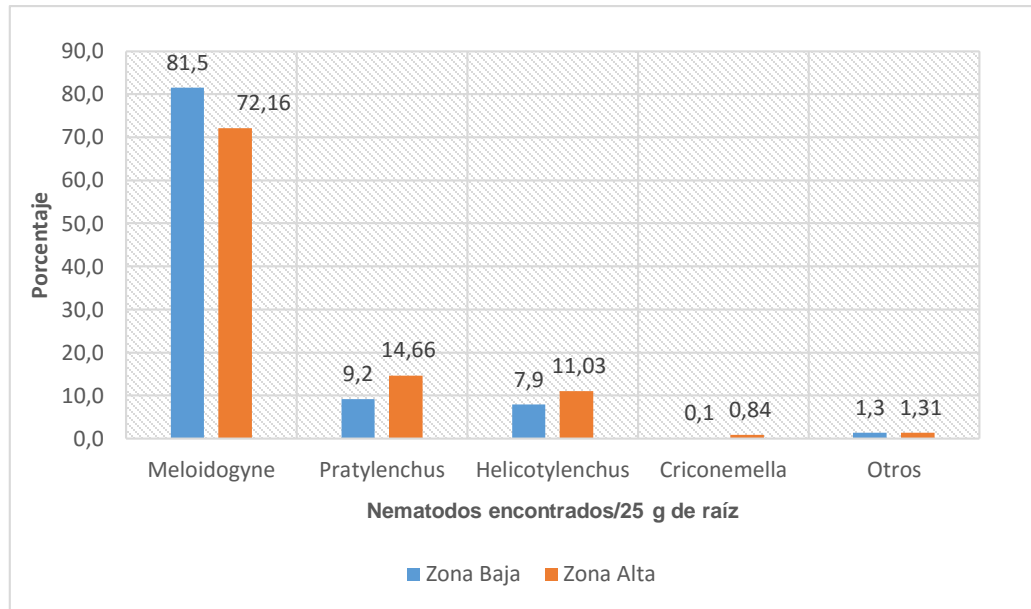


Figura 7. Frecuencia de presencia de nematodos Fitoparásitos en la raíz cultivo del café (*Coffea arabica* L) en la comunidad Alto Lima Caranavi 2016.

A diferencia de la mínima presencia de nematodos fitoparásitos en el suelo, estos se encuentran activamente al interior de las raíces, las mayores poblaciones de nematodos corresponden al género *Meloidogyne sp.*, con 81.5% (22636 nematodos en 25 g de raíces) en la zona baja, respecto a 72.16% (18132 nematodos en 25 g de raíces) en la zona alta. Seguido de los géneros *Pratylenchus sp.*, y *Helicotylenchus sp.*, con 9.2% (2542 nematodos en 25 g de raíces) en la zona baja y 14.66% (3683 nematodos en 25 g de raíces) presentes en la zona alta y 7.9% (2185 nematodos en 25 g de raíces) en la zona baja, respecto a 11.0% (2771 nematodos en 25 g de suelo) en la zona alta. *Criconemella sp.* pasa muy desapercibida al interior de las raíces, así como de los otros géneros de vida libre que están por 1.3% (374 nematodos en 25 g de

raíces para ambas zonas).

Al respecto Crozzoli (2002), indica que los nematodos que pertenecen al género *Meloidogyne sp.* son formadores de nódulos en las raíces de los cafetales, puede llegar a causar problemas graves en los cultivos a nivel mundial. Considerando la estructura biogeográfica de la nematofauna de los endoparasitos estudiada por Bello y Lara (1986), estos son sedentarios, por lo tanto su frecuencia en el suelo es menor respecto a las raíces y se alimentan de células altamente modificadas, una vez establecidos no se mueven fácilmente. Según López *et.al.* (1987) el género *Meloidogyne sp.* es endoparásito sedentario de mayor distribución geográfica y que aparece asociado al cultivo con mayor frecuencia, siendo esta una de las plagas más conocidas en los cafetales. El nematodo *Criconemella sp.*, tuvo baja presencia en las raíces con 38 y 212 nematodos en 25 g de raíces, en el suelo reportó 108 y 145 nematodos en 100 g de suelo, en la zonas baja y alta.

En países de América Latina, señalaron que el principal problema fitosanitario en las producciones de café, tomate, pimiento, melón, pepino, acelga, apio y lechuga lo constituye *Meloidogyne spp.*, fundamentalmente en las regiones (más cálida). Las estructuras son trasladadas de un lugar a otro dentro de una misma propiedad, debido a las grandes pérdidas que ocasionan estos nematodos, dando a los sistemas un carácter nómada (Díaz *et al.* 1998).

Villain, 2008 cita que el daño ocasionado por este nematodo ha provocado gran disminución en la productividad en las plantaciones de café y por ende bajos beneficios económicos. En América Latina, se estima que las pérdidas ascienden de 15 a 25% de la producción.

Por tanto, en la investigación realizada se puede observar de acuerdo con las figuras 6 y 7 que el género de mayor importancia económica y agente causal de mayor incidencia es el nematodo agallador *Meloidogyne spp* se encuentra diseminado en todas las zonas cafetaleras de la colonia Alto Lima con mayor magnitud en relación a los otros nematodos Fitoparásitos del café.

4.2. Efecto de los tratamientos biofumigación sobre las poblaciones de nematodos Fitoparásitos en la zona baja de la colonia Alto Lima.

4.2.1 *Meloidogyne* spp en las raíces del café.

Según el análisis de varianza realizado, (Anexo 6), hubo diferencias altamente significativas entre los tratamientos aplicados. Las poblaciones más bajas de nematodos en suelo se registraron en el tratamiento 1, y las más altas en el testigo donde no se realizó ningún tratamiento (Figura 8). Por otra parte, en la fluctuación poblacional de los nematodos, también se encontraron diferencias significativas entre las fechas de muestreo, las menores poblaciones de este género se observaron en los muestreos realizados en los meses de mayo y junio.

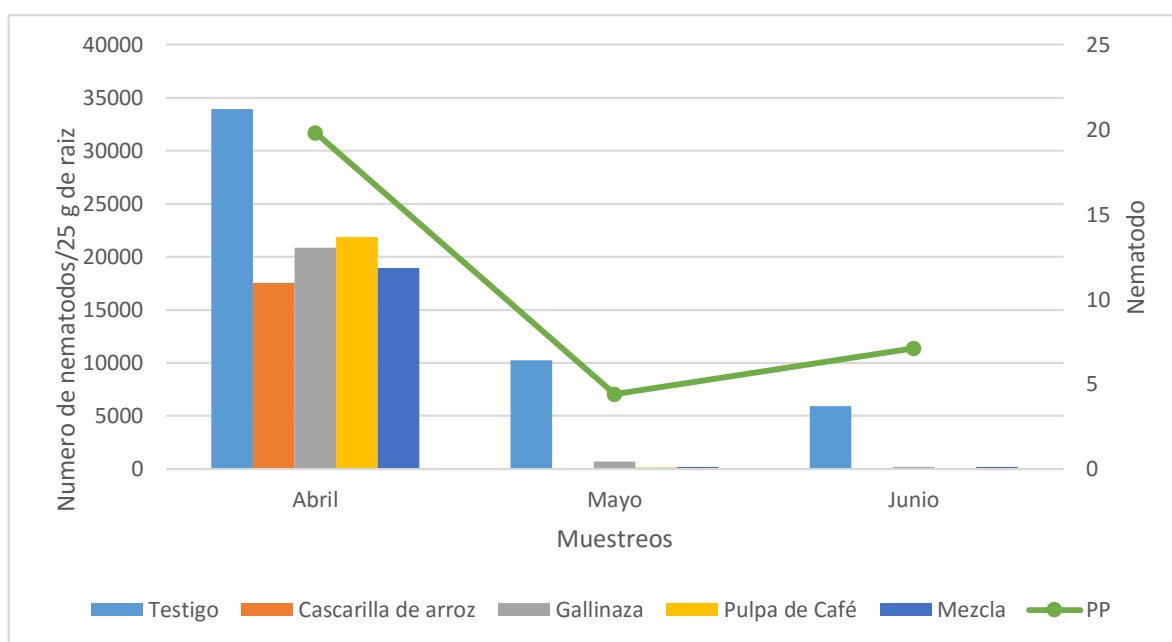


Figura 8. Densidad poblacional del nematodo *Meloidogyne* spp en la raíz cultivo del café (*Coffea arábica* L) en la comunidad Alto Lima Caranavi zona baja 2016.

En la Figura 8, se muestra el efecto de la biofumigación sobre la población de nematodo *Meloidogyne* spp en la zona baja. Se puede observar que todos los tratamientos mostraron diferencias estadísticamente significativas con el testigo en

cuanto al número de J2 *Meloidogyne spp.* La mayor cantidad de individuos vivos (33928 individuos en promedio en 25 gramos de raíz) se presentó en el testigo. En cuanto al número de J2 muertos se encontraron diferencias significativas en la mayoría de los tratamientos con relación al testigo.

Con respecto a la densidad poblacional de nematodos *Meloidogyne spp.*, en la Figura 8, alcanzó niveles de reducción el 98.2% al finalizar el muestreo que se dio en Junio, en los tratamientos 1 (cascarilla de arroz), y los tratamientos 3 (pulpa de café) la reducción alcanzo 97,2 %, Los tratamiento 4 (Mezcla) y 2 (Gallinaza) fue el que mostró relativamente bajo en comparación a los demás tratamientos ya que alcanzo valores de 96,5% y 96,8% los porcentaje de mortalidad, mientras que el testigo tuvo un 0% de mortalidad.

Estudios realizados por Sequeira (1075), indican la cascarilla de arroz y pulpa de café fueron efectivos en la reducción de las poblaciones de este géneros *Meloidogyne spp.*, cuando son aplicados a nivel de campo en cultivos de piña cada tres o seis meses, una vez establecida la plantación. En el caso del tratamiento con (gallinaza y mezcla de residuos agrícolas), que presentó relativamente bajos niveles de reducción pero significativos en cuanto a su reducción en comparación al testigo al comienzo de los tratamientos, es importante resaltar que los productos aplicados, ejercen un efecto nutritivo a la planta, por lo cual su efecto sobre los nematodos no es posible observarlos directamente, sino que se requiere de mayor tiempo para observar posibles efectos (Zelaya & Sotelo, 2000). Además, probablemente para conocer su efecto sobre las poblaciones de nematodos es necesario esperar mayor tiempo, resultados de investigaciones realizadas en café por dos años, indican que la gallinaza ejerce un efecto supresivo sobre poblaciones de fitonematodos y positivo sobre los microorganismos presentes en el suelo (Zelaya y Sotelo, 2000).

Por su parte Rodríguez et al. (2006), menciona que la aplicación de residuos agrícolas combinados con riegos abundante la biofumigación es muy efectiva ya que esta alternativa está basada en principios similares a lo que ocurren con el bromuro de metilo, con la diferencia de que en este caso los gases liberados provienen

de la descomposición de materia orgánica. Las altas precipitaciones que se dieron en los meses de Marzo y Abril y altas temperatura que se originaron en los meses mencionados dieron el proceso de descomposición, potenciaron su efecto sobre los microorganismos del suelo (SENAMHI, 2015).

Cuando se aplica materia orgánica al suelo, se produce una secuencia de cambios microbiológicos. Al principio, se produce una proliferación de microorganismos que se nutren y obtienen energía de la materia orgánica, iniciando la descomposición de ésta (Zelaya & Sotelo, 2000). Durante la descomposición, se estimula el desarrollo de otros organismos, tanto benéficos como perjudiciales (hongos nematófagos, nematodos predadores, lombrices, hongos, protozoos, algas y otros organismos), los cuales originan una gran cantidad de productos químicos que participan en el control de los patógenos del suelo. Amonio, nitratos, ácido sulfhídrico, otras sustancias volátiles y ácidos orgánicos, derivados de la descomposición de la materia orgánica, producen un efecto nematicida directo sobre la incubación de los huevos o sobre la movilidad de los estados juveniles (Rodríguez et al. 2006).

Las frecuencias de las poblaciones de *Meloidogyne* spp registradas en la Zona Baja de la comunidad Alto Lima, al inicio fueron relativamente altas en el mes de abril, obedeciendo probablemente esto a la biología misma de este género, que es la de ser un nematodo endoparásito que se va a encontrar con mayor frecuencia en raíces (Taylor y Sasser, 1983). Se evidencia el efecto de los productos biofumigantes sobre las poblaciones de este género de nematodos llegando a reducir drásticamente sus niveles poblaciones en el último muestreo que se dieron en los meses de mayo y junio. Por otro lado, las condiciones de la Zona Baja las (temperatura, precipitación) probablemente fueron determinantes para propiciar niveles poblacionales altos en los primeros meses de muestreos, posiblemente debido a que el suelo aun contenía suficiente humedad. A pesar de lo antes expuesto, ya para el último muestreo en los meses mayo y junio las poblaciones bajaron considerablemente, es probable que la escasez de lluvia y la disminución de temperatura predominantes en los meses del último muestreo tuvieron influencia sobre el comportamiento de los nematodos,

estudios realizados por Villain, *et al*, (1999), mencionan que las condiciones de escasas de agua y sequía desfavorecen la presencia de los nematodos en el suelo.

4.2.2 *Meloidogyne* spp en el suelo del café.

En el suelo hubo diferencias significativas entre los tratamientos aplicados, (Anexo 7) presentando las menores poblaciones en los tratamientos uno (cascarilla de arroz) y el tratamiento tres, (pulpa de café), y las mayores en el testigo donde no se puso ningún tratamiento. La figura 9 muestra poblaciones de *Meloidogyne* spp con tendencia a la disminución registrándose en el último muestreo poblaciones de este género bastante bajas.

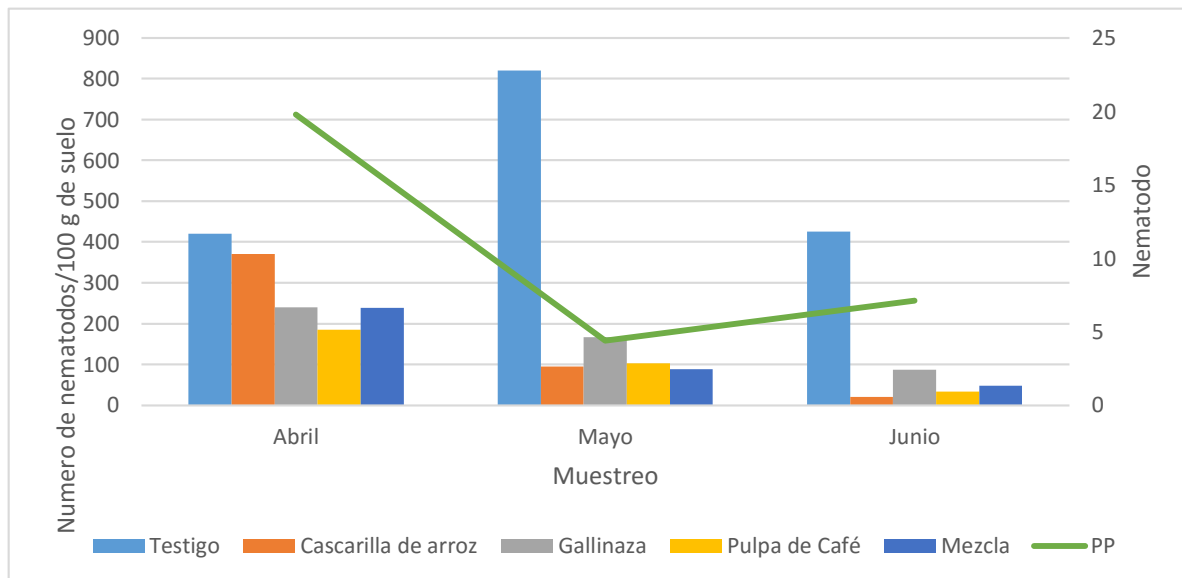


Figura 9. Densidad poblacional del nematodos *Meloidogyne* spp en los suelos del cultivo de café (*Coffea arabica* L) en la comunidad Alto Lima Caranavi zona baja 2016.

La Figura 9 muestra que en los suelos la relación de población de nematodos del genero *Meloidogyne* spp. Hubo diferencias significativas entre los tratamientos, pero se puede apreciar que el tratamiento uno, (cascarilla de arroz), es el que mejor se comportó tanto en suelo como en raíces, porque presentó frecuencias de 95,3% de mortandad las menores poblaciones (Figura 9). Es importante destacar que en este tratamiento uno, cuando se aplica cascarilla de arroz fresco al suelo, se produce

una secuencia de cambios microbiológicos. Al principio, se produce una proliferación de microorganismos que se nutren y obtienen energía de la materia orgánica, iniciando la descomposición de ésta. Durante la descomposición, se estimula el desarrollo de otros organismos, tanto benéficos como perjudiciales (hongos nematófagos, nematodos predadores, lombrices, hongos, protozoos, algas y otros organismos), los cuales originan una gran cantidad de productos químicos que participan en el control de los patógenos del suelo. Amonio, nitratos, ácido sulfhídrico, otras sustancias volátiles y ácidos orgánicos (Rodríguez et al. 2006).

Las bajas poblaciones de nematodos *Meloidogyne* spp. en el tratamiento uno y tres con frecuencias de 95.3% y 92,0%, probablemente fueron debido a que estos tratamientos a través del estudio siempre presentaron bajos niveles poblacionales desde el inicio de los muestreos, también hay que tomar en cuenta la distribución de los nematodos en el campo (Keith y Quezada, 1989), lo cual pudo ser el factor más determinante en estos resultados tomando en cuenta que la humedad y temperatura son mayores en relación a las zonas altas.

Según INIA (2004), otro efecto positivo sobre la reducción de la infestación se obtuvo con los tratamientos de pulpa de café y gallinaza. Estos productos permiten incorporar nutrientes al suelo y mediante su descomposición se liberan sustancias que tienen efecto nematicida. Además, se estimula la actividad microbiana del suelo, favoreciendo la presencia de microorganismos antagonistas de *Meloidogyne* spp. la incorporación al suelo de materiales orgánicos origina una gran cantidad de productos químicos (amonio, nitratos, ácido sulfhídrico, otras sustancias volátiles y ácidos orgánicos) debido a su descomposición por la acción de los microorganismos que participan en el control de los nematodos.

Ahmad y Alam (1997) estudiaron la eficacia de la fracción soluble del arroz en el control de *Meloidogyne incognita* encontraron que el compost con cascarilla de arroz redujeron las poblaciones de *Meloidogyne incognita* a si mismo menciona que los restos del cultivo de arroz y maíz, como materiales son efectivos para reducir los problemas

debido al nemtoto *Meloidogyne javanica* estudiaron el efecto de residuos de paja de arroz, maíz y plátano en el control de *R. reniformis* de menor eficacia los restos de arroz que los de platanera y maíz. Díazviruliche (2000) estudió el efecto biofumigante compuesto por cascarilla de arroz sola y en combinación con gallinaza, obteniendo 100% de mortalidad de *M. incognita* al combinar la cascarilla de arroz con gallinaza y 98% de mortalidad cuando se aplicó sólo la cascarilla de arroz.

Por otra parte, Chindo y Khan (1990) estudiaron la efectividad de la gallinaza sobre los nematodos. En cultivos como tomate encontraron que la aplicación de 4 T/ha redujo el índice de agallamiento de la raíz causado por *Meloidogyne incognita* e incrementó el crecimiento y fructificación de las plantas. Estos autores también determinaron mediante estudios *in vitro* con fracciones solubles de gallinaza que el control de nematodos se debe a las sustancias tóxicas liberadas durante el proceso de descomposición de esta enmienda. En esta investigación se utilizaron 21,6 t/ha de gallinaza durante los 12 meses del estudio; sin embargo, la elevada precipitación (4790 mm) durante todo el período, probablemente solubilizó un gran porcentaje de esta enmienda y a su vez aceleró su descomposición y lixiviación de sustancias.

4.3. Efecto de los tratamientos biofumigación sobre las poblaciones de nematodos Fitoparásitos en la zona alta de la colonia Alto Lima.

4.3.1. *Meloidogyne* spp en las raíces

En el análisis de varianza realizado, hubo diferencias altamente significativas entre los tratamientos evaluados (Anexo 6), presentando las menores poblaciones de nematodos *Meloidogyne* spp en el tratamiento uno y las más altas en el testigo donde no se realizó ningún tratamiento (Figura 10). Por otra parte, también se encontraron diferencias significativas entre las fechas de muestreo, al igual que en la zona bajas las menores poblaciones de este género se observaron en los muestreos realizados en los últimos meses evaluados.

La figura 10 muestras poblaciones de este género erráticas a través del estudio, esto

probablemente sea por la distribución de las poblaciones de nematodos en el campo (López, 1979; Keith & Quezada, 1989; Villain, *et al*, 1999) o por la biología que posee este género de nematodos (Taylor & Sasser, 1983).

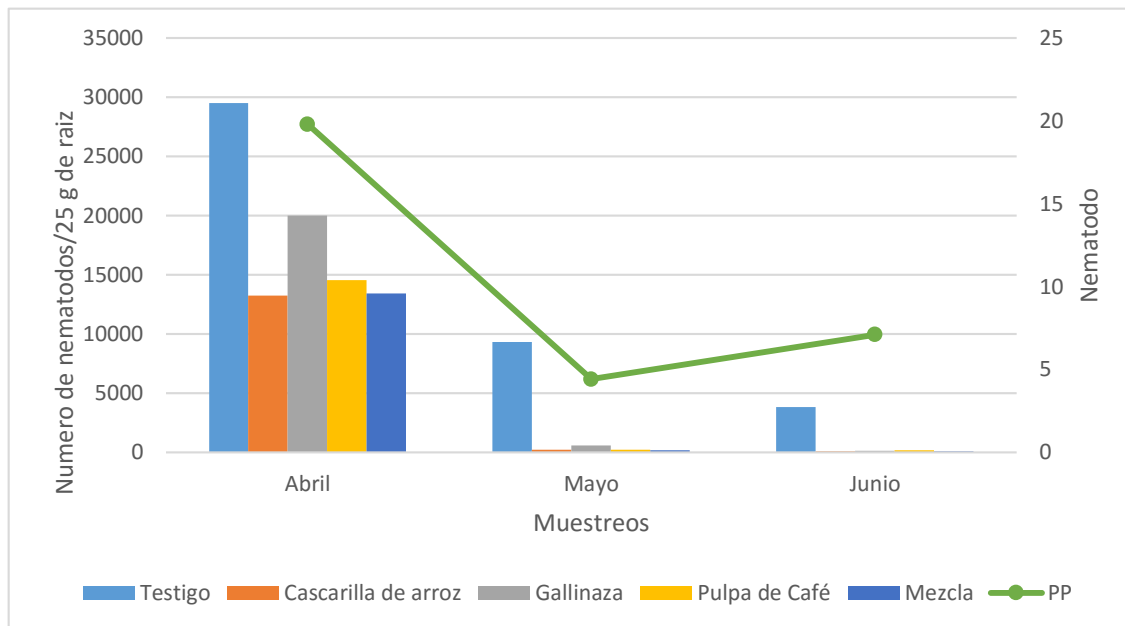


Figura 10. Densidad poblacional del nematodos *Meloidogyne spp* en la raíz cultivo del café (*Coffea arabica* L) en la comunidad Alto Lima Caranavi Zona Alta 2016.

En la Figura 10, se muestra el efecto de la biofumigación sobre la población de nematodo *Meloidogyne spp* en la zona alta. Se puede observar que todos los tratamientos mostraron diferencias estadísticamente significativas con el testigo en cuanto al número de J2 *Meloidogyne spp*. Las frecuencias encontradas en porcentaje de mortandad concluyeron con 98,5% y 98,0% correspondientes a los tratamientos de cinco y uno. La mayor cantidad de individuos vivos (29521 individuos en promedio en 25 g de raíz) se presentó en el testigo al iniciar la evaluación y terminado en (3805 individuos en promedio en 25 g de raíz) esto probablemente se a las bajas precipitaciones y temperaturas registradas en los últimos meses . En cuanto al número de J2 muertos se encontraron diferencias significativas en la mayoría de los tratamientos con respecto al testigo.

Las mayores poblaciones de *Meloidogyne* spp coincidieron con el inicio del periodo de lluvias y las bajas con la llegada del periodo seco, esta tendencia podría explicar en parte el comportamiento de las poblaciones presentes en suelo en la figura 10 muestra como es el comportamiento de reducción de la población de nematodos en los testigos. Taylor y Sasser (1983), mencionan que el agua es un factor determinante para que las especies de *Meloidogyne* puedan continuar su vida y todas sus actividades en el suelo.

Las poblaciones de *Meloidogyne* spp variaron en cuanto al periodo de muestreo es importante considerar como es la distribución de los nematodos según la (Figura 10) las poblaciones registradas en cada tratamiento son muy variables. Hernández (2002), menciona que los niveles poblacionales dependen de la época de muestreo, ya que estos varían con grandes amplitudes durante el ciclo fenológico de los cafetos de acuerdo con las estaciones climáticas.

El nematodo *Meloidogyne* spp mostro altas poblaciones en las muestras de raíz, este comportamiento está relacionado a que este nematodo pasa gran parte de su ciclo habitando las raíces. Este nematodo se ve favorecido (Sobrevive) durante los meses secos, ya que este se alimenta de las reservas de la raíz de la planta de café (Rosales 1995).

4.3.2. *Meloidogyne* spp en la el suelo

En el suelo hubo diferencias significativas entre los tratamientos aplicados, (Anexo 7) presentando, las menores densidades poblacionales en los tratamientos uno (cascarilla de arroz) y el tratamiento dos, (gallinaza), y las mayores en el testigo donde no se puso ningún tratamiento. La figura 11 muestra poblaciones de *Meloidogyne* spp con tendencia a la disminución fue drástica registrándose en el último muestreo poblaciones de este género bastante bajas.

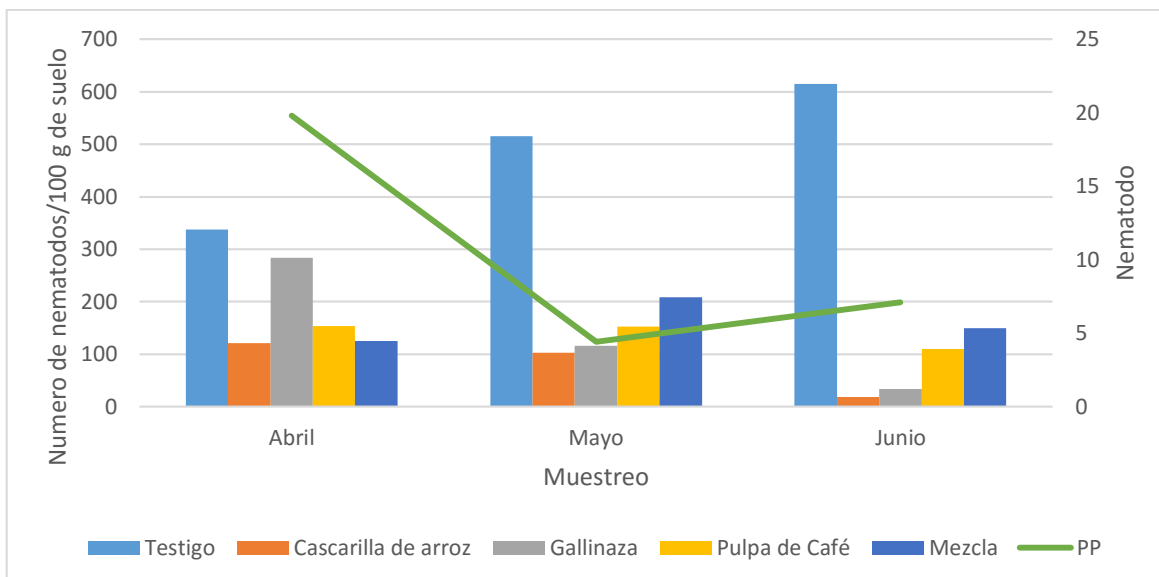


Figura 11. Densidad poblacional del nematodos *Meloidogyne* spp en los suelos del cultivo de café (*Coffea arabica* L) en la comunidad Alto Lima Caranavi Zona Alta 2016.

La Figura 11 muestra que en los suelos la relación de población de nematodos del genero *Meloidogyne* spp. Hubo diferencias significativas entre los tratamientos, pero se puede apreciar que el tratamiento uno, (cascarilla de arroz), y el tratamiento dos (gallinaza) son los mejores resultados que mostraron ya que presentaron frecuencias de 97,1% y 94,5% de mortandad las menores poblaciones.

En el análisis de varianza muestra diferencias significativas, se puede ver entre los tratamientos evaluados, presentando las menores poblaciones el tratamiento uno, (cascarilla de arroz), y las más altas fueron las presentadas en el testigo. A pesar de estos resultados muestra niveles poblacionales de *Meloidogyne* spp constantes a través del estudio, teniendo en el último muestreo poblaciones relativamente altas en el caso de los testigos con tendencias a incrementarse en los últimos monitoreo, contrarias a la zona uno, en las cuales la tendencia de este género de nematodos fue la de disminuir en el último muestreo.

Entre las alternativas que han venido a ocupar un papel importante en la sustitución de nematicidas para el manejo de nematodos fitoparásitos, fundamentalmente *Meloidogyne*

spp., se destacan el uso de enmiendas orgánicas a base de gallinaza, residuos casacrilla de arroz, restos de cosechas, entre otros, (Gómez y Rodríguez, 2008).

D'addabo (1995) han realizado revisiones de los trabajos de utilización de diferentes materiales orgánicos para el control de nematodos. En los trabajos revisados en muchos casos los autores no diferencian si el modo de aplicación de la materia es como enmienda o como biofumigación, reportándose una gran variedad de materiales utilizados en los ensayos. Estos materiales incluyen abonos verdes, restos frescos de cultivos, partes de plantas ornamentales, plantas adventicias, abonos de granja (cerdo, pollo, gallina, vaca), camas de animales (serrín y paja), composts, residuos sólidos urbanos, tortas derivadas de la extracción de aceites de semillas (de nim, mostaza, ricino, cacahuete, mahua, karanj) y otros residuos agroindustriales (cáscaras de arroz, cacao, etc., pieles de cítricos, restos de té y café, almidón, bagazo de caña de azúcar, melaza, residuos de industrias de la fruta y de mariscos, quitina, celulosa). Muchos de estos materiales han demostrado buen efecto nematicida, pero en dosis altas pueden producir fitotoxicidad.

Por una parte, al elevarse la temperatura del suelo aumenta la sensibilidad de los patógenos a los compuestos volátiles que se desprenden durante la descomposición de la materia orgánica, y por otra, el aporte de materia orgánica incrementa la temperatura de la solarización entre 2-3°C, así como la profundidad del suelo a la cual llega el tratamiento (Bello *et al.* 2001).

En cuanto al uso de la gallinaza, Díaz Viruliche (2000) señalaron el efecto reductor de este material para el control de *M. incognita*. Esto coincide con el trabajo de que observó que las poblaciones de *Meloidogyne* spp. en tomate se reducían con dosis de gallinaza de 10 t ha⁻¹. (Kaplan *et al.* 1992).

En cuanto al uso de restos de cultivos y residuos agroindustriales como material biofumigantes, Díaz Viruliche (2000) estudiaron el efecto de la pulpa de café, los residuos urbanos, las cortezas de eucalipto y el vermicompost sobre *M. javanica* en tomate, encontrando que la pulpa de café reduce significativamente sus poblaciones.

Atribuyeron este efecto a la liberación de amonio durante el proceso de descomposición y al efecto nematicida del furfural, probó el efecto de la pulpa de café sola y con gallinaza para el control de *M. incognita*, encontrando que ambos tratamientos obtienen un alto porcentaje de control sobre este nematodo (100% de mortalidad en el caso de la pulpa de café sola y 99% cuando se combinó con la gallinaza).

5. CONCLUSIONES

De acuerdo a las condiciones en que se realizó este estudio, se obtienen las siguientes conclusiones:

- Los principales géneros de nematodos encontrados en las plantaciones de café (*Coffea arabica* L) en la colonia Alto Lima de la provincia Caranavi son: *Meloidogyne* sp., *Pratylenchus* sp., *Helicotylenchus* sp., *Criconomella* sp. y nematodos de vida libre.
- El género *Meloidogyne* spp., fue identificado como el género con mayores porcentajes, en promedio de 81,5% y 72,16 % en las zonas bajas y altas, en relación a los otros géneros de nematodos relativos en raíz de café, que es directamente el principal patógeno de infestación de la raíz de café, dados por su predominancia en las dos zonas de estudio.
- En el suelo se dio una dominancia de los géneros de vida libre, con promedios de 45,3% y 50,74 % en las zonas bajas y altas lo cual es un buen indicador de la calidad de los suelos; referido a los Fitoparásitos, igualmente dominó el género *Meloidogyne* sp. con predominancia de 24,0% y 17,72 % en las zonas bajas y altas seguido por *Pratylenchus* sp., con 12,0% y 11,03 % dejando en un tercer lugar los géneros *Criconomella* sp. 8,9% y 12,6% y *Helicotylenchus* sp. con 9,7% y 7,91% posiblemente por la naturaleza de este como endoparásitos.
- La evaluación de la Biofumigación con residuos agropecuarios seleccionados (cascarilla de arroz, gallinaza, pulpa de café y la mezcla entre ellos), los cuales fueron estudiados solos, utilizando dosis recomendados, en condiciones de campo mostró su elevado potencial como materiales Biofumigante. Todos los tratamientos aplicados como biofumigante alcanzó 88% de mortalidad de juveniles (J2) de *Meloidogyne* spp. en ambas zonas de estudio.

- En la evaluación realizada con relación a la Biofumigación el tratamiento que presentó las más bajas poblaciones de nematodos Fitoparásitos fue el tratamiento uno (cascarilla de arroz), donde se redujo el grado de infestación de *Meloidogyne* spp. en el cultivo de café con reducciones de 98,2% respectivamente.
- Las fluctuaciones poblacionales de nematodos en las dos zonas de estudio, las poblaciones de *Meloidogyne* spp, fueron relativamente altas al inicio del estudio, juntamente con la Biofumigación se redujeron drásticamente al final de la época seca (Mayo-Junio).

6. RECOMENDACIONES

Basado en los resultados y conclusiones derivadas de este estudio se realizan las siguientes recomendaciones:

- Los resultados obtenidos en este trabajo de investigación permiten proponer que la Biofumigación a través de residuos agrícolas y pecuarios sirven como una alternativa de control de nematodos Fitoparásitos que afectan al cultivo de café, por otra parte es una alternativa, para la reducción del impacto negativo directo de estos materiales sobre el ambiente y contribuyendo a disminuir el uso de desinfectantes químicos de suelo.
- Realizar más investigaciones sobre fitonematodos *Meloidogyne spp.* y nematodos de vida libre en las diferentes zonas cafetaleras de Caranavi, con mayor tamaño de muestra y que incluyan las dos estaciones del año.
- Homogenizar tanto como sea posible las parcelas y/o zonas en donde se realicen futuros estudios con el fin de efectuar los muestreos en un mismo momento, bajo un mismo estado fenológico de la plantación y realizando un mismo manejo.
- Establecer estudios más detallados y controlados de los factores edáficos, antes, durante y después del ciclo del cultivo (Análisis de Suelos), para tener información más precisa de la relación de estos con las poblaciones de nematodos.
- Hacer pruebas a nivel de invernadero y/o de campo para cada una de las alternativas evaluadas, la cual proporcione datos más específicos del efecto que puedan tener sobre los nematodos fitoparásitos.

- Continuar en la medida de lo posible con este estudio con los mismos tratamientos, incluyendo más variables para evaluar en las que se incluya de alguna manera el nivel de daño ocasionado por los nematodos y así conocer mejor el efecto de los tratamientos sobre los nematodos fitoparásitos
- Hacer un estudio muy detallado de los índices de la red alimentaria del suelo deben hacerse análisis de materia orgánica, raíces presentes y biomasa microbial en los diferentes tratamientos a evaluar.

7. BIBLIOGRAFÍA

Acosta, O. 1990. Nematodos del Cafeto. En: informe final del resultado 14. Tecnología integral del cafeto. ACC. (Ciudad de la Haba.

Agrios, G. 1996. Fitopatología. Editorial Limusa. México DF. 40-41pp.

Ahmad, A.; Alam. M.M. 1997. Bare-root-dip treatment of tomato for the management of the root-knot and the reniform nematodes. *Bioresource Technology* 60, 91-93.

Alfaro, R. A. 2001. La pupa del café de contaminante a nutriente. Boletín N° 3. ICAFE, Costa Rica. pág. 25.

Anzueto, J.; Sarah, J.L.; Eskes, A.; Decazy, B. 2000. Recheicly de la resístanse a *Meloidogyne* sp. duns one collection de Coffee arabica. San Francisco. 123p.

Araya, M.; Caswell-Chen, E.P. 1995. *Coffea arabica* cvs caturra and catuaí nonhosts to a California isolate of *Meloidogyne javanica*. *Nematropic* 25p.

Aragón, M. 1991. Determinación de géneros y densidades poblacionales de nematodos asociados a la pimienta negra (*Pipper nigrum*) en dos zonas de la Región Huetar Norte. Informe Bach. Ing. Agr. San Carlos, CR. ITCR. 55p.

Arauz, G.; Dávila, A. 1998. Efecto de *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Paecilomyces lilacinus* y *Trichoderma Koninggii*, sobre estados biológicos de *Eisenia foetida*. Revista del Centro Nacional de Investigadores del Café, CENICAFE. Federación Nacional de Cafetaleros de Colombia. Bogota, Colombia. 39 – 48 p.

Barrientos, R. 1998. El Cultivo del Café en la Región de los Yungas. Unidad de diversificación agrícola. Proyecto IBTA-Agroyungas. 47p.

Bello, A.; López-Pérez, J.A.; García Álvarez, A. 2003. *Biofumigación en agricultura extensiva de regadío*. Fundación Ruralcaja-Mundi Prensa, Alicante, España. 620 p.

Bello, A.; Topham, P.; Alphey, A. 2001. Biogeographical classification of some plant parasitic nematode species groups in Spain. *Nematologia Mediterranea* 14, 55-72 p.

Bello, A.; López-Pérez, J.A.; Díaz-Viruliche, L.; Sanz, R. 2000. Biofumigation, solarization and nematode control. *XXV International Nematology Symposium*. April 2-7p.

Bello A. 1986. Los nematodos en España y su efecto en la remolacha azucarera. *II Jornadas Internacionales de Estudios Remolacheros. Control de nematodos*. Valladolid 27-28 p.

Bridge, J.; Page, S. L. 1996. Estimation of root-knot nematodes infestation levels on roots using a rating chart. *Tropical Pest Management* 26, 296-298.

Campos V.P. y Villain L. 2005. Nematode parasites of coffee and cocoa. En: Luc M., Sicora R. y Bridge J. (Eds.), *Plant parasitic nematodes in subtrpical agricultura*. CAB International, Wallingford, UK, 529-580 p.

Cardenas M.R. 1993. Control biologico de plagas. Chinchina, Colombia. CENICAFE, Boletín técnico No. 189.

Coyne, R.; Barker, K. 2017. *The nature and practice of biological control of plant pathogens*. St. Paul American Phytopathological Society, 539 pp

Crozzoli, R. 2002. Especies de nematodos fitoparasíticos en Venezuela. (en línea). jul. 2002, vol.27, no.7 p.354-364. Consultado el 25 Noviembre 2015. Disponible en: <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sciarttext&pid=S037818442002000700004&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0378-1844

Cuadra, R.; Cruz, X.; Fajardo, J. 2000. Los cultivos de ciclo corto como plantas trampa de los nematodos de las agallas. *Nematropica*. 30, 241-246.

CENSO NACIONAL DEL CAFÉ, 2012, Censo Nacional del café, Estadística del sector cafetalero, La Paz-Bolivia. 192 p.

Díaz Viruliche LP. 2000. Interés Fitotécnico de la Biofumigación en los Suelos Cultivados. Tesis Doctoral, ETSI Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid, España, 600 p.

D'Addabbo, T. 1995. The nematicidal effect of organic amendmets: a review of the literature, 1982-1994. *Nematologia Mediterranea* 23, 299-305.

DaMatta, F. & Rodríguez, N., 2007. Producción sostenible de cafetales en sistemas agroforestales del Neotropico: una visión agronómica y agrofisiológica. *Agronomía Colombiana* 25(1), 113-123, 2007 p.

FAO, 2012. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Consultado 10 febrero 2016. Disponible en línea: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>,

FAO. 1996. Eliminación de grandes cantidades de plaguicidas en desuso en los países en desarrollo. Directrices provisorias. Colección FAO: Eliminación de plaguicidas n° 4. PNUMA/OMS/FAO, Roma. 1996. [Texto del manual en: <http://www.fao.org/AG/AGP/AGPP/Pesticid/Disposal/indexen.htm>]

FAO. 1990. Conservación de suelo para la pequeña agricultura de zonas tropicales húmedas. *Boletín de Suelo* 13. 28pp.

FAO. 2003. Manejo de Nematodos Endoparásitos: Proyecciones Futuras (en línea). Eds. Gómez, M. Montes, M. Consultado 10 mayo. 2016. Disponible en <http://www.fao.org/docs/eims/upload/cuba/1054/cuf0018s.pdf>

FECAFEB, 2006. Manual para el Cultivo de Café en los Yungas UCB. UAC. La Paz Bolivia. Zonificación Agroecológica de Cultivo del Café en la Provincia Caranavi Parte I. Tipificación de la Calidad del Café.

FECAFEB, 2001. Zonificación Agroecológica de Cultivo del Café en la Provincia Caranavi Parte I. Tipificación de la Calidad del Café de las OECAS en la provincia Caranavi parte II, La Paz, Bolivia.

FECAFEB, 1998. Manual de Control Ecológico de Plagas y Enfermedades, el Café. La Paz, Bolivia. EDCON. 27p.

Fernández, E; Acosta, O; Pérez, I. 1993. Manejo integrado de nematodos del género *Meloidogyne* en el cafeto. VIII forum Nacional de Ciencias y Técnicas. Ciudad de la Habana.

Franco, J. 1998. Nematodos en semillas. Su importancia y detección. Curso de Patología de semillas por tutoría a distancia. Modulo 4. Cochabamba.5- 9p.

García, P. y Pantoja, N. 1990. Distribución y niveles poblacionales de nematodos asociados al cafeto en la VI Región, Nicaragua. Memoria del I taller regional sobre nematodos del café.

Gómez Lucila.; Rodríguez, M. G.; Díaz Viruliche, L.; Wagner, F. 2006. Evaluación de materiales orgánicos para la biofumigación en instalaciones de cultivos protegidos para el manejo de *Meloidogyne incognita*. *Revista Protección Vegetal* 21, 178-185 p.

Gheysen, G.; Jones, J. 2006. Nematode Biology and Plant Responses. Molecular Aspects of Plant Nematode Interactions. En: Perry, R.; Moens, M. (Eds). *Plant Nematology* CAB International, Wallingford, UK, 234-252 p.

Heald, C.M. 1987. Classical nematode management practices. In: Veech, J.A.; Dickson, D.W. (Eds.) *Vistas on Nematology*. Society of Nematologists, Hyattsville, MD., pp. 100-104 p.

Herbas, R. 1981. Manual de Fitopatología. Universidad Técnica de Oruro. Editorial Universitaria. Oruro Bolivia. 48p.

Hernández B.M.A. 2000. Identificación, dinámica poblacional y tácticas de control de nematodos en café (*coffea arabica* var. Garnica F5) en la región de Huatusco, Veracruz, México. Tesis Profesional, Universidad Autónoma Chapingo. México.

Huarcacho, J.C. 2008. Evaluación de la resistencia de variedades mejoradas de Café, al ataque de tres poblaciones de Fitonematodos agalladores *meloidogyne spp.*, Tesis. Universidad Mayor de San Andres. La Paz-Bolivia. 126 p.

Hutton, D. 1978. Influence on rainfall on some plantain nematodes in Jamaica. *Nematropica*. 8:34-39.

IGM, 1996. Zonificación Agroecológica y Propuesta Técnica del Plan de Uso de Suelo en la Región Amazónica

Jiménez, M. 1972. Fluctuaciones anuales de la población de *Radopholus similis* en la zona bananera de Pococí, Costa Rica. *Nematropica*. 2:33-40.

Katan, J. 1981. Solar heating (solarization) of soil for control of soilborne pests. *Annual Review of Phytopathology* 19, 211-236.

Keith, A.; Quezada, J. 1989. Manejo integrado de plagas insectiles en la agricultura. Estado actual y futuro. Departamento de protección vegetal. Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano. Honduras, Centroamérica. 623 p.

Labrador Moreno, J. 2001. *La materia orgánica en los agrosistemas*. 2ª Ed., Ed. Mundi Prensa-MAPA, Secretaría General Técnica, Centro de Publicaciones, 293 pp.

Lacasa, A.; Guirao, P. 1997. Investigaciones actuales sobre alternativas al uso del bromuro de metilo en pimiento de invernadero del Campo de Cartagena. En: Publicaciones de la CMAA. Región de Murcia. *Posibilidad de alternativas viables al bromuro de metilo en pimiento de invernadero. Jornadas y Congresos* 11, 21-36.

López, M. 1995. PAECISAV: un novedoso nematicida biológico para el control de nematodos fitoparásitos. III Encuentro Nacional Científico-Técnico de Bioplaguicidas. INISAV, Ciudad de la Habana: 4-5 p.

Luc, M.; Sikora, R. Bridge, J. 1990. Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture. C.A.B. International. Institute of parasitology

Magunacelaya, J. y E. Dagnino. 1999. Nematología. Agrícola en Chile. Serie Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Fac. De Ciencias agronómicas n°2. Santiago. 289p.

MBTOC. 1995. *Report of the Methyl Bromide Technical Options Committee. 1995 Assessment*. Montreal protocol on substances that deplete the ozone layer. UNEP, Nairobi, Kenia, 304 p.

Montes B.R. 2000. Nematología Vegetal en México. Sociedad Mexicana de Fitopatología, México, 98 p.

National academy of sciences, (NAS).1980. Control de plagas de plantas y animales. Control de nematodos parásitos de plantas. Vol. 4. 1ra ed. Editorial Limusa. México. 219 p.

Noble, R.R.P; C.E Sams. 1999. Biofumigation as an alternative to methyl bromide for control of white grub larvae. Annual Intern. Research conference on Methyl Bromide alternatives and emission reductions, nov. 1-4, 1999, San Diego, California, 92, 3p.

Paredes, E. 1999. Manejo agroecológico de malezas y botras plagas de importancia

económica en la agricultura tropical. Curso sobre bases agroecológicas para el MIP. Matanzas, Cuba.

Pérez J.R. y Díaz C.S. 2000. El café, bebida que conquistó al mundo. México, Universidad Autónoma de Chapingo., 5 p.

Pérez, A., Céspedes, C., Núñez P. 2008. Caracterización física-química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en República Dominicana. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal* 8, 10-29 p.

Quezada, E. 1999. Uso de abonos orgánicos como supresores de fitonematodos del cultivo de banano (*Musa AAA*). Tesis grado de Licenciatura EARTH, Guácimo, Costa Rica. Pág. 103. Consultado 25 enero 2016. Encontrado en <http://www.em-la.com/archivos/de-usuario/basedatos/abonos-supresores-de-fitonematodos.pdf>

Restrepo, J. 2001. Elaboración de abonos orgánicos fermentados y Biofertilizantes foliares. Experiencias con agricultores en Mesoamerica y Brasil. IICA, San José. Costa Rica. 157 p.

Rodríguez-Kábana, R. 1991. Control biológico de nematodos parásitos de plantas. *Nematopica* 21(1):111-122 p.

Rodríguez, M.; Gómez, L.; Díaz Viruliche L.; González E.; Wagner F. 2006. Evaluación de materiales orgánicos para la biofumigación en instalaciones de cultivos protegidos para el manejo de *Meloidogyne incognita*. *Revista de Agroecología* 6, 178-185

Rosales, J. 1995. Importancia de los nematodos, su muestreo: en el café de Nicaragua No. 4. Boletín trimestral. Vicegerencia de Investigación y Extensión Cafetalera, UNICAFE. 17-28 p.

Rojas, V. Y. 1983. Reconocimiento de los géneros de nematodos que afectan el cultivo del café (*Coffea arabica*) en el cantón de San Carlos. Prácticas de especialidad, Ing. Agr. San Carlos, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 51 p.

Senasa (Servicio nacional de Sanidad Agropecuaria), 1998. Marco Técnico Subcompetente. Manejo Integrado de plagas del Cafeto. Perú. 29-35 p.

Sequiera, F. 1977. Muestreos de nematodos fitoparásitos en dos zonas cafetaleras de Nicaragua. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Managua, Nicaragua. Folleto. 13 p.

Stirling, G.R. 1991. Biological Control of plant parasitic nematodes progress, problems and prospect. C.A.B. International, Wallingford UK. 1-282 pp.

Taylor, A. L.;1971. Introducción a la Nematología Vegetal Aplicada, Guía de la FAO para el estudio y combate de los nematodos parásitos de plantas. Manual Laboratorio. Roma. 131 p.

Taylor, A.; Sasser, J. 1983. Biología, identificación y control de los nematodos del nódulo de la raíz (especies de *Meloidogyne*), proyecto internacional de *Meloidogyne*. Universidad del estado de Carolina del Norte. U.S.A. 111 p.

Van Gundy, S. D. 1985. Ecology of *Meloidogyne* spp.-Emphasis on environmental factors affecting survival and pathogenicity". En: Sasser, J. N.; Carter, C. C. (Eds.) *An Advanced Treatise on Meloidogyne, Volume 1: Biology and Control*. North Carolina State University Press, Raleigh, NC, 178-182 p.

Vásquez, L; Castellanos J. A. 1997. Desarrollo del control biológico de plagas en la agricultura cubana, agro enfoque. 91: 14-15 p.

Villain, L; Anzueto, F; Hernández, A; Jean, S.L. 1999. Los nematodos parásitos del café. In Desafios de la caficultura en Centroamérica. B. Bertrand & B. Rapidel eds, IICA-CIRAD/CATIE, San José, 327-367 p.

Wallace, H.R. 1993. Abiotic influences in the soil environment. Vol. 1., New York. 257p.

Wyss, U. 1997. Root parasitic nematodes: an overview. En: Fenoll, C.; Grundle, F. M. W.; Ohl, S. (Eds). *Cellular and molecular aspects of plant-nematode interaction*. Kluwer Academic Press, Dordrecht. The Netherlands, 4-22 p.

Zelaya, F; Sotelo, C; 2000. Manejo de la fertilización Orgánica e inorgánica en el cultivo del café (*Coffea arabica* L) en dos años consecutivos (1998-1999). Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Nacional Agraria. Facultad de agronomía. Managua, Nicaragua. 50 p.

Zuckerman, B M. ; Mai, W F. ; Krusberg, L R. 1990. Plant Nematology Laboratory Manual. Traducido y editado al español por Nahum Marban Mendoza. Universidad autónoma de Chapingo. Mexico 145 p.

ANEXOS

ANEXO 1

Cultivo del café afectados por el nematodo agallador *Meloidogyne spp*



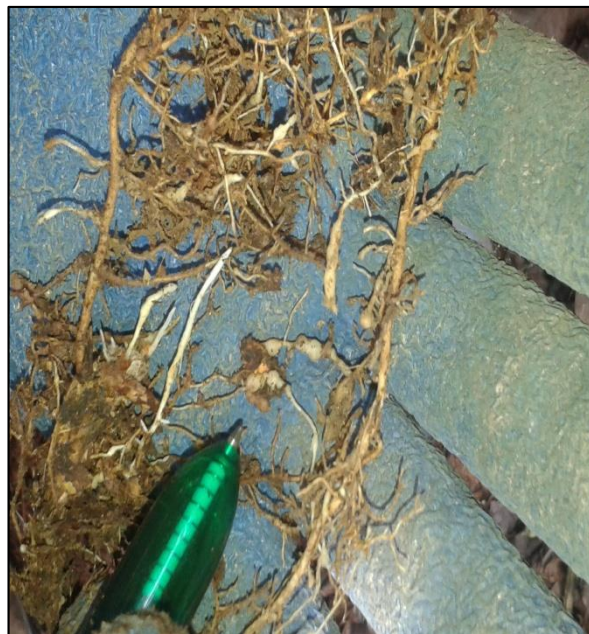
Fotografía 1. Marbeteado del café



Fotografía 2. Plantaciones de café afectado por nematodos



Fotografía 3. Recolección de raíz y suelos infectados con nematodos agallador



ANEXO 2

Aplicación de la biofumigación en las plantaciones de café



Fotografía 4. Aplicación de la cascarilla de arroz en anillos en los cafetales



Fotografía 5. Aplicación de tratamiento de gallinaza en los cafetales



Fotografía 6. Aplicación de pulpa de café en anillos en cafetales



Fotografía 7. Remoción de los tratamientos biofumigantes con la ayuda de un pico

ANEXO 3

Extracción, cuantificación de nematodos fitoparásitos y su identificación



Fotografía 8. Extracción de muestras de raíz y suelo del café



Fotografía 9. Muestras de raíz y suelo etiquetados



Fotografía 10. Mezcla y cuarteado de suelos infectados con nematodos fitoparásitos



Fotografía 11. Pesado de 100 g de suelo



Fotografía 12. Lavado y secado de las raíces del café



Fotografía 13. Troceado de la raíz a un centímetro



Fotografía 14. Pesado de 25 g de raíz del café



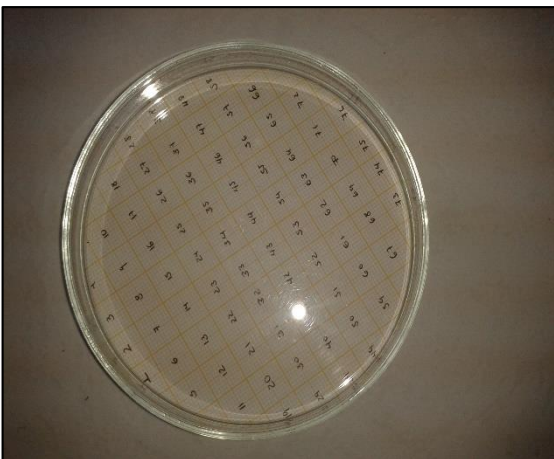
Fotografía 15. Raíces con modulaciones del café



Fotografía 16. Agitación de suelo con presencia de nematodos fitoparásitos en agua



Fotografía 17. Licuado de las raíces durante 30 s en dos fases a 3500 y 3000 rpm



Fotografía 18. Demarcación a un cm la placa petri para conteo poblacional de nematodos



Fotografía 19. Vaciado del licuado en tamices de 100 y 400 mesh sobrepuestos



Fotografía 20. Lavado del tamiz de 400 mesh con presencia de nematodos con ayuda de una piseta



Fotografía 21. Recolección de la muestra en un vaso de precipitados los nematodos



Fotografía 22. Colocado de la muestra con presencia de nematodos en los tubos de centrifugar



Fotografía 23. Primera centrifugación a 3500 rpm durante 3 minutos



Fotografía 24. Eliminación del sobrenadante de todos los tubos de centrifugación



Fotografía 25. Preparación de la solución azucarada al 50 porciento



Fotografía 26. Aplicación de solución azucarada a los tubos de centrifugación



Fotografía 27. Segunda centrifugación a 3000 rpm durante 3 minutos



Fotografía 28. Tubos de la centrifugadora se decantan sobre el tamiz de 400 mesh



Fotografía 29. Recolección de los nematodos en tamiz de 400 mesh



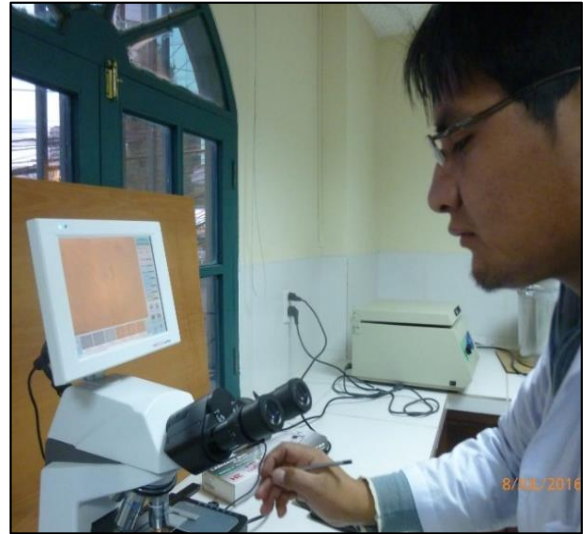
Fotografía 30. Recolección de los nematodos con abundante agua



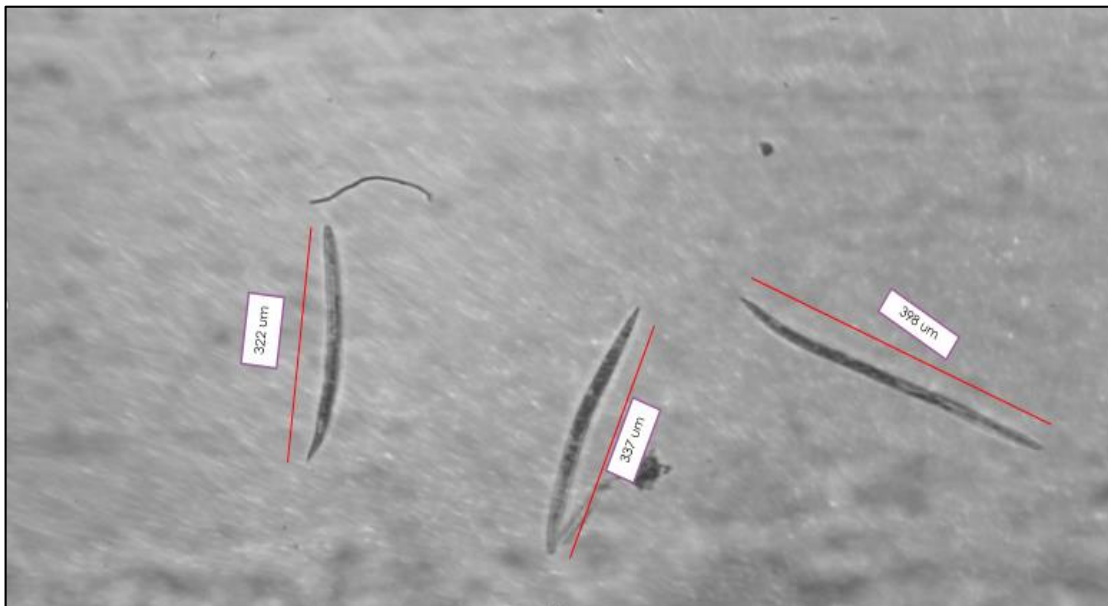
Fotografía 31. Recolección de nematodos en una placa Petri para su observación



Fotografía 32. Cuantificación de nematodos fitoparásitos



Fotografía 33. Identificación de nematodos con claves taxonómicas y morfométricas



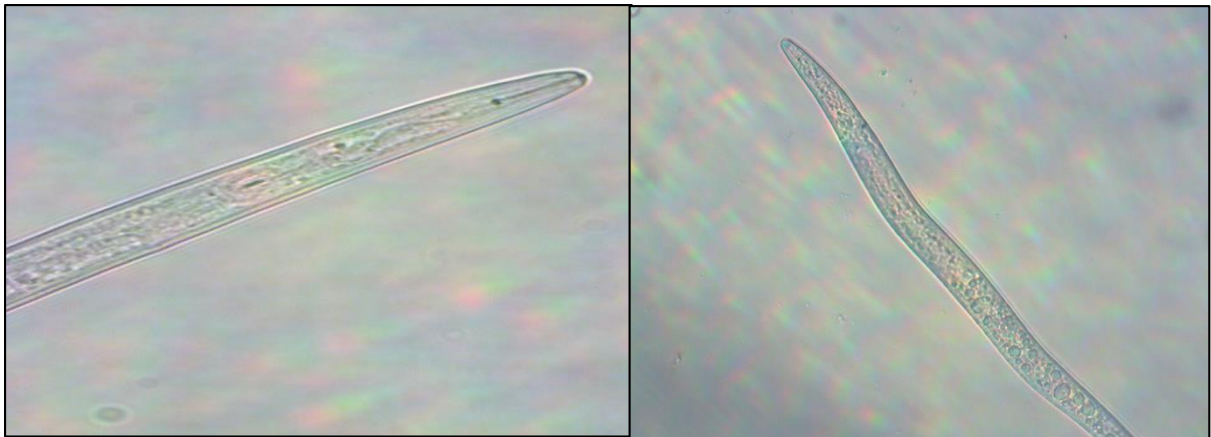
Fotografía 34. Medidas micrométricas para la identificación de nematodos fitoparásitos

ANEXO 4

Identificación de generos encontrados en el cultivo del cafe



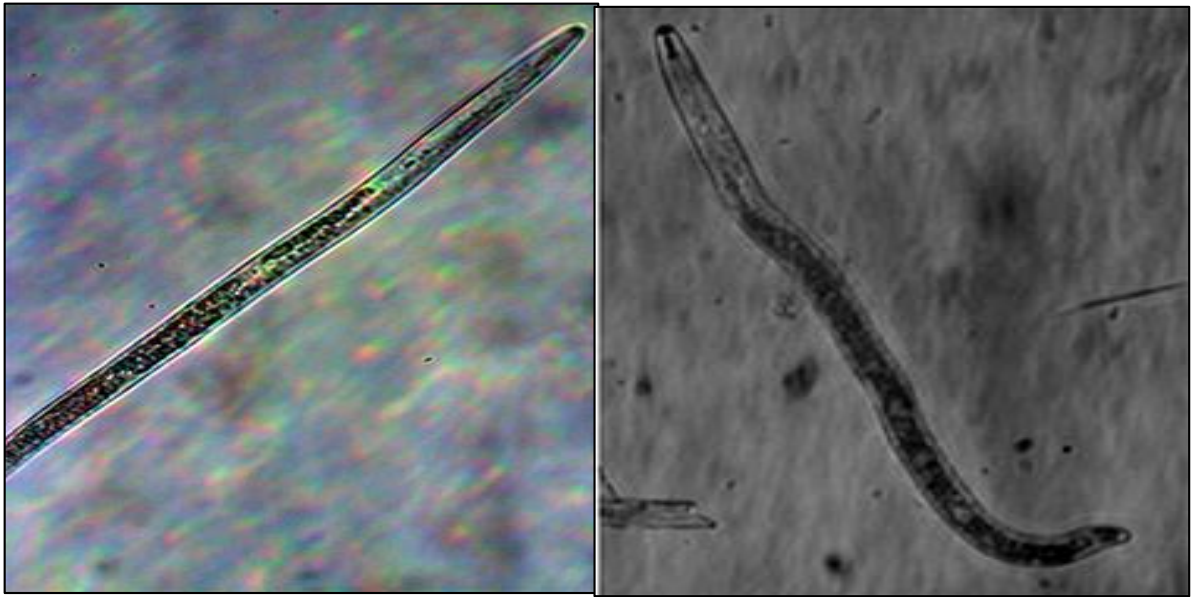
Fotografía 35. Nematodo agallador *Meloidogyne* spp.



Fotografía 36. Vista de estilete del nematodo *Meloidogyne* spp



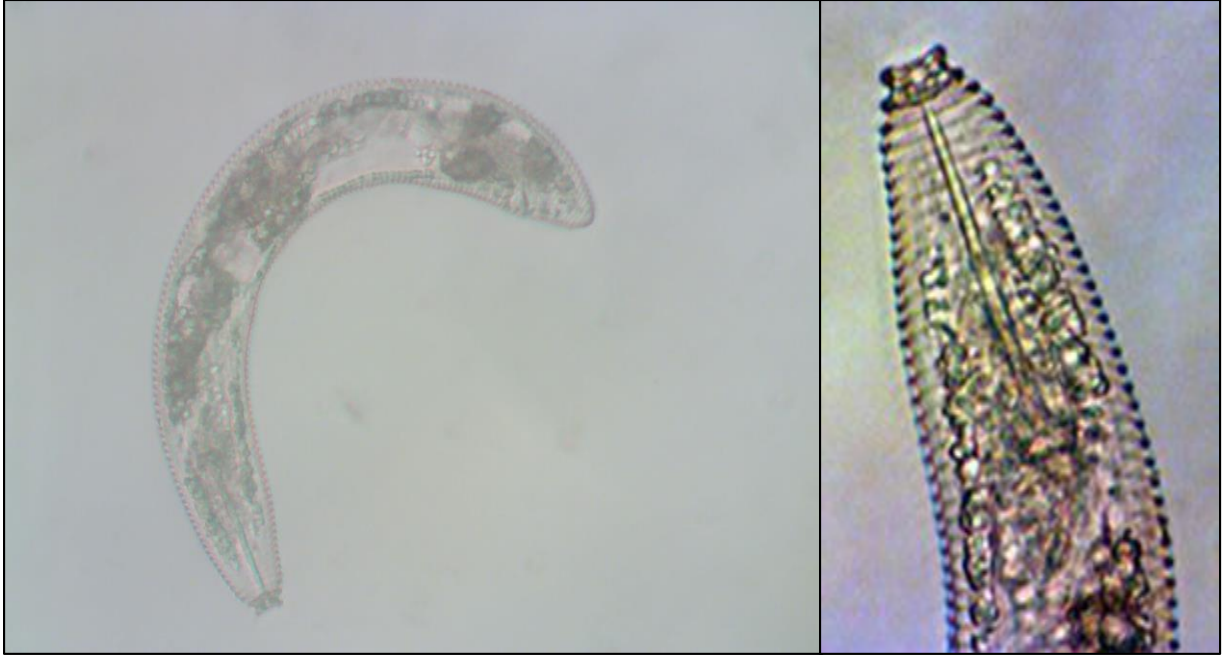
Fotografía 37. Estadio J2 del nematodo agallador *Meloidogyne*



Fotografía 38. Nematodo lesionado *Pratylenchus* spp



Fotografía 39. Nematodo espiral *Helicotylenchus* spp.



Fotografía 40. Nematodo del genero *Criconemella* spp.

Fotografía 41. Vista del estilete *Criconemella*



Fotografía 42. nematodos de vida libre, no presentan estilete en el aparato bucal

ANEXO 5

Precipitaciones medias mensuales (mm) del área de estudio Caranavi San Lorenzo

2015	DIA	T min	T max	PP
	Ene-15	21,1	31,8	17,6
	Feb-15	21,2	34,7	14,1
	Mar-15	21	34,2	10,1
	Abr-15	21,4	35,2	10,8
	May-15	19,4	33,5	10,4
	Jun-15	18,9	32,6	4,8
	Jul-15	19,1	32,4	12,5
	Ago-15	19,7	34,4	3,8
	Sept-15	19,9	33,4	11,6
	Oct-15	18,5	36,9	11,4
	Nov-15	20,8	34,5	12,6
	Dic-15	20,6	33,9	9,4
2016	Ene-16	20,2	34,7	8,6
	Feb-16	20,8	32,4	10,6
	Mar-16	20,7	35,4	18,2
	Abr-16	20,2	35,5	19,8
	May-16	18,2	31,9	4,4
	Jun-16	18,3	30,3	7,1
	Jul-16	19,7	34,1	3,1

Fuente: Datos Senamhi 2015 y 2016

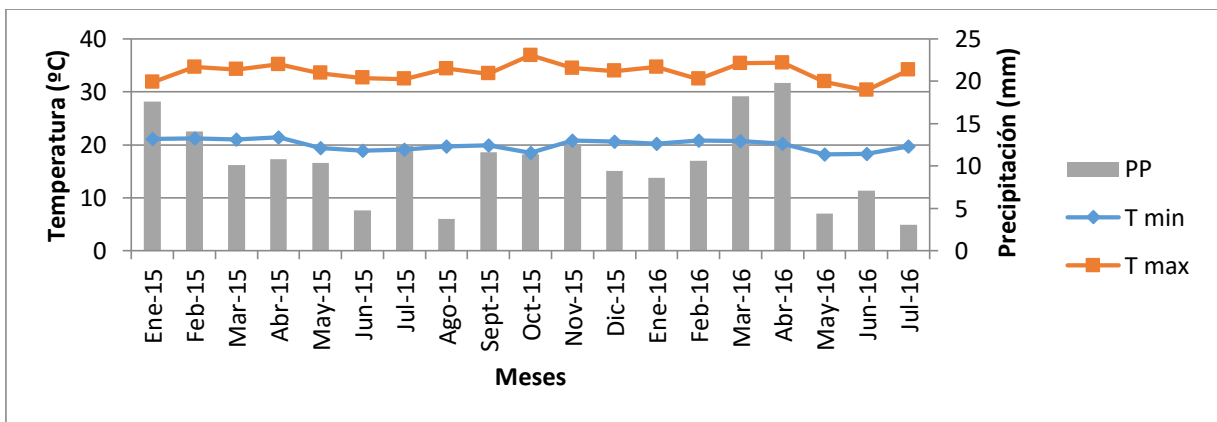


Gráfico de las precipitaciones y temperaturas de la zona de estudio

ANEXO 6

Análisis de la varianza Muestras de Raíz

ABRIL

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ABRIL	30	1,00	1,00	0,54

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1241263490,97	9	137918165,66	11555,03	<0,0001
ZONA	152086573,63	1	152086573,63	12742,09	<0,0001
BIOFUMIGACION	1055557697,80	4	263889424,45	22109,13	<0,0001
ZONA*BIOFUMIGACION	33619219,53	4	8404804,88	704,17	<0,0001
Error	238715,33	20	11935,77		
Total	1241502206,30	29			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 11935,7667 gl: 20

ZONA	Medias	n	E.E.	
ZONA ALTA	18132,73	15	28,21	A
ZONA BAJA	22635,87	15	28,21	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 11935,7667 gl: 20

BIOFUMIGACION	Medias	n	E.E.	
CASCARILLA	15381,00	6	44,60	A
MEZCLA	16192,83	6	44,60	B
PULPA CAFE	18210,83	6	44,60	C
GALINAZA	20412,33	6	44,60	D
TESTIGO	31724,50	6	44,60	E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 11935,7667 gl: 20

ZONA	BIOFUMIGACION	Medias	n	E.E.	
ZONA ALTA	CASCARILLA	13214,33	3	63,08	A
ZONA ALTA	MEZCLA	13419,67	3	63,08	B
ZONA ALTA	PULPA CAFE	14534,00	3	63,08	C
ZONA BAJA	CASCARILLA	17547,67	3	63,08	D
ZONA BAJA	MEZCLA	18966,00	3	63,08	E
ZONA ALTA	GALINAZA	19974,67	3	63,08	F
ZONA BAJA	GALINAZA	20850,00	3	63,08	G
ZONA BAJA	PULPA CAFE	21887,67	3	63,08	H
ZONA ALTA	TESTIGO	29521,00	3	63,08	I
ZONA BAJA	TESTIGO	33928,00	3	63,08	J

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

MAYO

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
MAYO	30	1,00	1,00	1,75

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	434657920,17	9	48295324,46	33310,18	<0,0001
ZONA	265644,30	1	265644,30	183,22	<0,0001
BIOFUMIGACION	433252073,00	4	108313018,25	74705,50	<0,0001
ZONA*BIOFUMIGACION	1140202,87	4	285050,72	196,60	<0,0001
Error	28997,33	20	1449,87		
Total	434686917,50	29			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 1449,8667 gl: 20

ZONA	Medias	n	E.E.	
ZONA ALTA	2083,40	15	9,83	A
ZONA BAJA	2271,60	15	9,83	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)**Test:Duncan Alfa=0,05**

Error: 1449,8667 gl: 20

BIOFUMIGACION	Medias	n	E.E.	
MEZCLA	161,50	6	15,54	A
CASCARILLA	164,33	6	15,54	A
PULPA CAFE	172,33	6	15,54	A
GALINAZA	619,50	6	15,54	B
TESTIGO	9769,83	6	15,54	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)**Test:Duncan Alfa=0,05**

Error: 1449,8667 gl: 20

ZONA	BIOFUMIGACION	Medias	n	E.E.	
ZONA BAJA	CASCARILLA	103,67	3	21,98	A
ZONA ALTA	MEZCLA	145,00	3	21,98	A B
ZONA BAJA	PULPA CAFE	147,00	3	21,98	A B
ZONA BAJA	MEZCLA	178,00	3	21,98	B C
ZONA ALTA	PULPA CAFE	197,67	3	21,98	B C
ZONA ALTA	CASCARILLA	225,00	3	21,98	C
ZONA ALTA	GALINAZA	554,33	3	21,98	D
ZONA BAJA	GALINAZA	684,67	3	21,98	E
ZONA ALTA	TESTIGO	9295,00	3	21,98	F
ZONA BAJA	TESTIGO	10244,67	3	21,98	G

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

JUNIO

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
JUNIO	30	1,00	1,00	2,59

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	114568357,37	9	12729817,49	16590,40	<0,0001
ZONA	1646894,70	1	1646894,70	2146,35	<0,0001
BIOFUMIGACION	107815394,87	4	26953848,72	35128,18	<0,0001
ZONA*BIOFUMIGACION	5106067,80	4	1276516,95	1663,65	<0,0001
Error	15346,00	20	767,30		
Total	114583703,37	29			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 767,3000 gl: 20

ZONA	Medias	n	E.E.	
ZONA ALTA	836,93	15	7,15	A
ZONA BAJA	1305,53	15	7,15	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 767,3000 gl: 20

BIOFUMIGACION	Medias	n	E.E.	
CASCARILLA	91,50	6	11,31	A
MEZCLA	122,17	6	11,31	A B
PULPA CAFE	123,67	6	11,31	A B
GALINAZA	156,33	6	11,31	B
TESTIGO	4862,50	6	11,31	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 767,3000 gl: 20

ZONA	BIOFUMIGACION	Medias	n	E.E.	
ZONA ALTA	MEZCLA	56,67	3	15,99	A
ZONA ALTA	CASCARILLA	74,67	3	15,99	A
ZONA BAJA	PULPA CAFE	107,00	3	15,99	A B
ZONA ALTA	GALINAZA	108,00	3	15,99	A B
ZONA BAJA	CASCARILLA	108,33	3	15,99	A B
ZONA ALTA	PULPA CAFE	140,33	3	15,99	B
ZONA BAJA	MEZCLA	187,67	3	15,99	C
ZONA BAJA	GALINAZA	204,67	3	15,99	C
ZONA ALTA	TESTIGO	3805,00	3	15,99	D
ZONA BAJA	TESTIGO	5920,00	3	15,99	E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ANEXO 7

Análisis de la varianza Muestra de Suelo

ABRIL

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ABRIL	30	0,80	0,71	24,29

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	293695,50	9	32632,83	9,03	<0,0001
ZONA	55384,03	1	55384,03	15,32	0,0009
BIOFUMIGACION	167412,33	4	41853,08	11,58	<0,0001
ZONA*BIOFUMIGACION	70899,13	4	17724,78	4,90	0,0064
Error	72310,00	20	3615,50		
Total	366005,50	29			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 3615,5000 gl: 20

ZONA	Medias	n	E.E.	
ZONA ALTA	204,53	15	15,53	A
ZONA BAJA	290,47	15	15,53	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 3615,5000 gl: 20

BIOFUMIGACION	Medias	n	E.E.	
PULPA CAFE	169,50	6	24,55	A
MEZCLA	181,50	6	24,55	A B
CASCARILLA	245,67	6	24,55	B C
GALINAZA	262,00	6	24,55	C
TESTIGO	378,83	6	24,55	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 3615,5000 gl: 20

ZONA	BIOFUMIGACION	Medias	n	E.E.	
ZONA ALTA	CASCARILLA	121,33	3	34,72	A
ZONA ALTA	MEZCLA	125,33	3	34,72	A
ZONA ALTA	PULPA CAFE	154,00	3	34,72	A B
ZONA BAJA	PULPA CAFE	185,00	3	34,72	A B C
ZONA BAJA	MEZCLA	237,67	3	34,72	B C D
ZONA BAJA	GALINAZA	239,67	3	34,72	B C D
ZONA ALTA	GALINAZA	284,33	3	34,72	C D E
ZONA ALTA	TESTIGO	337,67	3	34,72	D E F
ZONA BAJA	CASCARILLA	370,00	3	34,72	E F
ZONA BAJA	TESTIGO	420,00	3	34,72	F

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

MAYO

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
MAYO	30	0,98	0,97	17,43

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1569349,33	9	174372,15	102,19	<0,0001
ZONA	9152,53	1	9152,53	5,36	0,0313
BIOFUMIGACION	1400792,33	4	350198,08	205,22	<0,0001
ZONA*BIOFUMIGACION	159404,47	4	39851,12	23,35	<0,0001
Error	34128,67	20	1706,43		
Total	1603478,00	29			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 1706,4333 gl: 20

ZONA	Medias	n	E.E.	
ZONA ALTA	219,53	15	10,67	A
ZONA BAJA	254,47	15	10,67	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)**Test:Duncan Alfa=0,05**

Error: 1706,4333 gl: 20

BIOFUMIGACION	Medias	n	E.E.	
CASCARILLA	99,00	6	16,86	A
PULPA CAFE	128,00	6	16,86	A
GALINAZA	141,50	6	16,86	A
MEZCLA	148,67	6	16,86	A
TESTIGO	667,83	6	16,86	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)**Test:Duncan Alfa=0,05**

Error: 1706,4333 gl: 20

ZONA	BIOFUMIGACION	Medias	n	E.E.	
ZONA BAJA	MEZCLA	88,00	3	23,85	A
ZONA BAJA	CASCARILLA	95,00	3	23,85	A
ZONA BAJA	PULPA CAFE	103,00	3	23,85	A
ZONA ALTA	CASCARILLA	103,00	3	23,85	A
ZONA ALTA	GALINAZA	116,67	3	23,85	A
ZONA ALTA	PULPA CAFE	153,00	3	23,85	A B
ZONA BAJA	GALINAZA	166,33	3	23,85	A B
ZONA ALTA	MEZCLA	209,33	3	23,85	B
ZONA ALTA	TESTIGO	515,67	3	23,85	C
ZONA BAJA	TESTIGO	820,00	3	23,85	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

JUNIO

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
JUNIO	30	0,99	0,98	16,11

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1106866,03	9	122985,11	200,10	<0,0001
ZONA	29140,83	1	29140,83	47,41	<0,0001
BIOFUMIGACION	1024410,20	4	256102,55	416,68	<0,0001
ZONA*BIOFUMIGACION	53315,00	4	13328,75	21,69	<0,0001
Error	12292,67	20	614,63		
Total	1119158,70	29			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 614,6333 gl: 20

ZONA	Medias	n	E.E.	
ZONA BAJA	122,73	15	6,40	A
ZONA ALTA	185,07	15	6,40	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 614,6333 gl: 20

BIOFUMIGACION	Medias	n	E.E.	
CASCARILLA	18,50	6	10,12	A
GALINAZA	60,33	6	10,12	B
PULPA CAFE	72,00	6	10,12	B C
MEZCLA	98,83	6	10,12	C
TESTIGO	519,83	6	10,12	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 614,6333 gl: 20

ZONA	BIOFUMIGACION	Medias	n	E.E.	
ZONA ALTA	CASCARILLA	17,33	3	14,31	A
ZONA BAJA	CASCARILLA	19,67	3	14,31	A
ZONA ALTA	GALINAZA	33,67	3	14,31	A
ZONA BAJA	PULPA CAFE	34,33	3	14,31	A
ZONA BAJA	MEZCLA	47,67	3	14,31	A B
ZONA BAJA	GALINAZA	87,00	3	14,31	B C
ZONA ALTA	PULPA CAFE	109,67	3	14,31	C D
ZONA ALTA	MEZCLA	150,00	3	14,31	D
ZONA BAJA	TESTIGO	425,00	3	14,31	E
ZONA ALTA	TESTIGO	614,67	3	14,31	F

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

