

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**



**Comunidades y grupos funcionales de nematodos  
indicadores de la calidad del suelo en dos sistemas de  
manejo de cafetales en la zona oriental de El Salvador.**

**POR:**

**ESCAMILLA VALDEZ, JENNIFER JULIANA**

**GUZMÁN DÍAZ, CRISTIAN JOSÉ**

**ARREAGA MONGE, KEVIN RAFAEL**

**CIUDAD UNIVERSITARIA 26 DE OCTUBRE 2017**



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**



**Comunidades y grupos funcionales de nematodos  
indicadores de la calidad del suelo en dos sistemas de  
manejo de cafetales en la zona oriental de El Salvador.**

**POR:**

**ESCAMILLA VALDEZ, JENNIFER JULIANA**

**GUZMÁN DÍAZ, CRISTIAN JOSÉ**

**ARREAGA MONGE, KEVIN RAFAEL**

**CIUDAD UNIVERSITARIA 26 DE OCTUBRE 2017**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
DEPARTAMENTO DE PROTECCION VEGETAL**



**Comunidades y grupos funcionales de nematodos  
indicadores de la calidad del suelo en dos sistemas de  
manejo de cafetales en la zona oriental de El Salvador.**

**POR:**

**ESCAMILLA VALDEZ, JENNIFER JULIANA**

**GUZMÁN DÍAZ, CRISTIAN JOSÉ**

**ARREAGA MONGE, KEVIN RAFAEL**

**REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:**

**INGENIERO(A) AGRONOMO**

**CIUDAD UNIVERSITARIA 26 DE OCTUBRE 2017**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**LIC. M.Sc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO**  
**RECTOR**

**LIC. CRISTÓBAL HERNÁN RÍOS BENÍTEZ**  
**SECRETARIO GENERAL**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**

**ING. AGR. M.Sc. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA**  
**DECANO**

**ING.AGR. M.Sc. LUIS FERNANDO CASTANEDA ROMERO**  
**SECRETARIO**

**JEFE DEL DEPARTAMENTO DE PROTECCION VEGETAL**

**ING. AGR. M.Sc. ANDRÉS WILFREDO RIVAS FLORES**

**DOCENTES DIRECTORES**

**ING. AGR. M.Sc. ANDRÉS WILFREDO RIVAS FLORES**

**ING. AGR. M.SC. MIGUEL RAFAEL PANIAGUA CIENFUEGOS**

**ING.AGR. CARLOS ALBERTO AGUIRRE CASTRO**

**COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACION**

**ING.AGR.RICARDO ERNESTO GÓMEZ ORELLANA**

## AGRADECIMIENTOS

**A Dios:** todo poderoso por permitirnos obtener un triunfo más en la vida, y darnos la fuerza de voluntad para seguir adelante.

**A nuestra Familia:** por ser el apoyo moral y económico de nuestra carrera y sobre todo por su dedicación y comprensión en todo momento.

**A mis Docente Directores** Ing. Agr. M.Sc. Andrés Wilfredo Rivas Flores, Ing. Agr. M.Sc. Miguel Rafael Paniagua Cienfuegos e Ing. Agr. Carlos Aguirre Castro, por los aportes de conocimientos que me brindaron para realizar este trabajo de graduación y culminarlo con satisfacción.

**Agradecimiento:** al Laboratorio de Parasitología Vegetal del CENTA y a todo su personal, en especial al Ing. Agr. Reina Flor Guzmán de Serrano y a la Sra. Andrea Rivera Morán, a la Cooperativa Las Marías 93 de R.L, Departamento de Química Agrícola Universidad de El Salvador y Departamento de Protección Vegetal Universidad de El Salvador, por apoyarnos en todo el desarrollo de la investigación.

**A mi alma mater:** Por brindarnos la formación Profesional a lo largo de la carrera y en especial a todos los docentes que año con año me formaron para que hoy día seamos persona de provecho y poder servir a nuestra sociedad.

**Cristian Guzmán y Kevin Arreaga**

## **Agradecimientos**

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes y experiencias.

Le doy gracias a mi padre Julio Cesar y en especial a mi madre Rosa Bertha por apoyarme en todo momento, por esos desvelos durante mis estudios, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida, sobre todo por ser un excelente ejemplo de vida a seguir.

Le agradezco la confianza, apoyo y dedicación de tiempo a mis profesores, en especial al Ing. Leopoldo Serrano por haber compartido conmigo sus conocimientos y sobre todo su amistad.

A mis amigos: Amilcar Coreas, por ser parte significativa de mi vida, gracias por su apoyo, comprensión y amistad, a María José Nieto (Majo) excelente compañera y amiga, agradezco por su paciencia y por motivarme a seguir adelante en los momentos de desesperación y sobre todo por hacer de su familia, una familia para mí.

**Juliana Escamilla.**

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar este trabajo de manera muy especial:

A Dios y a la Virgen de Guadalupe, por permitirme dar este paso tan importante dentro de mi vida.

A mis padres, Celia Díaz y Amílcar Guzmán por estar presentes durante todo el camino que implicó la realización de este trabajo, por su comprensión y apoyo incondicional.

A mis hermanos y tías, por mostrarme su apoyo cuando les he necesitado.

A todos mis demás amigos y amigas, por todos esos momentos que compartimos durante toda la fase que implico llegar a cumplir esta meta.

**Cristian Guzmán.**

## RESUMEN

La investigación se realizó en el período de Octubre 2015 a Octubre 2016, en la Cooperativa Las Marías 93 de R.L. ubicada en el Municipio de Jucuapa, Departamento de Usulután y el Municipio de Chinameca, Departamento de San Miguel, a una altura promedio de 879 m.s.n.m. con el objetivo de caracterizar las comunidades de nematodos edáficos en los sistemas de producción de café orgánico y convencional. Se muestrearon dos fincas orgánicas de dicha cooperativa y dos de productores convencionales, en la época lluviosa propicio para el desarrollo y crecimiento de los nematodos, por cada finca se tomaron muestras de suelo por el método del transecto en zigzag en las que se midieron parámetros físico-químicos del suelo y la composición de las comunidades de nematodos en cada uno de los sistemas. Se estimó la diversidad alfa y beta de las comunidades de nematodos mediante los paquetes del programa R. Se encontró que la riqueza de grupos taxonómicos y número equivalente de especies, tiene una relación con el porcentaje de arcilla presente ( $p < .001$ ). También se evaluó la abundancia de grupos taxonómicos de cada finca, en las que se observó diferencias entre las comunidades de nematodos de las fincas con manejo convencional en relación a las de manejo orgánico ( $p=0.002$ ); y que la densidad aparente influye en la diferencia de la composición de las comunidades de nematodos ( $p=0.042$ ). Al evaluar la abundancia de cada grupo taxonómico de manera individual se observó que los nematodos de vida libre ( $p=0.005$ ) y el género *Discocriconemella* ( $p=0.007$ ) mostraron diferencias entre los sistemas. Se determinó una alta dominancia de nematodos colonizadores c-p1 y c-p2 en las fincas orgánicas con un Índice de Madurez mayor que las convencionales. Por lo tanto la alta presencia de restos vegetales provee un alto contenido de materia orgánica, que genera las condiciones propicias para mantener una alta diversidad y abundancia de nematodos de vida libre, siendo más abundantes en el cafetal manejado de forma orgánico, obteniendo así índices de madurez mayores que demuestran una mejor calidad de suelo.

**Palabras claves:** Cafetales, Nematodos edáficos, Calidad de suelo, Diversidad Alfa, Diversidad Beta, Índice de madurez.

## **Summary**

The research was carried out in the period from October 2015 to October 2016, in the Cooperativa Las Marías 93 de R.L. located in the Municipality of Jucuapa, Department of Usulután and the Municipality of Chinameca, Department of San Miguel, at an average height of 879 m.s.n.m. with the objective of characterizing edematous nematode communities in organic and conventional coffee production systems. Two organic farms of this cooperative and two conventional producers were sampled in the rainy season favorable for the development and growth of the nematodes, for each farm soil samples were taken by the zigzag transect method in which physical parameters were measured - soil chemistry and the composition of the nematode communities in each of the systems. The alpha and beta diversity of the nematode communities were estimated using the R program packages. The richness of taxonomic groups and the equivalent number of species was found to be related to the percentage of clay present ( $p < .001$ ). The abundance of taxonomic groups of each farm was also evaluated, in which differences were observed between the nematode communities of the farms with conventional management in relation to those of organic management ( $p = 0.002$ ); and that the apparent density influences the difference in the composition of the nematode communities ( $p = 0.042$ ). When evaluating the abundance of each taxonomic group individually, it was observed that the free-living nematodes ( $p = 0.005$ ) and the genus *Discocricionemella* ( $p = 0.007$ ) showed differences between the systems. A high dominance of colonizing nematodes c-p1 and c-p2 was determined in the organic farms with a higher maturity index than the conventional ones. Therefore, the high presence of vegetal remains provides a high content of organic matter, which generates the favorable conditions to maintain a high diversity and abundance of free living nematodes, being more abundant in the organically managed coffee tree, thus obtaining indices of maturity that demonstrate a better soil quality.

**Key words:** Coffee plantations, edematous nematodes, Soil quality, Alpha diversity, Beta diversity, Maturity index.

## INDICE GENERAL

### Contenido

#### #pág.

RESUMEN.....	VII
SUMMARY .....	VII
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 REVISION BIBLIOGRAFICA.....	3
2.1 Agroecología .....	3
2.2 Principios de la agroecología.....	3
2.3 Agroecología y biodiversidad.....	3
2.4 Los Agroecosistemas.....	4
2.5 Agroecosistema cafetal.....	4
2.6 Manejo del Cultivo de Café.....	4
2.7 El suelo.....	6
2.8 Calidad del suelo .....	6
2.9 Indicadores de la calidad del suelo .....	7
2.9.1 Indicadores físicos.....	7
2.9.2 Indicadores químicos.....	8
2.9.3 Indicadores biológicos .....	8
2.9.3.1 Factores que contribuyen al número y tipo de microorganismos en el suelo .....	8
2.10 Nematodos del suelo .....	9
2.11 Importancia ecología de nematodos edáficos .....	9
2.12 Caracterización de poblaciones de nematodos.....	9
2.13 Los nematodos en café.....	10
2.14 Biodiversidad .....	11
2.15 Importancia de la biodiversidad.....	11
2.16 Medición de la biodiversidad.....	12
2.16.1 Diversidad Alfa.....	12
2.16.1.1 Índices de riqueza.....	12
2.16.1.2 Índices de diversidad.....	12
2.16.1.3 Números de Hill .....	12
2.16.1.4 Abundancia proporcional de especies .....	13
2.16.1.5 Índices de equidad.....	13

2.16.1.6 Índices de dominancia .....	13
2.16.1.7 Modelos de acumulación de especies .....	13
2.16.2 Diversidad beta .....	14
2.17 Índice de Madurez .....	14
3 MATERIALES Y METODOS .....	15
3.1 Localización.....	15
3.2 Fase preliminar.....	16
3.2.1 Reunión con directivos de la cooperativa .....	16
3.2.2 Reconocimiento de parcelas .....	16
3.3 Fase de campo.....	17
3.3.1 Delimitación de parcelas .....	17
3.3.2 Georeferenciación de parcelas.....	17
3.3.3 Muestreo de suelo para fertilidad física y química .....	18
3.3.3.1 Toma de muestras de suelo para determinación de densidad y textura .....	18
3.3.3.2 Toma de muestra de suelo para fertilidad química .....	18
3.3.4 Toma de muestras para nematodos .....	19
3.4 Fase de laboratorio.....	19
3.4.1 Determinación de textura de suelo .....	19
3.4.2 Extracción de nematodos con método centrifugación – flotación.....	20
3.4.3 Reconocimiento taxonómico de nematodos .....	21
3.5 Metodología estadística.....	22
3.5.1 Diversidad Alfa .....	22
3.5.2 Diversidad Beta .....	22
3.5.2.1 Similitud de comunidades.....	22
3.5.2.2 Análisis multivariante basados en modelos .....	22
3.5.2.3 Análisis multivariante basado en modelos utilizando los gremios. ....	23
3.6 Índice de Madurez .....	24
4 RESULTADOS Y DISCUSION.....	24
4.1 RESULTADOS .....	24
4.1.1 Características de la finca .....	24
4.1.1.1 Finca 1 .....	24
4.1.1.2 Finca 2 .....	24
4.1.1.3 Finca 3 .....	25
4.1.1.4 Finca 4 .....	25

4.1.2	Características resultantes del análisis del suelo (fertilidad física) .....	26
4.1.3	Resultados de análisis químico del suelo .....	27
4.1.4	Comunidades de nematodos .....	30
4.1.4.1	Abundancia relativa .....	30
4.1.4.2	Diversidad Alfa .....	31
4.1.4.2.1	Números de Hill .....	31
4.1.4.2.2	Relación entre parámetros físico - químicos y diversidad alfa .....	32
4.1.4.3	Diversidad Beta .....	33
4.1.4.3.1	Similitud de comunidades .....	33
4.1.4.3.2	Análisis multivariante basados en modelos utilizando grupos taxonómicos .....	33
4.1.4.3.3	Análisis multivariante basados en modelos utilizando grupos tróficos.....	34
4.1.4.4	Índice de madurez .....	34
4.2	DISCUSIÓN.....	35
4.2.1	Efecto de las prácticas de manejo en la diversidad alfa.....	35
4.2.1.1	Asociación de factores físico químicos del suelo en la composición de la comunidad de nematodos.....	36
4.2.2	Composición de la comunidad de nematodos en respuesta a las prácticas de manejo.....	37
4.2.3	Respuesta de los grupos tróficos.....	38
4.2.4	Impacto de prácticas agroecológicas en la composición de comunidad de nematodos.....	38
4.2.5	Índice de madurez Yeates .....	39
5	CONCLUSIONES.....	41
6	RECOMENDACIONES.....	42
7	BIBLIOGRAFIA.....	43
8	ANEXOS .....	49

## INDICE DE CUADROS

<b>Contenido</b>	<b>#pág.</b>
Cuadro 1. Información geográfica de las parcelas de los sistemas orgánico y convencional.	17
Cuadro 2. Manejo de las parcelas de los sistemas orgánico y convencional .....	26
Cuadro 3. Parámetros físicos de las fincas orgánicas y convencionales.....	27
Cuadro 4. Resultado de análisis químico de macronutrientes de las fincas orgánicas y convencionales. ....	28
Cuadro 5. Resultados de análisis químicos de micronutrientes de las fincas orgánicas y convencionales. ....	29
Cuadro 6. Rango de pH y Materia Orgánica por fincas .....	29
Cuadro 7. Valores estimados de grupos taxonómicos a partir del cálculo de los números de Hill, en las fincas orgánicas y convencionales .....	32
Cuadro 8. Índice de Madurez (IM) en fincas con manejo Orgánico y Convencional.....	34

## INDICE DE FIGURAS

<b>Contenido</b>	<b>#pág</b>
Figura 1. Ubicación geográfica de las unidades de muestreo .....	17
Figura 2. Ubicación de Finca Org1 y patrón de toma de muestras.....	19
Figura 3. Distribución en porcentaje de los individuos recolectados en los sistemas orgánico y convencional. ....	30
Figura 4. Porcentaje de Nematodos por gremio en las fincas orgánicas. ....	30
Figura 5. Porcentaje de Nematodos por gremio en las fincas convencionales. ....	31
Figura 6. Valores de los números de Hill para las fincas orgánicas y convencionales.....	32
Figura 7. Biplot del análisis de correspondencias canónica entre las fincas convencionales y orgánicas. ....	33
Figura 8. Poblaciones de colonizadores-persistentes (c-p) en cafetal.....	35

## INDICE DE ANEXOS

<b>Contenido</b>	<b>#pág</b>
A-1.Fórmulas para determinación de textura de suelo .....	49
Figura A-2. Clasificación de los nematodos según su estructura bucal.....	49
Figura A-3. Fotomicrografías de la región anterior en las que se muestra el aparato bucal de nematodos de suelo pertenecientes a diferentes grupos funcionales: .....	50
Figura A-4. Muestreo .....	50
Figura A-5 Diagrama textural para la muestra de suelo .....	51
Figura A-6: Extracción de nematodos con método centrifugación – flotación.....	52
Figura A-7. Identificación y conteo de Nematodos .....	53
Cuadro A-8 Nematodos colectados en Fincas Orgánicas y Convencionales .....	54
Cuadro A-9. Parámetros de textura del suelo de las fincas orgánicas y convencionales. 55	
Cuadro A-10. Clasificación de la porosidad del suelo. ....	55
CuadroA-11. Valor cp para Índice de Madurez .....	55

## 1. INTRODUCCIÓN

El café se introdujo a El Salvador entre 1800 y 1815. Se empezó a cultivar en las tierras altas de los sistemas montañosos salvadoreños, bajo sombra de árboles de bosque natural con café 100% arábica. Cerca del 68% está sembrado con cafetos de la variedad Bourbon, el 29% con Pacas y el 3% restante con variedades como el Pacamara, el Caturra, Catuai, Catic y el Pacamara, un híbrido obtenido en El Salvador resultado del cruce de la variedad Pacas y Maragogipe Rojo, El cultivo de café en se encuentra distribuido en pequeñas áreas por todo el país actualmente se estima que el cultivo del café en el país ocupa una superficie de 13,720 ha, localizadas, por lo general, en zonas de pendiente muy pronunciada y alta susceptibilidad a la erosión, por lo que los bosques cafetaleros se han convertido en una excelente herramienta para preservar los ecosistemas en el país. Estos bosques se encuentran en diferentes zonas del territorio salvadoreño, erigiéndose como importantes zonas de desarrollo para las comunidades que viven a su alrededor: Sierra Alotepec – Metapán, Sierra Apaneca – Ilamatepec, Cordillera del Bálsamo – Quezaltepec, Volcán Chinchontepec, Cordillera Tecapa – Chinameca y Cordillera Cacahuatique (CSC 2013).

El suelo es un sistema vivo donde existe un equilibrio dinámico entre los organismos que lo habitan. Sin embargo con la simplificación de los sistemas, la mesofauna del suelo se ha visto afectada a medida que los sistemas de producción han ido cambiando. En la actualidad los sistemas de producción agrícolas industriales afectan algunos aspectos del agroecosistema como fertilidad del suelo, humedad disponible, reciclaje de nutrientes, la diversidad genética y los servicios de los ecosistemas naturales (Gliessman 2015). La modificación de algunas características del suelo afectan también la composición de la mesofauna, ocasionando un desbalance en las poblaciones de los microorganismos y esto lleva a un aumento de los microorganismos fitopatógenos.

Por el contrario sistemas de producción más limpios y menos dependientes de los productos químicos, como son los sistemas de producción bajo un modelo agroecológico u orgánico, buscan crear un balance en las poblaciones de microorganismos en el suelo, como lo era en el sistema natural. La agroecología es una propuesta que une los conocimientos tradicionales de agricultores, campesinos e indígenas de todo el mundo, para proponer formas sostenibles de gestión de los recursos naturales. Propone formas de desarrollo rural sostenible, el fortalecimiento de las redes sociales y económicas locales (no sólo agrarias), los mercados locales y un manejo integrado de agricultura, ganadería y silvicultura. Por otro

lado, desarrolla técnicas de manejo agrario basadas en la recuperación de la fertilidad de los suelos, el policultivo y las variedades y razas agrarias locales; y en general en un diseño de las fincas basado en la mayor diversidad posible de usos y en la eficiencia en el uso de los recursos locales (López *et al.* 2010).

Los procesos de deterioro y rehabilitación de los suelos agrícolas pueden ser estudiados a través de la composición de comunidades sensibles a las perturbaciones naturales o antrópicas. Estas perturbaciones provocan cambios en la composición y abundancia de especies, que con llevan a la disminución de la estabilidad de los procesos ecológicos dentro de los cuales se incluyen la fertilidad del suelo. Por esta razón los organismos del suelo se consideran como un buen indicador biológico de la salud del suelo. La riqueza de especies, la densidad de individuos y el balance de sus grupos taxonómicos y funcionales, permiten predecir y evaluar las transformaciones ocasionadas por la aplicación de diferentes métodos de producción agrícola en condiciones edafoclimáticas específicas, así como considerar integralmente el funcionamiento del ecosistema (Socarrás 2013).

En la presente investigación se evaluaron las comunidades de nematodos presentes en dos fincas con sistemas de cafetal manejado de forma orgánica y dos con cafetal convencional, determinando la biodiversidad, por medio de la abundancia y riqueza de especies presentes en los sistemas; además de evaluar qué factores físico químicos del suelo influyen en las comunidades de nematodos. Con el objetivo principal de caracterizar las comunidades de nematodos edáficos en los sistemas de producción de café orgánico y convencional, lo que permitió establecer las bases para el desarrollo y comparación de indicadores de calidad de suelo entre los sistemas de producción.

## **2. REVISION BIBLIOGRAFICA**

### **2.1 Agroecología**

La agroecología utiliza conceptos y principios ecológicos para el diseño y manejo de agroecosistemas sostenibles, centrada no sólo en la producción sino también en la sostenibilidad ecológica del sistema de producción, donde los insumos externos se sustituyen por procesos naturales como la fertilidad natural del suelo y el control biológico (Altieri y Nicholls 2009).

### **2.2 Principios de la agroecología**

Los principios agroecológicos para el diseño de sistemas agrícolas biodiversos, flexibles, eficientes en el uso de la energía y conservadores de recursos son:

Aumentar el reciclaje de biomasa, con miras a optimizar la descomposición de materia orgánica y el ciclo de nutrientes a través del tiempo.

Proveer las condiciones de suelo más favorables para el crecimiento vegetal, en particular mediante el manejo de la materia orgánica y el mejoramiento de la actividad biológica del suelo.

Fortalecer el “sistema inmunológico” de los sistemas agrícolas mejorando la diversidad funcional (los enemigos naturales antagonistas, etc.)

Minimizar las pérdidas de energía, agua, nutrientes y recursos genéticos, mejorando la conservación y regeneración de suelos, recursos hídricos y la diversidad biológica agrícola.

Diversificar las especies y los recursos genéticos en el agroecosistema en el tiempo y en el espacio a nivel de campo y del paisaje.

Aumentar las interacciones biológicas y las sinergias entre los componentes de la diversidad agrícola, promoviendo procesos y servicios ecológicos claves (Altieri y Nicholls 2012).

### **2.3 Agroecología y biodiversidad**

La agroecología provee las bases ecológicas para la conservación de la biodiversidad en la agricultura, además del rol que ella puede jugar en el restablecimiento del balance ecológico de los agroecosistemas, de manera de alcanzar una producción sustentable. La biodiversidad promueve una variedad de procesos de renovación y servicios ecológicos en los agroecosistemas; cuando estos se pierden, los costos pueden ser significativos. En esencia, el comportamiento óptimo de los sistemas de producción agrícola depende del nivel de interacciones entre sus varios componentes (Altieri y Nicholls 2000).

Actualmente el significado y la importancia de la biodiversidad no está en duda y se han desarrollado diversos métodos para evaluarlos como bioindicador del estado de los sistemas

ecológicos, con aplicabilidad práctica para fines de conservación, manejo y monitoreo ambiental (Spellerberg, 1991). La evaluación e interpretación de la abundancia y función de la estructura de la comunidad de nematodos del suelo ofrecen una medida in situ de los factores disruptivos de la dinámica del suelo; como resultado hay mucho interés en la comunidad de nemátodos del suelo como un indicador de la calidad del suelo, biodiversidad, perturbación, complejidad de un ecosistema o productividad o sostenibilidad agrícola (McSorley y Frederick 1996).

## **2.4 Los Agroecosistemas**

Los agroecosistemas son ecosistemas en los que el ser humano ha ejercido una intencionada selectividad sobre la composición de los organismos vivos. Los agroecosistemas contienen poblaciones humanas y dimensiones tanto económicas como ecológicas ambientales y se diferencian de los ecosistemas no gestionados en que están alterados intencionadamente, y a menudo manejados intensivamente, con el fin de proporcionar alimentos, fibra y otros productos (FAO 2012).

## **2.5 Agroecosistema cafetal**

La diversificación es una de las principales herramientas con que cuenta la agroecología, tiene una magnitud económica y social en los sistemas agroecológicos al disminuir los riesgos, incrementado los productos para la comercialización y permitir la suficiencia alimentaria. Las condiciones ambientales particulares en que se desarrolla la caficultura orgánica, confieren al cultivo de una “sostenibilidad ambiental ya que estos ayudan a la conservación y protección de la biodiversidad y ofrecen múltiples servicios ambientales, entre los que destacan la captura de carbono. El café se asemeja al ecosistema natural y se puede asociar con diversidad de plantas, de tal manera que las especies que se manejen como sombríos transitorios, sean muy productivas y generen ingresos al productor especialmente, ya que su funcionalidad comprende la etapa improductiva del cultivo, es decir en los dos primeros años de cultivo, ya que no percibe ingresos de la plantación de café (Alulima 2012).

## **2.6 Manejo del Cultivo de Café**

Poda en café: luego de un número de cosechas variable, la planta entra en un agotamiento productivo que requiere del inicio de la poda. Regulación de sombra: regula el microclima, el cafeto es una planta sensible a los cambios bruscos de temperatura, reduce la radiación, mejora el balance hídrico y aumenta la humedad relativa dentro del cafetal, mejora la fertilidad del suelo mediante el aporte de materia orgánica y el reciclaje de elementos;

cuando se usan árboles de la familia de las leguminosas aumenta el aporte de nitrógeno al suelo. Control de malezas: busca bajar la competencia hacia el cultivo, sin caer en los extremos de suelos completamente limpios, expuestos a la erosión, pero tampoco que el nivel de malezas afecte negativamente el cultivo. Control de broca y roya del café. Fertilización: elegir la fórmula completa de acuerdo al análisis de suelo; o en su defecto en función de la fertilidad general de los suelos de la región. Para todas las regiones las fórmulas completas no deberían poseer menos de 15% de Nitrógeno (N) y 0,33% de Boro (B). Esta se debe aplicar en función de la producción esperada (CSC 2013).

Muchos agricultores realizan la conversión del sistema de café convencional de monocultivo, manejado con insumos sintéticos a sistemas más diversificados, que incluyen árboles de sombra, con el objetivo de lograr una producción de calidad, estable en el tiempo y menos dependiente de insumos externos, lo cual reduce los costos de producción y favorece la conservación de los recursos naturales de la finca, tales como suelo, agua y biodiversidad (Altieri y Nicholls 2002).

Los arbustos de café requieren de ciertas condiciones ambientales y ecológicas para manifestar su potencial genético en términos de su desarrollo, crecimiento y fructificación. Esas condiciones se consiguen estableciendo cafetales en los lugares más apropiados. No todos los cafetales están localizados en áreas ecológicas adecuadas, por lo que establecer esas condiciones es favorable tanto para la producción de café como para el ambiente. Por ejemplo, para las variedades arábicas, la temperatura óptima de crecimiento es entre 60° y 65° F. La temperatura en la zona cafetalera es de entre 55° a 85° F. Con éstas condiciones el cafeto crece bien, desarrollando ramas y hojas, vigorosas y saludables. Una de las formas de mantener esas temperaturas es mediante el manejo de la sombra (NRCS 2012).

Otra condición para mantener plantaciones de café saludables es la humedad, tanto la precipitación pluvial como la humedad relativa. El cafeto necesita entre 70 y 100 pulgadas de lluvia anuales y una humedad relativa de entre 70 y 85%. Los árboles para sombra ayudan a reducir la evapotranspiración potencial al modificar la iluminación solar. La cantidad de luz en cafetales a sombra puede modificarse mediante la poda de los árboles para sombra (NRCS 2012).

El trasfondo sociológico de la agricultura orgánica es el de vivir en armonía con la naturaleza, producir alimentos sanos y económicamente sostenibles. Para unos es sólo una ideología,

para otros es un estilo de vida o una alternativa de producción que generará mejores dividendos (Altieri y Nicholls 2002).

El suelo es la capa superficial de la tierra, que se mezcla con los organismos vivos y los productos de sus actividades metabólicas y la descomposición (Gliessman 2015), es un recurso finito, lo que implica que su pérdida y degradación no son reversibles en el curso de una vida humana, siendo la base para la producción de alimentos, combustibles y fibras y para muchos servicios ecosistémicos esenciales. La superficie natural de suelos productivos es limitada y se encuentra sometida a una creciente presión debido a la intensificación y el uso competitivo para satisfacer la demanda de producción de alimentos, energía y extracción de materias primas de la creciente población (FAO 2015).

Los elementos químicos que componen el suelo: minerales primarios, óxidos y sales no combinados, materia orgánica, minerales secundarios, a estos componentes químicos se pueden añadir el agua y los microorganismos (Hart 1985).

## **2.7 Calidad del suelo**

Es la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, sostener la productividad de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, y sostener la salud humana y el hábitat (Cruz *et al.* 2004). La medición de la calidad del suelo es un ejercicio de identificación de las propiedades del suelo que son sensibles al manejo, afectan o se correlacionan con los resultados ambientales, y son capaces de ser medidos con precisión dentro de ciertas limitaciones técnicas y económicas (FAO 2012).

El interés en la evaluación de la calidad y la salud del recurso suelo ha sido estimulado por el aumento de la conciencia de que el suelo es un componente de importancia crítica de la biosfera de la tierra, el funcionamiento no sólo en la producción de alimentos y fibras, sino también en el mantenimiento del local, regional, y la calidad del medio ambiente mundial (Glanz 1995).

Johnson *et al.* (1997) define "la calidad del suelo como "una medida de la condición del suelo en relación con los requisitos de una o más especies biológicas y / o a cualquier propósito humano".

El término "calidad del suelo" es preferido por algunos, ya que retrata la tierra como un sistema vivo, dinámico, cuyas funciones están mediadas por la diversidad de los seres vivos

que requieren manejo y conservación. A lo que respecta a la calidad del suelo, la biodiversidad y la capacidad de recuperación del suelo son muy limitadas en ambientes extremos y son más sensibles a las perturbaciones antrópicas (Freckman & Virginia, 1997).

De manera que la calidad del suelo se conceptualiza como el principal vínculo entre las estrategias para la conservación de las prácticas de gestión agrícola y el logro de los objetivos principales de la agricultura sostenible (Parr et al., 1992) & (Acton & Gregorich, 1995). En resumen, la evaluación de la calidad del suelo o la salud, y dirección del cambio con el tiempo, es el principal indicador de la gestión sostenible de la tierra (Karlen *et al.* 1997).

Existen métodos agroecológicos rápidos para la evaluación de la sostenibilidad de cafetales, en la cual se estima la calidad del suelo y la salud de un cultivo utilizando indicadores sencillos para emplear (Altieri y Nicholls 2002).

## **2.8 Indicadores de la calidad del suelo**

Los indicadores de la calidad de suelo se conciben como una herramienta de medición que debe ofrecer información sobre las propiedades, los procesos y las características. Estos se miden para dar seguimiento a los efectos del manejo sobre el funcionamiento del suelo en un periodo dado (Astier *et al.* 2002). Los indicadores de la calidad del suelo pueden ser las propiedades físicas, químicas y biológicas, o los procesos que ocurren en él.

Los indicadores deberían permitir:

1. Analizar la situación actual e identificar los puntos críticos con respecto al desarrollo sostenible.
2. Analizar los posibles impactos antes de una intervención.
3. Monitorear el impacto de las intervenciones antrópicas.
4. Ayudar a determinar si el uso del recurso es sostenible.

El uso de indicadores de la calidad del suelo puede ser una herramienta rápida para la toma de decisiones, ya que estos son sensibles al manejo en el corto, mediano y largo plazos, en dependencia de la propiedad del suelo que se evalúe (García *et al.* 2012).

### **2.8.1 Indicadores físicos**

Las características físicas del suelo son una parte necesaria en la evaluación de la calidad de este recurso, ya que no se pueden mejorar fácilmente. Las propiedades físicas que pueden ser utilizadas como indicadores de la calidad del suelo son aquellas que reflejan la manera en que este recurso acepta, retiene y transmite agua a las plantas, así como las

limitaciones que se pueden encontrar en el crecimiento de las raíces, la emergencia de las plántulas, la infiltración o el movimiento del agua dentro del perfil del suelo y que además estén relacionadas con el arreglo de las partículas y los poros (Cruz *et al.* 2004). La estructura, la densidad aparente, la estabilidad de los agregados, la infiltración, la profundidad del suelo superficial, son las características físicas del suelo que se han propuesto como indicadores de su calidad.

### **2.8.2 Indicadores químicos**

Los indicadores químicos se refieren a las condiciones de este tipo que afectan las relaciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo, y la disponibilidad de agua y nutrimentos para las plantas y los microorganismos. Entre ellos se encuentran la disponibilidad de nutrimentos, el pH, la conductividad eléctrica, la capacidad de absorción de fosfatos, los cambios en la materia orgánica, el nitrógeno total y el nitrógeno mineralizable (Cruz *et al.* 2004).

### **2.8.3 Indicadores biológicos**

Los indicadores biológicos propuestos integran gran cantidad de factores que afectan la calidad del suelo como la abundancia y subproductos de micro, mesoorganismos y macroorganismos, incluidos bacterias, hongos, nemátodos, anélidos y artrópodos. Los cambios temporales en las propiedades del suelo constituyen indicadores de su funcionamiento y del manejo a que es sometido. Sin embargo, debe considerarse que, aunque para su mejor comprensión se estudien independientemente una de otra, entre todas ellas existe una estrecha interrelación y dependencia, que hace que de la interpretación de alguna se pueda inferir el comportamiento de otras (García *et al.* 2012).

#### **2.8.3.1 Factores que contribuyen al número y tipo de microorganismos en el suelo**

Composición del suelo (cantidad y tipo de nutrientes).

Características físicas y propiedades del suelo (grado de aireación, humedad, temperatura y pH).

La materia orgánica.

Organismos del suelo.

Tipo de plantas en el suelo (el sistema de raíces influye en el número y tipo de organismos presentes) (García 2010).

## **2.9 Nematodos del suelo**

Los nematodos del suelo son pequeños invertebrados dependientes del agua, los cuales se consideran uno de los grupos de organismos más abundantes y más diversos en el planeta. Debido a su gran capacidad de adaptación, los nematodos están presentes en cualquier lugar donde exista carbono orgánico, en todas las latitudes del planeta y desde fondo del mar hasta la cima de las montañas. La palabra nematodo deriva del griego “nema” que significa “forma de un hilo”, ya que poseen un cuerpo alargado y cilíndrico. Derivado de su evolución, los nematodos se adaptaron a la exploración de una amplia variedad de fuentes de alimento. De esta manera, los nematodos parásitos tienen la capacidad de colonizar y alimentarse de tejidos de plantas y animales, mientras que las formas de vida libre se alimentan de microorganismos (bacterias y hongos), protozoarios, algas, otros nematodos y microinvertebrados. (Moreira *et al.* 2012)

## **2.10 Importancia ecología de nematodos edáficos**

Los nematodos edáficos constituyen un grupo de invertebrados de elevada importancia ecológica y económica que presentan atributos que les convierte en valiosas herramientas como indicadores biológicos y ecológicos, ya que presentan una distribución diferencial en los suelos según su grado de conservación, siendo especialmente sensibles a las prácticas de manejo agrícola y a los contaminantes ambientales, también puede proporcionar géneros o especies que sean especialmente sensibles o tolerantes a impactos específicos de determinadas prácticas agrícolas, por lo que pueden ser utilizados como biomonitores de determinados usos del suelo (Acuña *et al.* 2006).

Además de estos beneficios para el ecosistema, también participan en importantes servicios del agroecosistema al fungir como agentes de control biológico de plagas de insectos; tal es el caso de los nematodos entomofílicos *Deladenus siricidicola* o los entomopatógenos *Steinernema carpocapsae* y *Heterorhabditis bacteriophora*. Su omnipresencia y abundancia en todo tipo de suelos y hábitats acuáticos, así como su ciclo de vida corto y sensibilidad ante alteraciones ambientales, los califican como poderosos bioindicadores de condiciones ecológicas (Huang y Cares 2006).

## **2.11 Caracterización de poblaciones de nematodos**

Los nematodos se alimentan de una amplia gama de organismos; por ende son agrupados con respecto a sus hábitos alimenticios. Yeates *et al.* citado por Moreira *et al.* 2012, “acepta los siguientes grupos: fitoparásitos, fungívoros, bacterívoros, depredadores y omnívoros; aunque la identificación de estos organismos requiere de intenso entrenamiento, en la

mayoría de los casos la identificación de los diferentes grupos funcionales puede lograrse en base a la morfología de su aparato bucal (Figura A1).

En el caso de nematodos parásitos de plantas, el aparato bucal incluye un estilete tipo aguja (Figura A2a), mediante el cual puede causar pérdidas significativas en varios cultivos. Los fungívoros, equipados en su mayoría con un estilete pequeño y delicado (Figura A2b), se alimentan de las hifas de hongos saprofitos, patogénicos, benéficos y micorrízicos; algunos nematodos fungívoros pueden comportarse como parásitos facultativos de plantas. Los nematodos bacterívoros, mismos que carecen de estilete (Figura A2c), pueden regular el nitrógeno y el fósforo disponible para las plantas, influir en la nodulación por parte de bacterias tipo *Rhizobium*, así como alimentarse y diseminar bacterias benéficas y fitopatógenas. Los nematodos bacterívoros pueden incrementar su población ante cualquier perturbación del suelo o bien, bajo condiciones de enriquecimiento de nutrientes, una condición que puede interpretarse como indicador de la fertilidad del suelo (Ferris citado por Moreira *et al.* 2012). Los nematodos depredadores tienen la cavidad bucal equipada con una o más estructuras en forma de dientes (Figura A2d), o en algunos casos, poseen un estilete que les permite alimentarse de otros nematodos, microinvertebrados y protozoarios; en algunos casos, pueden alimentarse de bacterias y esporas de hongos. Los omnívoros tienen la cavidad bucal armada con un estilete hueco (Figura A2e); son polívoros, con la capacidad de alimentarse de cualquier fuente, por lo que pueden fungir como fungívoros, bacterívoros, herbívoros y también como depredadores al alimentarse de otros nematodos (Moreira *et al.* 2012).

## **2.12 Los nematodos en café**

Los nematodos pueden ser nativos, originalmente presentes en bosques, pastos, u otros cultivos, y que luego se adaptaron y especializaron sobre el café, manteniendo la capacidad de parasitar raíces de otras plantas (malezas, arbustos, árboles). También podrían ser introducidos por medio de material infestado, sea suelo destinado a sustrato, almácigo de café o almácigo de diversos cultivos, proveniente de otras fincas y regiones. El agua de escorrentía conteniendo partículas de suelo contaminado, puede igualmente redistribuirlos entre los cafetales. En fin, a partir de la presencia diagnosticada de nematodos en campo, debemos considerarla como una plaga perenne y establecer una estrategia de convivencia. Alvarado señala la presencia de nematodos en cafetales desde 1935. Las observaciones sobre la resistencia de la variedad Robusta (*C. canephora*) a los nematodos condujeron al desarrollo del Injerto a variedades resistentes que continúa siendo la base del control, pero

que necesita ser completado con otras prácticas como el tratamiento preventivo en semilleros y almácigo, y el adecuado manejo del cultivo en campo (sombra, podas, nutrición balanceada, entre otros). Los Robustas tienen mecanismos de defensa que limitan la multiplicación de los nematodos de manera variable, pero no son inmunes (Anacafé 2016).

### **2.13 Biodiversidad**

De acuerdo con el PNUMA citado por Aristizábal (2010) la biodiversidad se define como la variabilidad que existe entre organismos de todos los sustratos (terrestres, marinos y otros sistemas acuáticos) y el complejo ecológico del cual ellos forman parte. El concepto incluye la diversidad dentro de las especies (genética) entre especies (riqueza de especies), ecológica (comunidades) y de ecosistemas (interacciones biótico –abiótico).

La diversidad ecológica se refiere entonces a la riqueza de la comunidad y las abundancias relativas (equidad) de las especies. La diversidad es frecuentemente utilizada como un importante indicador del funcionamiento del ecosistema, dado que la riqueza de especies es sensible a las condiciones físicas de los ecosistemas, la heterogeneidad de hábitats y otros factores basados en interacciones bióticas (Ricklefs y Miller 1999).

### **2.14 Importancia de la biodiversidad**

Los diferentes elementos que componen la biodiversidad conforman verdaderas unidades funcionales, que aportan y aseguran muchos de los servicios básicos para nuestra supervivencia. Una mayor biodiversidad permite a un ecosistema resistir mejor a los cambios ambientales mayores, haciéndolo menos vulnerable, los elementos que constituyen la diversidad biológica de un área son los reguladores naturales de los flujos de energía y materia en el ecosistema; la mayoría de las personas ve la biodiversidad como un depósito de recursos útil para la fabricación de alimentos, productos farmacéuticos, fibras textiles y cosméticos. La mayoría de las especies tiene que ser evaluada aún por la importancia económica y ecológica actual y futura. Sin embargo, debemos ser conscientes de que aún nos falta mucho para saber valorar, no sólo lo económico, si no más aún el valor que tiene para los ecosistemas y ese valor o precio no lo podemos ni siquiera imaginar.

La biodiversidad es importante porque cada especie puede dar una pista a los científicos sobre la evolución de la vida. Además, la biodiversidad ayuda a la ciencia a entender cómo funciona el proceso vital y el papel que cada especie tiene en el ecosistema. (Aristizábal 2010)

## **2.15 Medición de la biodiversidad**

Los estudios sobre medición de biodiversidad se han centrado en la búsqueda de parámetros para caracterizarla como una propiedad de las comunidades ecológicas.

Según Marragun, citado por Hernán Aristizábal (2010) la diversidad es un concepto que no es fácilmente definible, ya que no se compone de un solo elemento, sino de dos: La variación y la abundancia relativa de las especies.

### **2.15.1 Diversidad Alfa.**

La diversidad alfa es la riqueza de especies de una comunidad particular a la que consideramos homogénea y es la que posee más índices y métodos de medición desarrollados. Se suele distinguir entre los métodos que miden el número de especies existentes (riqueza específica) y los que miden la abundancia relativa de los individuos de cada especie (estructura) (Sonco 2013).

Los índices de diversidad alfa, se pueden agrupar en tres categorías: Los índices de riqueza de especies, que miden básicamente el número de especies en una unidad muestral, los modelos de acumulación de especies, los cuales describen la distribución de su abundancia y por último, los índices basados en la abundancia proporcional de las especies (Aristizábal 2010).

#### **2.15.1.1 Índices de riqueza**

Entre los índices de riqueza se encuentran desde la simple cantidad de especies presentes en la muestra, el índice de Margalef y el de Menhinik. El de primero fluctúa entre cero y teóricamente 10. Valores excepcionalmente altos se encuentran entre 6 y 9. El segundo entre 0 y 5. Valores mayores de 3 son muy raros. (Aristizábal 2010)

#### **2.15.1.2 Índices de diversidad**

Tienen en cuenta la riqueza de especies y la proporción entre las mismas. Entre los más utilizados se encuentran Brillouin y Shannon. Para el primero, valores superiores a 3 son excepcionales. Para el segundo no suelen superar 2,5 (Aristizábal 2010).

#### **2.15.1.3 Números de Hill**

Serie de Hill: Es una medida del número de especies cuando cada una es ponderada por su abundancia relativa, a medida que aumenta el número de especies, las más raras se vuelven menos importantes. Es una serie de números que permiten calcular el número efectivo de especies en una muestra, es decir, una media ponderada por su abundancia relativa (Segnini 1995).

#### **2.15.1.4 Abundancia proporcional de especies**

Los índices basados en la abundancia proporcional de las especies toman en cuenta el valor de importancia de cada especie, e índices de heterogeneidad, aquellos que además del valor de importancia de cada especie consideran también el número total de especies en la comunidad. Sin embargo, cualquiera de estos índices enfatiza ya sea el grado de dominancia o la equidad de la comunidad, por lo que para fines prácticos resulta mejor clasificarlos en índices de dominancia e índices de equidad (Aristizábal 2010).

#### **2.15.1.5 Índices de equidad**

El índice de equidad de Shannon – Wiener expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra. El índice de equidad de Pielou mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada. Su valor va de 0 a 1, de forma que 1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes (Aristizábal 2010).

#### **2.15.1.6 Índices de dominancia**

Los índices basados en la dominancia son parámetros inversos al concepto de uniformidad o equidad de la comunidad. Toman en cuenta la representatividad de las especies con mayor valor de importancia sin evaluar la contribución del resto de las especies. Entre éstos se encuentran el de Simpson, el cual manifiesta la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie. También es de uso común en de Menhinick. Ambos fluctúan entre cero y uno (Aristizábal 2010).

#### **2.15.1.7 Modelos de acumulación de especies**

La serie geométrica: que se basa en la hipótesis de nicho preferencial, en la cual, la especie dominante se apropia de una proporción  $k$  de algún recurso limitante por derecho de prioridad, la segunda especie más dominante se apropia de la misma proporción  $k$  del resto del recurso y así sucesivamente, hasta que todas las especies se hayan acomodado. Los datos de campo han indicado que este patrón se puede observar básicamente en estadios tempranos de sucesión o en ambientes pobres en cuanto a número de especies. La serie logarítmica: caracteriza muestras de comunidades pequeñas, bajo estrés o pioneras (Aristizábal 2010).

La serie normal logarítmica: Predice un número pequeño de especies abundantes y una gran proporción de especies raras por lo que, al igual que la serie geométrica, es aplicable cuando uno o unos pocos factores dominan la ecología de la comunidad, para comunidades más

maduras. El modelo de vara quebrada: es la expresión biológica de una distribución uniforme, el cual evidencia que un importante factor ecológico es compartido en forma más o menos uniforme entre las especies (Aristizábal 2010).

### **2.15.2 Diversidad beta**

Se han propuesto una variedad de definiciones y conceptos asociados con la diversidad beta, muchos de estos se traslapan. Por ejemplo, según la definición de Sugg, citado por Sonco (2013) la diversidad beta es el recambio de especies en una región heterogénea.

Para MARN citado por Sonco (2013) la diversidad beta es una medida de recambio de especies entre diferentes tipos de comunidades o hábitats, como tal corresponde a la contigüidad espacial de diferentes comunidades o hábitats.

Por lo que se puede definir la diversidad beta como el grado de cambio o reemplazo en la composición de especies entre diferentes comunidades en un paisaje. Por tanto, su medición se basa en proporciones o diferencias. Existen índices de similitud, de disimilitud o distancia, de reemplazo de especies y complementariedad (Sonco 2013).

### **2.16 Índice de Madurez**

La primera base sólida que afianzó la ecología de nematodos como disciplina independiente de la fitopatología la estableció Tom Bongers en 1990, cuando clasificó todas las familias de nematodos terrestres y acuáticos en la escala colonizador-persistente (cp) (Bongers 1990), una escala discreta de cinco grupos por la que las familias de nematodos se clasifican en función de las características de su ciclo de vida. Basados en la escala cp, se desarrollaron los índices de madurez (Bongers 1990; Bongers y Ferris 1999), indicadores del estado sucesional, y por lo tanto de conservación del suelo. El índice de Madurez (MI) tiene en cuenta la contribución promediada de cada uno de los grupos cp a la comunidad de nematodos, de forma que suelos con mayores valores del MI presentan mayores contribuciones de los nematodos más sensibles a las perturbaciones, consiguiendo así un indicador del estado de sucesión ecológica. Mientras que el MI tiene en cuenta los nematodos de vida libre, el Índice de Parásitos de Plantas (PPI) (Bongers 1990) considera exclusivamente los nematodos herbívoros y fitoparásitos. Seguidamente Yeates, citado por Sánchez *et al.* 2013 propuso el  $\Sigma$ MI, que incluye tanto los nematodos de vida libre como los fitoparásitos.

En cualquiera de los casos, como la sucesión ecológica de la comunidad de nematodos se ve interrumpida constantemente por las prácticas agrícolas, el estado sucesional de una comunidad puede reflejar el estado de alteración del suelo. Los índices de madurez

responden también de forma precisa a procesos no agrícolas, como a la contaminación del suelo por cobre o a la acidificación (Yeates y Bongers citados por Sánchez *et al.* 2013).

El cálculo de los índices se basa en los “grupos funcionales” o escala “c-p”, de los nematodos dependiendo de los hábitos alimenticios y su estrategia de vida. La escala c-p cataloga a los nematodos en cinco grupos de consumidores de microorganismos, los que tienen un ciclo de vida corto y alta reproducción (cp1 y cp2) y los que tienen un ciclo de vida largo y baja reproducción (cp4 y cp5). Los nematodos que pertenecen al cp1 y cp2 son llamados colonizadores, oportunistas de ambientes enriquecidos y por lo tanto indican disponibilidad de nutrientes, con capacidad de sobrevivencia y colonizar bajo condiciones extremas, son menos sensibles a la contaminación u otras alteraciones del suelo que los nematodos que pertenecen a los cp4 y cp5, estos son llamados persistentes son de mayor tamaño, pocos en el hábitat, no pueden sobrevivir bajo condiciones extremas e indican estabilidad del ecosistema y redes tróficas complejas (García 2012).

Escalas c-p según Bongers citado por Sánchez *et al.* (2013):

**cp-1:** Ciclo de vida corto, huevos pequeños, principalmente bacteriívoros, comúnmente se alimentan de medios enriquecidos, subsisten fácilmente a disturbios en el suelo.

**cp-2:** Ciclo de vida Largo y fecundidad más baja que el cp-1, muy tolerantes a condiciones adversas y pueden ser criptibióticos, son principalmente bacteriívoros y fungívoros.

**cp-3:** Ciclos de vida más largos, más sensibles a condiciones adversas, fungívoros, bacteriívoros y carnívoros.

**cp-4:** Ciclo de vida largo y fecundidad baja, más sensibles a disturbios, pequeñas especies de omnívoros.

**cp-5:** Ciclo de vida más largo, talla de cuerpo muy grande, tasa de fertilidad más baja, mucho más sensibles a disturbios. Predominantemente carnívoros y omnívoros.

### **3. MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1 Localización**

El estudio se realizó en fincas pertenecientes a la cooperativa Las Marías 93 de R.L. dedicada a la producción de café con manejo orgánico y en fincas de café con manejo de forma convencional, aledañas a la zona de estudio. Las fincas se encuentran ubicadas en el municipio de Jucuapa, departamento de Usulután y Chinameca departamento de San Miguel, El Salvador. Se localizan a una altura entre 559 a 938 m.s.n.m y en la latitud 13°28'13.62" N y una longitud 88124'17.72 WO, con temperatura promedio de 23.4°C y

humedad relativa promedio de 73.8%, con una precipitación acumulada de 2,173.3 mm anuales (MARN 2014).

En la zona de estudio aflora la formación geológica San Salvador, del periodo Holoceno. Perteneciente al miembro s3'a, con litología Piroclastitas ácidas y epiclastitas (tobas color café), suelos de clase VIII. Esta Formación se encuentra en toda la cadena volcánica joven que atraviesa la parte Sur del país. Está compuesta por productos extrusivos volcánicos: corrientes de lava, cúpulas de lava, tobas fundidas, tobas, pómez, escoria y cenizas volcánicas, en los que a veces se encuentran intercalaciones de sedimentos lacustres. También se encuentran suelos fósiles color café y negro de acuerdo con el mapa geológico de El Salvador escala 1:100.000 (Bosse *et al.* 1978).

Las clases de suelo correspondiente a los cantones Tapesquillo bajo y Jocote Dulce son: Santa Ana Accidentado en montaña (Sac) pertenecientes a suelos Pardo Forestales Latosolicos y Regosoles. Áreas en faldas fuertemente diseccionadas en la zona intermedia de montañas y volcanes. Las pendientes son fuertes fluctuando la mayoría de ellos entre los 20% y 50%. Las capas inferiores son de ceniza y pómez volcánicas. Tienen un drenaje externo durante la época seca y un porcentaje de humedad adecuado (Denys 1956).

El proceso de investigación se desarrolló en cuatro fases, estas son:

## **3.2 Fase preliminar**

### **3.2.1 Reunión con directivos de la cooperativa**

Se realizó una reunión en la cooperativa Las Marías 93 de R.L. con el presidente y algunos miembros, con el propósito de plantear los objetivos y lineamientos de la investigación a realizar.

### **3.2.2 Reconocimiento de parcelas**

Se realizó una visita durante el mes de Octubre del 2015 para conocer las parcelas manejadas de forma orgánica y convencional y delimitar las áreas de estudio.

El reconocimiento de las parcelas se hizo mediante un transecto, identificando las variedades de cafeto, edad, apariencia, distanciamiento de siembra, arboles de sombra y manejo del cafetal entre otros aspectos.

### 3.3 Fase de campo

#### 3.3.1 Delimitación de parcelas

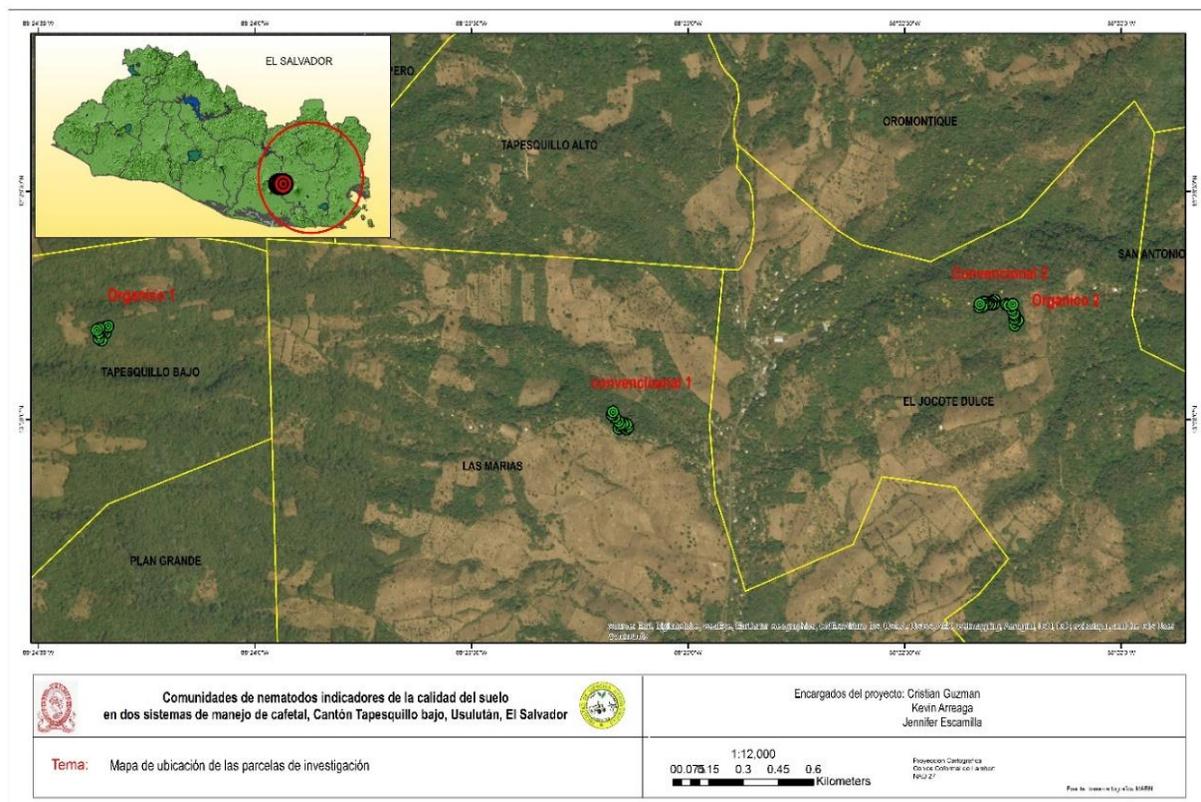
Las parcelas orgánico 1, orgánico 2 y convencional 1 poseen un área total de 2.7 mz, mientras que la convencional 2 un área de 1 mz, de las cuales se delimitó un área de muestreo de 1 mz aproximadamente evitando los linderos.

#### 3.3.2 Georeferenciación de parcelas

Cada parcela fue referenciada geográficamente con GPS con un sistema de coordenadas WGS 84 (Cuadro 1), para elaborar un mapa de ubicación de cada una de las parcelas (Figura 1).

**Cuadro 1. Información geográfica de las parcelas de los sistemas orgánico y convencional.**

Sistema	X latitud	Y longitud	Altitud (m.s.n.m)
Orgánico 1	-88.406317	13.470073	938
Orgánico 2	-88.370760	13.470481	687
Convencional 1	-88.386014	13.466340	559
Convencional 2	-88.371569	13.470895	674



**Figura 1. Ubicación geográfica de las unidades de muestreo**

### **3.3.3 Muestreo de suelo para fertilidad física y química**

Se recolectó una muestra por cada finca orgánica y convencional, para determinar densidad, textura y fertilidad química

#### **3.3.3.1 Toma de muestras de suelo para determinación de densidad y textura**

Se tomaron 10 muestras de cada finca, la cual se realizó con el método del cilindro de volumen conocido, se introdujo el cilindro con la ayuda de una tabla de madera que se golpeó suavemente con un martillo hasta que el cilindro penetrara en el suelo completamente (Figura A-4). Con una pala se excavó alrededor del cilindro para poder sacarlo y se retiró el exceso de suelo alrededor de él, se colocó el suelo dentro del cilindro en una bolsa ziploc la cual se etiquetó y se pesó en una balanza semi analítica en campo, tomándose el valor como peso húmedo. Luego las muestras fueron trasladadas al Laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas, UES y se colocaron en una estufa a 105 °C, por 24 horas (Departamento de Suelos b 1992).

Se homogenizaron las 10 muestras y se tomaron 50 gr de suelo para determinación de textura.

#### **3.3.3.2 Toma de muestra de suelo para fertilidad química**

Se tomaron 10 sub muestras para fertilidad química siguiendo un patrón de zigzag cada 10 m. se tomaron a una profundidad de 0 a 20 cm. descartando hojarasca y la primera capa superficial; se mezcló para obtener una muestra compuesta de 1.5 libras aproximadamente por cada finca (Figura A-4), que fueron colocadas en una bolsa ziploc debidamente rotuladas con el nombre de la parcela, las cuales se trasladaron al Laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas, UES; para determinar: cantidad de materia orgánica, pH, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, cobre, hierro y zinc (Torres *et al.* 2013).



**Figura 2. Ubicación de Finca Org1 y patrón de toma de muestras**

### 3.3.4 Toma de muestras para nematodos

Se realizaron 10 puntos de muestreo por cada finca orgánica y convencional siguiendo un patrón de zigzag. Cada punto fue conformado por cinco submuestras de suelo, tomadas entre la zona de goteo y la mitad de la bandola a una profundidad de 0 a 20 centímetros, con un azadón se limpió la superficie del suelo descartando hojarasca y la primera capa superficial de aproximadamente dos centímetros y con la ayuda de un palín se recolectaba una submuestra de aproximadamente 30 gramos y se colocaron en una bolsa ziploc para conformar una sola muestra, que fueron debidamente etiquetadas con el nombre de la parcela y el número del punto de muestreo correspondiente (Figura A-4) (FHIA sf.).

## 3.4 Fase de laboratorio

### 3.4.1 Determinación de textura de suelo

Se determinó la textura por medio del método de hidrómetro de Bouyoucos, utilizando una muestra por finca proveniente de 1 mz de terreno, de la cual se tomaron 50 g de suelo, y estos se le agrego 100 ml de hexametáfosfato- carbonato de sodio al 4 % y al 1 %, con la correspondiente agitación, primero manualmente por 5 minutos y después mediante un agitador eléctrico por otros 3 minutos; luego el líquido se decantó en una probeta de 1000 ml,

se aforo con agua destilada agitándose con un agitador especial sumergiéndose y sacándolo por tres veces para después comenzar el conteo de tiempo y tomando lecturas con un densímetro (hidrómetro de Bouyoucos), la primera a los 40 segundos, la segunda a las 2 horas; el método está basado en el principio de sedimentación de partículas de diferentes tamaños y pesos que determinan su presencia en el líquido acuoso dando diferentes densidades. La lecturas que se obtuvieron fueron en g/ml a las cuales se les aplico la corrección por temperatura agregando 0.5 g/L por cada grado sobre los 20° C y por blanco preparando un litro de solución al 5 % de hexametáfosfato de sodio para lo cual se tomó 10 ml de solución de hexametáfosfato o 5 ml de la solución de oxalato de sodio y se llevó a un volumen de un litro con agua destilada y a una temperatura de 20°C, se tomó la lectura del Hidrómetro de Bouyoucos y el resultado de la lectura se resta a las lecturas corregidas por temperatura (Anexo 1); luego los cálculos de porcentaje de arena, limo y arcilla, que se leyeron en un triángulo textural. (Figura A-5) (Departamento de Suelos a 1992).

#### **3.4.2 Determinación de fertilidad química**

Las muestras de suelo fueron analizadas en el laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas, UES. La materia orgánica fue determinada por el método de óxido reducción de Walkley y Black o combustión húmeda, el pH mediante la relación suelo agua 1:2.5 con el método de determinación potenciométrica, para el Fosforo se utilizó el método colorimetría amarillo molibdato vanadato y para los nutrientes, Potasio, Calcio, Magnesio, Cobre, Hierro Y Zinc se realizó la extracción de norte mehlich 1, y el método de Espectrofotometría de absorción atómica (Departamento de química agrícola, s.f).

Los valores obtenidos se compararon con los grados de disponibilidad establecidos por el formato de análisis del CENTA para el cultivo de café.

#### **3.4.3 Extracción de nematodos con método centrifugación – flotación**

Se utilizó el método centrifugación – flotación según Jenkins citado por Cares, J.F.*et al.* (2012) modificado por CENTA, que consistió en la homogenización de la muestra de la cual se tomó 100 ml por cada punto; para lo cual en un Beaker se agregó 100 ml de agua y luego se colocó el suelo hasta llegar a un volumen de 200 ml, esto se pasó a un recipiente en donde se disolvieron los terrones y se dejó reposar por 2 minutos, se tamizó el sobrenadante del recipiente en un tamiz de 60 mesh, este procedimiento se repitió tres veces.

El tamizado se recolectó en una cubeta y luego se pasó por dos tamices de 325 mesh al mismo tiempo, se lavaron los dos tamices con la ayuda de una pizeta y se obtuvo el lavado

en una taza evaporadora que luego se pasó a un tubo de centrifuga identificado con el número de muestra, se llevó a centrifugar por 5 minutos a 3,500 rpm, se decantó el sobrenadante y se dejó el suelo al que se le agrego el doble del volumen de solución azucarada (484g/L) se agito y se centrifugo de nuevo a 3500 rpm durante dos minutos.

Se colocó la solución azucarada en una taza evaporadora con agua para evitar que los nematodos absorbieran mucha azúcar y se dañaran, luego se pasó por un tamiz de 500 mesh y se lavó para eliminar el azúcar procurando no botar lo colectado en la superficie, una vez eliminado el azúcar se lavó la malla con agua y se colectó el lavado en una taza evaporadora.

Luego se procedió a la muerte de los nematodos llevando la muestra a una temperatura de 45°C, se pasó a unos frascos debidamente etiquetados con el nombre de la parcela y el número de muestra que representaba y se fijó la muestra agregando 10 gotas de formalina pura, y se dejó reposar por 24 horas para poder llevar las muestras a un volumen de 8 ml. (Figura A-6)

#### **3.4.4 Reconocimiento taxonómico de nematodos**

La identificación taxonómica de los nematodos edáficos se realizó a nivel de género a través de descripciones morfológicas y asesoramiento del técnico especialista del Laboratorio de Parasitología Vegetal del CENTA. Para el conteo de los especímenes se tomó 2 ml de la muestra homogenizada por medio de una pipeta que se colocó en la cámara de Neubauer y se observó bajo el microscopio compuesto realizando un recorrido e identificando especímenes conocidos; para la captura de los nematodos se utilizó una astilla de bambú con punta muy fina y la ayuda del estereoscopio, se montaron sobre un porta-objetos y se observó nuevamente bajo microscopio detallando estructuras específicas para la identificación de cada espécimen (Figura A-7). Una vez identificados y contados los nematodos presentes en 1 ml de solución se multiplico por 8 ml siendo el volumen total de la suspensión para obtener el número total de nematodos presentes en el volumen de suelo muestreado.

Los nematodos se clasificaron en base a género, familias y por grupos tróficos, este último conformado por 5 categorías: fitoparásitos, fungívoros, bacterívoros, depredadores y omnívoros, de los cuales solo se tomaron 3 categorías: vida libre (que incluye fungívoros, bacterívoros, omnívoros), fitoparásitos y depredadores que pudieron ser fácilmente clasificados basándose en su aparato bucal y hábito alimenticio.

### 3.5 Metodología estadística

Se estimó la diversidad alfa y beta de las comunidades de nematodos de suelo de las parcelas orgánicas y convencionales en estudio.

#### 3.5.1 Diversidad Alfa

La diversidad alfa fue determinada mediante la serie de números de Hill estimados para cada finca muestreada mediante el paquete “SpadeR” (Chao et al. 2015).

$${}^qD = \sum_{i=1}^s p_i^q \quad 1/(1-q)$$

D= diversidad

$\sum_{i=1}^s$  = sumatoria de la proporción desde uno hasta llegar a s igual riqueza

q= exponentes de los números de Hill

Posteriormente se realizó una regresión lineal para observar la relación entre las variables físico químicas con la riqueza observada (q=0) y el número equivalente de grupos taxonómicos (q=1) (R. Core Team 2016)

Cuando el valor del número de Hill es (q=1) nos indica el número de especies igualmente abundantes que son necesarios para lograr el valor del índice de Shannon.

Cuando el valor de Hill es (q=3) nos indica dominancia observada.

#### 3.5.2 Diversidad Beta

La diversidad beta se refiere a la determinación de la distancia ecológica entre dos o más sitios o momentos determinados de acuerdo a la similitud de la composición de taxones presentes en las comunidades en estudio; la cual fue estudiada en tres aspectos (Chao et al. 2015).

##### 3.5.2.1 Similitud de comunidades

Se llevó a cabo un análisis de correspondencia canónica (ter Braak 1987), comparando la composición de las comunidades de nematodos entre los diferentes tipos de manejo (“convencional” y “orgánico”) y entre las cuatro fincas muestreadas. El análisis de correspondencia canónica se realizó en el paquete “vegan” (Oksanen et al. 2016).

##### 3.5.2.2 Análisis multivariante basados en modelos

Se realizó un modelo lineal generalizado (glm) multivariante con distribución binomial negativa y función de enlace logarítmica para evaluar el impacto del tipo de manejo

("convencional" y "orgánico"), la densidad aparente del suelo, pH, contenido de materia orgánica, contenido de nitrógeno, fósforo y potasio, en la abundancia de todos los taxones presentes en la comunidad de nematodos encontrados. La influencia del tipo de manejo en la abundancia de los gremios de nematodos ("fitoparásitos", "depredadores" y "vida libre), fue ajustada a un modelo similar. Los modelos fueron llevados a cabo con la función *manyglm* del paquete "mvabund" (Wang *et al.* 2012). Posteriormente se realizó un análisis del mismo modelo, pero de forma univariante para determinar los grupos taxonómicos que presentaron diferencias significativas en cuanto a su abundancia entre los factores en estudio (R. Core Team 2016).

$$1. Y = \text{Manejo} + DA + Ph + \%MO + N + P + K$$

Dónde:

Y= respuesta de abundancia de taxones de la comunidad

Manejo= orgánico o convencional

DA= Densidad aparente

%MO= Materia Orgánica

N= Nitrógeno

P= Fosforo

K= Potasio

### **3.5.2.3 Análisis multivariante basado en modelos utilizando los gremios.**

Se agruparon los taxones de acuerdo a su rol ecológico y se ajustaron a un modelo lineal generalizado multivariante, para determinar el efecto del manejo de cafetal y factores físico químicos en la abundancia de los gremios determinados. Posteriormente se realizó un análisis del mismo modelo, pero de forma univariante para determinar que gremios presentaron diferencias significativas en cuanto a su abundancia entre los factores en estudio (R. Core Team 2016).

$$Y = \text{Manejo} + DA + Ph + \%MO + N + P + K$$

Dónde:

Y= respuesta de abundancia de taxones de la comunidad

Manejo= orgánico o convencional

DA= Densidad aparente

%MO= Materia Orgánica

N= Nitrógeno

P= Fosforo

K= Potasio

### 3.6 Índice de Madurez

Este índice se determinó teniendo en cuenta la frecuencia relativa de cada género, los valores c-p asignado (Cuadro A-11) y el análisis de los grupos tróficos de la comunidad de nematodos bajo estudio realizados por Bongers (1990), los cual se utilizaron como un indicador holístico del estado general del suelo de los agroecosistemas. Para ello se utilizó la siguiente formula usando solo nematodos de vida libre:

$$I.M = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{v_i * f_i}{n}$$

Donde:

$v_i$  = frecuencia relativa del género.

$f_i$  = valor del c-p para el género.

$n$  = total de individuos

## 4. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1 RESULTADOS

#### 4.1.1 Características de la finca

##### 4.1.1.1 Finca 1

Se encuentra ubicada en el cantón Tapesquillo bajo, municipio de Jucuapa a una altitud de 938 m.s.n.m. Propiedad de Cristino Amaya, posee variedad de café Bourbon, con distanciamiento de 2 por 1.5 metros, para una densidad de plantas de 2,233 plantas por mz, con edad de 19 años, manejo de forma orgánica, que consiste en la aplicación de abonos orgánicos al suelo como bocashi, aplicación de 4 a 5 libras por planta una vez al año y biofertilizantes foliares a base de estiércol, microorganismo de montaña, aplicación de biofertilizantes de 7 litros por mz; el manejo de plantas arvenses es de forma manual; el cafetal cuenta con un tipo de sombra permanente con árboles forestales: Laurel (*Cordia alliodora*), Conacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), Madrecacao (*Gliricidia sepium*) y frutales como: Nance (*Byrsonima crassifolia*), Matazano (*Casimiroa edulis*), Níspero (*Manilkara zapota*), cuya regulación de sombra no es planificada y se realiza según criterio del productor. (Cuadro 2)

##### 4.1.1.2 Finca 2

Se encuentra ubicada en el cantón Jocote Dulce, municipio de Chinameca, departamento de San Miguel a una altitud de 687 m.s.n.m. Propiedad de José Venancio Martínez, las variedades de café que se manejan en esta finca son: Bourbon, Cuscatleco, Pacas y Catisic

con edades entre 4 a 10 años, con distanciamiento de 2 por 1.5 metros para una densidad de 2,233 plantas por mz; el cafeto es manejado de forma orgánica semejante a la finca 1 en relación a la aplicación de abonos orgánicos como bocashi dos vez al año, biofertilizantes foliares a base de estiércol dos veces al año y aplicación de *Beauveria bassiana* una vez al año, para control de la broca del grano *Hypothenemus hampei*. El manejo de plantas arvenses es de forma manual; el cafetal cuenta con un tipo de sombra permanente con árboles forestales predominantes como: Pepeto (*Inga sp.*), Aceituno (*Simarouba glauca*), Laurel (*Cordia alliodora*), Cortes Blanco (*Tabebuia chrysantha*), y frutales como: Aguacate (*Persea americana*), Mango (*Mangifera indica*) cuya regulación de sombra no es planificada y es realizada según criterio del agricultor realizándolo en pequeñas áreas. (Cuadro 2)

#### **4.1.1.3 Finca 3**

Se encuentra ubicada en el cantón Las Marías, municipio de Chinameca, departamento de San Miguel a un altitud de 578 m.s.n.m. propiedad de Margarita Velázquez, las variedades de café que se manejan en la finca son: Pacas con edad de 20 años, Cuscatleco y Catisic, con edad de 2 años, con distanciamiento de 2 por 1.5 metros para una densidad de 2,233 plantas por mz. El cafeto es manejado de forma convencional que consiste en la aplicación de fertilizantes químicos como: formula 15-15-15, 1 qq.  $mz^{-1}$ , dos veces al año en los meses de mayo y octubre, uso de fertilizantes foliares cada dos meses; control de roya con amistar, el manejo de plantas arvenses se realiza de forma manual y química aplicando herbicidas a base de Glifosato ( Root out) 1 gal.  $mz^{-1}$ . El tipo de sombra es permanente con árboles frutales como: Aguacate (*Persea americana*), Mango (*Mangifera indica*) y Museaceas (*Musaceae*) y forestales como Pepeto (*Inga sp.*) cuya regulación de sombra es planificada y es realizada solo para las Ingas según criterio del agricultor realizándolo en pequeñas áreas. (Cuadro 2)

#### **4.1.1.4 Finca 4**

Se encuentra ubicada en el cantón Jocote Dulce, municipio de Chinameca departamento de San Miguel, a una altitud de 678m.s.n.m. propiedad de Marina Saturnina, las variedades de café que se manejan en la finca son: Bourbon, Cuscatleco, Pacas con edades de 15 años y Catisic con edad de 4 años, con distanciamiento de 2 por 2 metros para una densidad de 1,750 plantas  $mz^{-1}$ . El cafeto es manejado de forma convencional que consiste en la aplicación de fertilizantes químicos como: formula 15-15-15, 1 qq.  $mz^{-1}$ , una vez al año, control de roya con Amistar y el manejo de plantas arvenses se realiza de forma manual. El cafetal cuenta con un tipo de sombra permanente con árboles forestales predominantes

como: Laurel (*Cordia alliodora*), Pepeto (*Inga sp.*), Cedro (*Cedrella odorata*) Cortes Blanco (*Tabebuia chrysantha*), y frutales como: Aguacate (*Persea americana*), Mango (*Mangifera indica*), Nance (*Byrsonima crassifolia*) cuya regulación de sombra no es planificada y es realizada según criterio del agricultor realizándolo en pequeñas áreas. (Cuadro 2)

**Cuadro 2. Manejo de las parcelas de los sistemas orgánico y convencional**

criterio	Orgánico 1	Orgánico 2	Convencional 1	Convencional 2
<b>Altitud</b>	938 m.s.n.m.	687 m.s.n.m	578m.s.n.m	678m.s.n.m
<b>variedad</b>	Bourbon	Bourbon, Cuscatleco, Pacas y Caticic	Bourbon, Caticic y cuscatleco	Bourbon, Cuscatleco, Pacas y Caticic
<b>Edad de la plantación</b>	19 años	Entre 4 a 10 años	Entre 2 a 20 años	Entre 4 a 15 años
<b>Fertilización</b>	Bocashi, biofertilizantes, microorganismos de montaña	Bocashi, biofertilizantes,	Formula 15-15-15 y Fertilizantes foliares	Formula 15-15-15
<b>Control de plagas</b>		Biologico con <i>Beauveria bassiana</i>	Químico ( amistar)	Quimico (amistar)
<b>Control de plantas arvenses</b>	Manual	Manual	Manual y Químico a base de Glifosato (Root out)	Manual
<b>Especies de sombras</b>	Laurel ( <i>Cordia alliodora</i> ), Conacaste ( <i>Enterolobium cyclocarpum</i> ), Madrecacao ( <i>Gliricidia sepium</i> ), Nance ( <i>Byrsonima crassifolia</i> ), Matazano ( <i>Casimiroa edulis</i> ), Níspero ( <i>Manilkara zapota</i> ),	Pepeto ( <i>Inga sp.</i> ), Aceituno ( <i>Simarouba glauca</i> ), Laurel ( <i>Cordia alliodora</i> ), Cortes Blanco ( <i>Tabebuia chrysantha</i> ), Aguacate ( <i>Persea americana</i> ), Mango ( <i>Mangifera indica</i> )	Aguacate ( <i>Persea americana</i> ), Mango ( <i>Mangifera indica</i> ) y Museaseas ( <i>Musaceae</i> ), Pepeto ( <i>Inga sp.</i> )	Laurel ( <i>Cordia alliodora</i> ), Pepeto ( <i>Inga sp.</i> ), Cedro ( <i>Cedrella odorata</i> ) Cortes Blanco ( <i>Tabebuia chrysantha</i> ), Aguacate ( <i>Persea americana</i> ), Mango ( <i>Mangifera indica</i> ), Nance ( <i>Byrsonima crassifolia</i> )
<b>Regulación de sombra</b>	No	No	No	No

#### 4.1.2 Características resultantes del análisis del suelo (fertilidad física)

La finca orgánica 1, posee un tipo de suelo franco arcilloso (Cuadro A-9) considerado como una textura medianamente fina, con una densidad aparente de 0.94 g/cc lo que indica que su valor es bajo denotando suelos ricos en humus y que genera una propiedad porosa con un total de 64.64 % (Cuadro 3), considerada como excelente (Cuadro A-10), bien aireado, con buen drenaje y favorece la penetración de las raíces y por consiguiente un buen desarrollo de las plantas.

La finca orgánico 2, tiene un tipo de suelo franco limoso (Cuadro A-9) considerado como una textura mediana, con una densidad aparente de 0.95 g/cc lo que indica que su valor es bajo denotando suelos ricos en humus y que genera una propiedad porosa con un total de 64.17 % (Cuadro 3), considerado como excelente (Cuadro A-10), bien aireado, con buen drenaje y favorece la penetración de las raíces y por consiguiente a un buen desarrollo de las plantas.

La finca convencional 1, el suelo presenta una textura franco arenoso (Cuadro A-9) considerado como una textura medianamente gruesa, con una densidad aparente de 0.95 g/cc lo que indica un valor bajo, denotando suelos ricos en humus y que genera una propiedad porosa con un total de 64.17 % (Cuadro 3), considerado como excelente (Cuadro A-10), bien aireado, con buen drenaje y favorece la penetración de las raíces, lo cual indica que hay un buen desarrollo de las plantas.

La finca convencional 2, el suelo presenta una textura Franco (Cuadro A-9) considerado como una textura mediana, con una densidad aparente de 0.80 g/cc lo que indica que su valor es bajo, denotando suelos ricos en humus y que genera una propiedad porosa con un total de 69.82 % (Cuadro 3), considerado como excelente (Cuadro A-10), representando un suelo bien aireado con buen drenaje y favorece la penetración de las raíces indica que hay un buen desarrollo de las plantas.

**Cuadro 3. Parámetros físicos de las fincas orgánicas y convencionales.**

<b>FINCAS</b>	<b>Promedio Densidad Aparente ( g/cc )</b>	<b>Porcentaje Promedio de Porosidad ( % )</b>	<b>Clase Textural</b>
ORGANICO 1	0.94	64.64	Franco Arcilloso
ORGANICO 2	0.95	64.175	Franco Limoso
CONVENCIONAL 1	0.95	64.175	Franco Arenoso
CONVENCIONAL 2	0.80	69.825	Franco

**4.1.3 Resultados de análisis químico del suelo**

Los resultados del análisis químico del suelo (Cuadro 4), muestra que los nutrientes principales de la finca orgánica 1: nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), presentan una muy alta disponibilidad de estos con relación a los niveles críticos establecidos según los protocolos de CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal ); para el caso de nitrógeno que se considera de >35 ppm, el nivel que se reporta es de 2800 ppm considerado muy alto, cuyo equivalente es de 28 lb N.mz<sup>-1</sup>; para el caso del fósforo este

presenta un nivel muy bajo con un aporte de 2.26 ppm en relación al considerado por CENTA de 13 mayores se consideran valores altos y el potasio tiene valores muy altos con un aporte de 810 ppm.

Para la finca orgánica 2, los aportes de nitrógeno es de 3600 ppm considerado muy alto, cuyo equivalente es de 36 lb N.mz<sup>-1</sup>, mientras que el fósforo presenta valores muy bajos de aporte con 3.38 ppm cuyo equivalente es de 0.034 lb N.mz<sup>-1</sup> y de potasio con un valor muy alto de aportación de 655 ppm cuyo equivalente es de 6.65 lb N.mz<sup>-1</sup>.

En las finca convencionales 1 y 2 los aportes de nitrógeno son de 21 y 36 lb N.mz<sup>-1</sup> respectivamente, siendo esta última igual a la finca orgánica 2, mientras que la finca convencional 3 contiene el valor más bajo de N con respecto a las demás fincas muestreadas; en el caso del fósforo estas tienen valores de 5.26 y 3.27 ppm respectivamente, siendo estos muy bajos y en el caso de potasio con valores de 786.25 y 673.75 ppm respectivamente siendo estos valores de aportación muy altos.

**Cuadro 4. Resultado de análisis químico de macronutrientes de las fincas orgánicas y convencionales.**

<b>FINCAS</b>	<b>N%</b>	<b>P ppm</b>	<b>Grado de disponibilidad</b>	<b>K ppm</b>	<b>Grado de disponibilidad</b>
ORGANICO 1	0.28	2.26	Muy bajo	810	Muy alto
ORGANICO 2	0.36	3.38	Muy bajo	655	Muy alto
CONVENCIONAL 1	0.21	5.26	Muy bajo	786.25	Muy alto
CONVENCIONAL 2	0.36	3.57	Muy bajo	673.75	Muy alto

En el análisis de micronutrientes (Cuadro 5); las fincas orgánicas y convencionales en el caso del Calcio y Magnesio presentan valores altos y en cuanto a Cobre (Cu), Zinc (Zn) y Hierro (Fe) todas las fincas presentaron valores bajos a excepción de la finca convencional 2 que presento valores altos de aporte de Cobre y Hierro, lo cual puede deberse a la aplicación de Fungicidas cúpricos para el control de roya que genera a su vez altas cantidades de Calcio y Magnesio y una disminución de Fosforo (P) , a pesar de ello no se puede decir que hay diferencias notables en la presencia de estos microelementos en cuanto al manejo que se da en las fincas.

**Cuadro 5. Resultados de análisis químicos de micronutrientes de las fincas orgánicas y convencionales.**

FINCAS	Ca Meq/100g	Rango	Mg Meq/100g	Rango	Cu ppm	Rango	Zn ppm	Rango	Fe ppm	Rango
ORGANICO 1	7.81	Alto	4.24	Alto	0.68	Bajo	1.13	Bajo	4.11	Bajo
ORGANICO 2	8.44	Alto	2.67	Alto	0.2	Bajo	2.86	Bajo	5.32	Bajo
CONVENCIONAL 1	6.25	Alto	2.11	Alto	2.46	Alto	3.01	Bajo	12.51	Alto
CONVENCIONAL 2	8.75	Alto	2.84	Alto	0.39	Bajo	2.95	Bajo	6.25	Bajo

En cuanto a los valores del pH (Cuadro 6) las fincas orgánicas presentan valores de 5.7 y 5.8 y las fincas convencionales presentan valores de 5.9 y 5.7 que los califica moderadamente ácido. Según FUNDESYRAM 2010, en su guía para la innovación de la caficultura, describe que el potencial de Hidrógeno o acidez; en el café tiene un rango óptimo de 5.5 a 6.5, valores debajo o arriba de ellos, afectan el desarrollo normal de raíces, crecimiento y producción

Los valores de porcentaje de materia orgánica (Cuadro 6) en las fincas orgánicas 1 y 2 fueron de 6.38 % y 6.43 % respectivamente, siendo valores altos y en la finca convencional 2 se encontró el aporte más alto con 8.14% M.O.; mientras que la finca convencional 1 presentó el aporte más bajo con 5.13% en comparación con las demás. La materia orgánica es importante para el buen crecimiento del cafeto ya que es necesaria la disponibilidad de nutrientes; y la descomposición de ciertos compuestos orgánicos, mantienen un nivel adecuado de aniones (FUNDESYRAM 2010).

Pese a las diferencias en cuanto al manejo, los aportes de materia orgánica son considerados como altos para todas las fincas debido a la naturaleza del sistema, siendo este un sistema agroforestal que permite la acumulación de material vegetal formando parte de la materia orgánica.

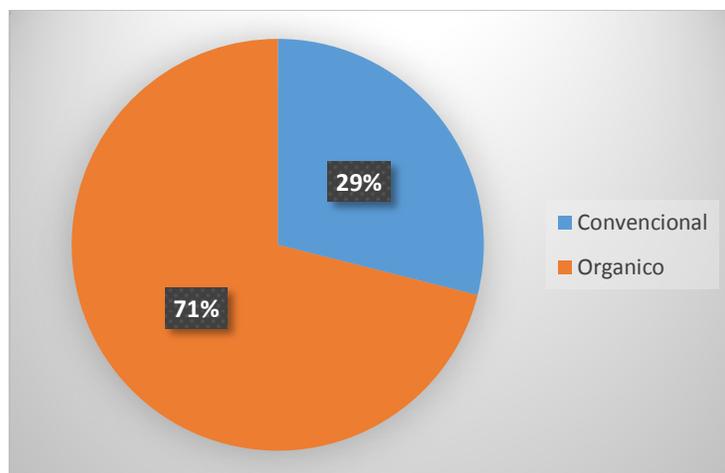
**Cuadro 6. Rango de pH y Materia Orgánica por fincas**

FINCAS	Ph	Escala	M.O %	Escala
ORGANICO 1	5.7	Moderadamente ácido	6.38	Alto
ORGANICO 2	5.8	Moderadamente ácido	6.43	Alto
CONVENCIONAL 1	5.9	Moderadamente ácido	5.13	Alto
CONVENCIONAL 2	5.7	Moderadamente ácido	8.14	Alto

#### 4.1.4 Comunidades de nematodos

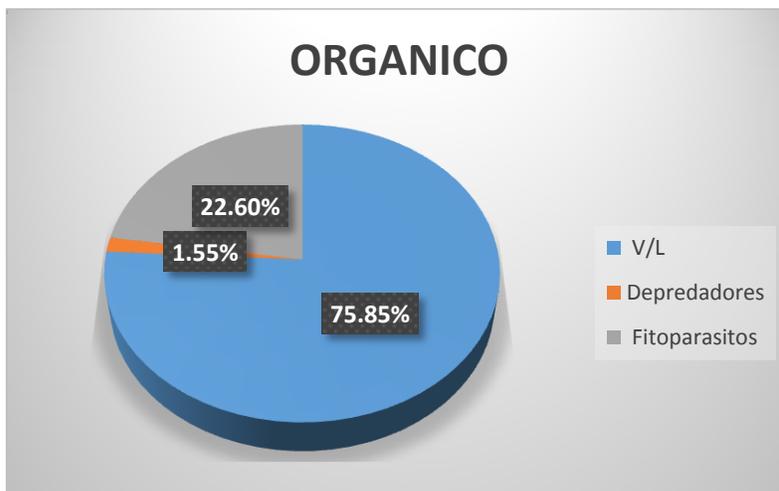
##### 4.1.4.1 Abundancia relativa

De las cuatro fincas muestreadas se obtuvo un total de 3,636 individuos. Estos pertenecen a 15 familias y 24 géneros (Cuadro A-8) que se distribuyeron de la siguiente manera por sistema: en el orgánico se colectaron 2584 individuos (71%); y en el convencional 1052 individuos (29 %) (Figura 3).



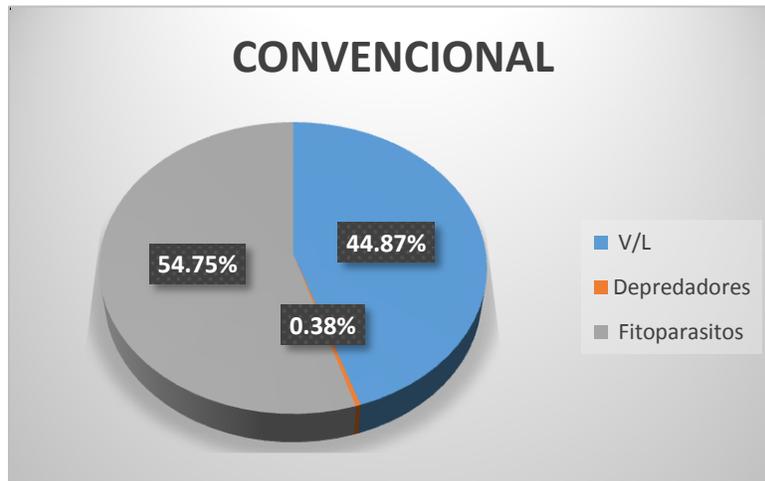
**Figura 3. Distribución en porcentaje de los individuos recolectados en los sistemas orgánico y convencional.**

De acuerdo a la separación por gremio alimenticio o grupo trófico la distribución por sistemas de manejo fue la siguiente; 2584 individuos colectados en las fincas orgánicas se agruparon en los siguientes grupos: 75.85% pertenece a Vida libre, 22.60% a Fitoparásitos y un 1.55% a Depredadores (Figura 4).



**Figura 4. Porcentaje de Nematodos por gremio en las fincas orgánicas.**

En las fincas Convencionales de un total de 1052 individuos colectados se agruparon en los siguientes grupos: 44.87% pertenece a Vida libre, 54.75% a Fitoparásitos y un 0.38% a Depredadores (Figura 5).



**Figura 5. Porcentaje de Nematodos por gremio en las fincas convencionales.**

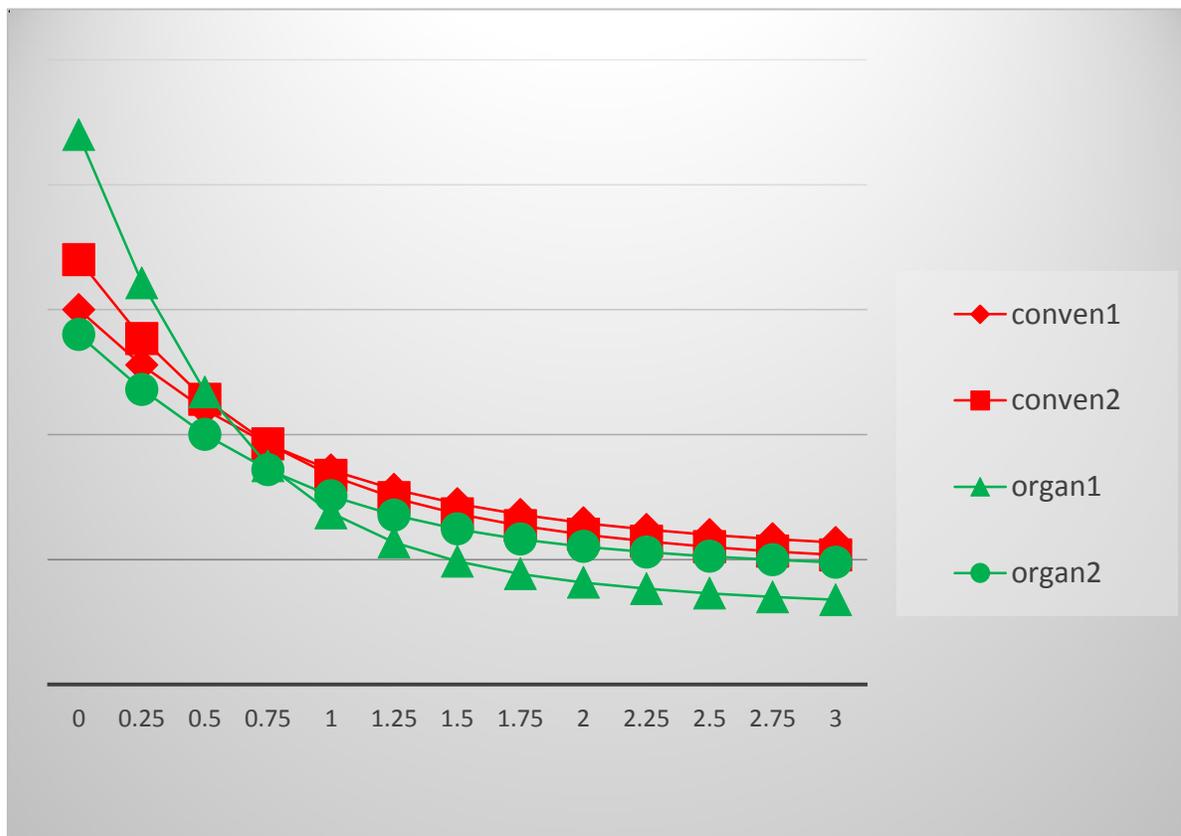
#### **4.1.4.2 Diversidad Alfa**

##### **4.1.4.2.1 Números de Hill**

Los valores empíricos de los números de Hill obtenidos en las cuatro fincas muestreadas se presentan en el Cuadro 7. Al observar la riqueza de los grupos taxonómicos ( $q=0$ ), la finca orgánica 1 presenta el valor más alto con 22 grupos taxonómicos, seguido de la finca convencional 2, con 17 grupos taxonómicos, mientras que la finca con manejo convencional 1 con 15 grupos y la finca orgánica 2 con 14 grupos taxonómicos presentan la menor riqueza. En cuanto al número equivalente de especies ( $q=1$ ) se observó que la finca convencional 1 presenta el valor más alto con un número equivalente de grupos taxonómicos aproximado a 9, seguido del convencional 2 siendo estos similares; la finca orgánica 2 tiene un valor intermedio y la finca orgánica 1 tiene el valor más bajo con un número equivalente de grupos taxonómicos aproximado a 7. En relación a la dominancia de individuos, cuando ( $q=3$ ), la finca orgánica 1 presenta mayor dominancia por solo 4 grupos taxonómicos, seguida de la finca orgánica 2 en relación a las fincas convencionales 1 y 2 donde el número de dominio está siendo dado por 6 grupos taxonómicos (Figura 6)

**Cuadro 7. Valores estimados de grupos taxonómicos a partir del cálculo de los números de Hill, en las fincas orgánicas y convencionales**

Sistema	Riqueza	Número equivalente	Dominancia
Orgánico 1	22	6.866	4.081
Orgánico 2	14	7.545	5.519
Convencional 1	15	8.579	6.465
Convencional 2	17	8.362	6.004



**Figura 6. Valores de los números de Hill para las fincas orgánicas y convencionales.**

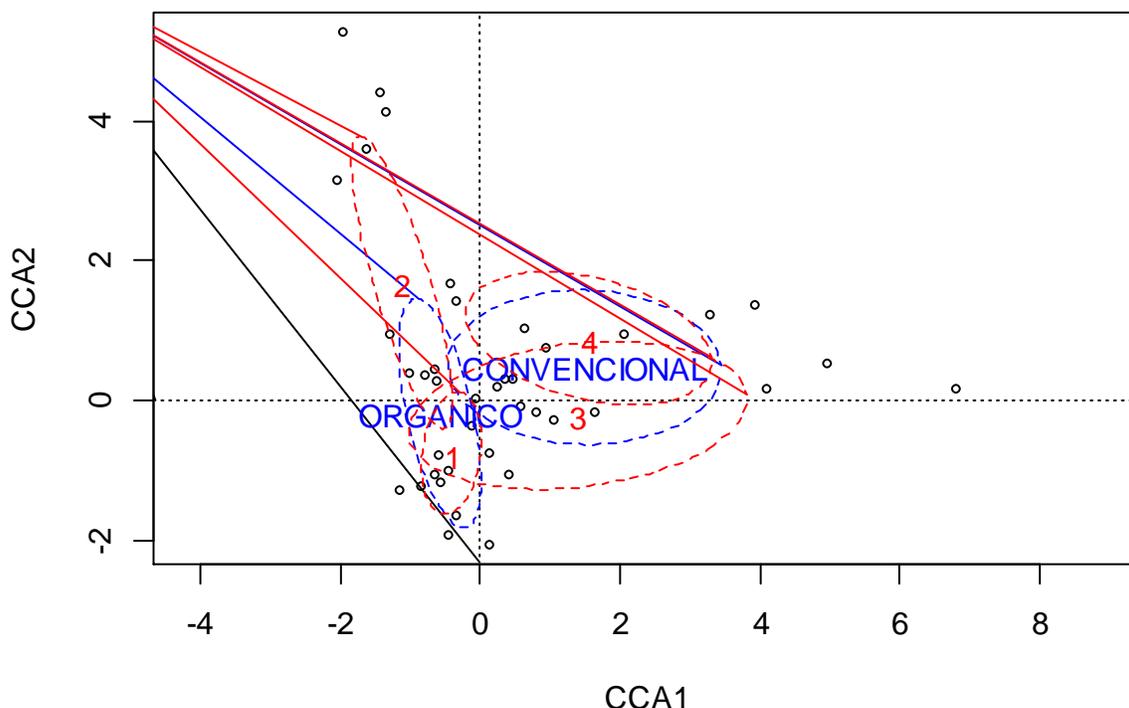
#### 4.1.4.2.2 Relación entre parámetros físico - químicos y diversidad alfa

La existe una relación entre la riqueza de grupos taxonómicos y los parámetros físico químicos sin embargo no están fuerte ( $R^2=0.344$ ,  $P<0.001$ ), lo que indica la existencia de otros factores externos que influyen en la composición de la comunidad de nematodos. Solo el contenido de arcilla muestra cierta asociación con la riqueza de grupos taxonómicos  $P<0.001$ . El número equivalente de grupos taxonómicos mostro un patrón similar, tanto en la asociación ( $R^2=0.088$ ,  $P<0.035$ ), como en la influencia del contenido de arcilla.

### 4.1.4.3 Diversidad Beta

#### 4.1.4.3.1 Similitud de comunidades

La composición de grupos taxonómicos de las comunidades de nematodos, presenta poco traslape entre los sistemas de manejo “orgánico” y “convencional”; indicando que son similares entre sí, por lo que no presentan diferencias en cuanto a la composición de sus comunidades de nematodos ( $P=0.329$ ) (Figura 7).



**Figura 7. Biplot del análisis de correspondencias canónica entre las fincas convencionales y orgánicas.**

#### 4.1.4.3.2 Análisis multivariante basados en modelos utilizando grupos taxonómicos

Evaluando la abundancia de todos los grupos taxonómicos de cada finca se observó diferencia entre las comunidades encontradas, en las fincas con manejo convencional con respecto a las fincas con manejo orgánico ( $P=0.002$ ). Dentro de los factores físico químicos en estudio se detectó, que la densidad aparente tiene un impacto en la diferencia de la composición de las comunidades de nematodos ( $P=0.042$ ). Sin embargo, al evaluar la abundancia de cada grupo taxonómico de manera individual y comparar la composición de las comunidades entre los diversos factores medidos durante el estudio, se observa que solo el grupo de nematodos de vida libre ( $P=0.005$ ) y el género *Discocriconemella* ( $P=0.007$ )

muestran diferencias en su abundancia entre el sistema de manejo orgánico y el sistema de manejo convencional.

#### 4.1.4.3.3 Análisis multivariante basados en modelos utilizando grupos tróficos

La agrupación de los individuos colectados de acuerdo al grupo trófico fue simplificada a tres grandes grupos: fitoparásitos, depredadores y de vida libre (incluye bacterívoros, omnívoros y fugívoros). La abundancia de cada uno de estos grupos analizados en su conjunto, presenta diferencia entre los dos tipos de manejo del cultivo de café ( $P = 0.003$ ). Al analizar la abundancia de los grupos por separado se observa que tanto la abundancia de nematodos Fitoparásitos ( $P=0.7524$ ) como de nematodos de hábito Depredador ( $P=0.1102$ ) son similares, mientras que los de vida libre si presentaron diferencias ( $P=0.027$ ) entre los dos tipos de manejo de cafetal.

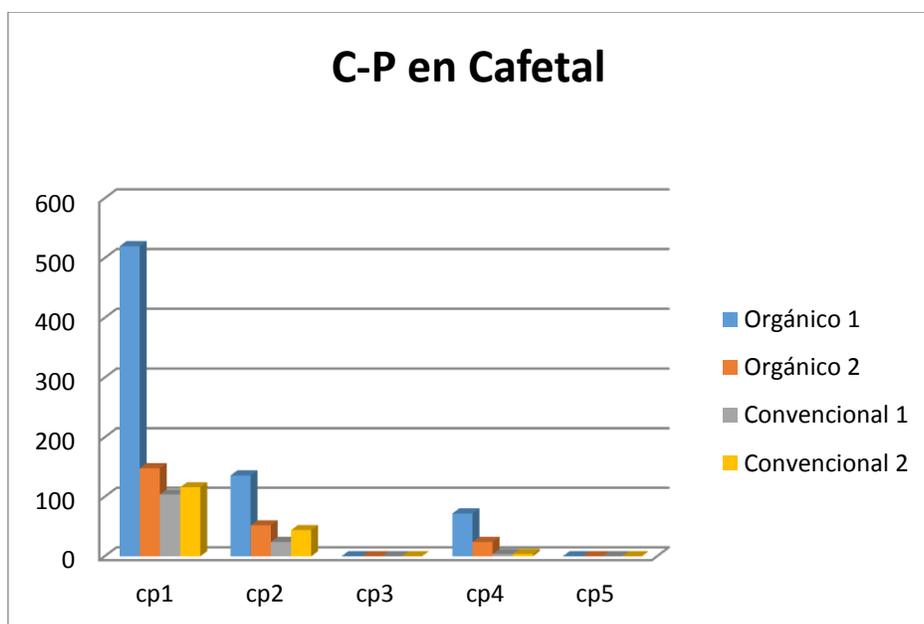
#### 4.1.4.4 Índice de madurez

El índice de madurez (IM) reflejado por las cuatro fincas fue similar, presentando leves fluctuaciones, dentro de las cuales la finca orgánico 2 presento el mayor índice de madurez con un valor de 1.55, seguido de la orgánico 2 con un IM de 1.48, en tercer lugar la finca convencional 1 con un valor de 1.34 y por último la convencional 2 con un I.M de 1.27 (Cuadro 8).

**Cuadro 8. Índice de Madurez (IM) en fincas con manejo Orgánico y Convencional**

Familia	CP	Org 1	IM	Org 2	IM	Conv1	IM	Conv2	IM
Aphelenchidae	2	52	0.14	24	0.21	16	0.24	32	0.39
Aphelenchoididae	2	72	0.20	20	0.18	4	0.06	12	0.15
Cephalobidae	2	12	0.03	8	0.07	4	0.06	0	0.00
Dorylaimidae	4	40	0.22	16	0.29	0	0.00	4	0.10
Mononchidae	4	32	0.18	8	0.14	4	0.12	0	0.00
Rhabditidae	1	520	0.71	148	0.66	104	0.79	116	0.71
<b>TOTAL</b>			<b>1.48</b>		<b>1.55</b>		<b>1.27</b>		<b>1.34</b>

En los sistemas manejados de forma orgánica se determinó una alta dominancia de nematodos colonizadores, c-p1 y c-p2 (*Rhabditidae*, *Aphelenchidae*, *Aphelenchoididae* y *Cephalobidae*) y en una proporción relativamente baja nematodos c-p 4, sin embargo ambos sistemas carecen de nematodos c-p 3 y c-p 5 considerados como persistentes lo que refleja un grado de perturbación e inestabilidad en el sistema (Figura 8).



**Figura 8. Poblaciones de colonizadores-persistentes (c-p) en cafetal**

## 4.2 DISCUSIÓN

### 4.2.1 Efecto de las prácticas de manejo en la diversidad alfa

La diversidad alfa es medida en tres aspectos: riqueza, número equivalente de grupos taxonómicos y dominancia. La mayor riqueza de grupos, se observó en el sistema manejado de forma orgánica, sin embargo, el sistema convencional presento mayor equidad en la abundancia de grupos taxonómicos, por lo tanto hay mayor dominancia en el sistema orgánico (Cuadro 7). Esto puede deberse a que el sistema manejado de forma orgánica proporciona las condiciones ideales para el desarrollo de otros grupos taxonómicos; con respecto a la convencional y estos están distribuidos más equitativamente

De igual forma Peraza Padilla (2010), reporto que en un sistema orgánico, la comunidad de nematodos es más diversa conforme a los resultados obtenidos, el índice de Shannon fue mayor en la finca orgánica con un valor de 1.58 lo que representa una mayor biodiversidad y riqueza de individuos respecto a un 1.34 encontrado en la finca convencional. El índice de Simpson fue mayor en la finca orgánica con 0.75 respecto a un 0.67 de la finca convencional. Estos valores indican que la finca orgánica muestra una mayor dominancia de géneros de nematodos con respecto a la finca convencional.

Debe considerarse la limitante en la identificación de todos los géneros, por lo que no se tiene la riqueza real dado que no todos eran grupos taxonómicos como el caso del grupo de

vida libre, que al ser identificados en grupos taxonómicos el sistema manejado de forma orgánica puede tener siempre mayor riqueza pero más equitativo.

#### **4.2.1.1 Asociación de factores físico químicos del suelo en la composición de la comunidad de nematodos**

Los nematodos se ven afectados por propiedades físicas del suelo como textura, densidad aparente, porosidad y propiedades químicas como pH, contenido de materia orgánica y disponibilidad de nutrientes. Sin embargo, en el presente estudio solo se observó relación entre el contenido de arcilla y la riqueza y número equivalente de grupos taxonómicos. Lo anterior concuerda con Castilla Díaz, (2015) quien reporto mayor riqueza de nematodos en suelos de textura franco arcilloso y arcillo limoso; en cambio Gallardo *et al.*, 2014 considera que los tipos de textura de suelo arenosa franca como la más apta para el ciclo de vida de los nematodos (p.251). La relación presentada en el estudio fue mínima debido a que el rango de texturas es bien pequeño que va de franco, franco arenoso, franco limoso y franco arcilloso.

Por eso es importante la textura y estructura del suelo sobre la presencia de nematodos ya que según Wallace citado por Esquivel (1996) hay un “tamaño óptimo de partícula para el movimiento de cada especie de nematodo” (p74). Aparentemente el tamaño del poro afecta la facilidad con la que los nematodos del suelo pueden desplazarse a través de este.

Referente a los factores edáficos como materia orgánica, porosidad y pH, la riqueza y número equivalente de grupos taxonómicos no demostraron afinidad o relación alguna, lo cual puede deberse a la cercanía en la ubicación de las fincas, perteneciendo a la misma clase y tipo de suelo y a la similitud de los demás valores físicos químicos presentados por las fincas. Los rangos de diferencia de pH fueron pequeños para que las comunidades de nematodos puedan responder a esos cambios, el contenido de materia orgánica fue similar, a pesar de diferir en el tipo de manejo, sigue siendo un sistema agroforestal y el uso de árboles de sombra genera una acumulación de material vegetal que forma un tipo de colchón de MO, lo que se traduce en valores de densidad aparente bajos y grado de porosidad ideal, bien aireado y con buen drenaje.

En resumen se puede inferir que la riqueza de las comunidades de nematodos cambian pero no en respuesta a los factores físico-químicos, sino a factores de manejo de cada una de las fincas.

#### **4.2.2 Composición de la comunidad de nematodos en respuesta a las prácticas de manejo**

La composición de las comunidades de nematodos difiere entre sistemas manejado de forma orgánica y de forma convencional, que se ve influenciado por la densidad aparente, la cual proporciona información acerca de la dureza, el movimiento de agua y las restricciones de las actividades de los microorganismos del suelo, lo que concuerda con lo planteado por Esquivel (1996) que el “movimiento de los nematodos en el suelo está relacionado con el diámetro de los poros, el diámetro del nematodo y la cantidad de agua en el espacio poroso. Corroborando a esto Whashington (1978) dice, que un “nematodo no puede moverse entre las partículas del suelo cuando el diámetro de los poros es menor que el ancho de su cuerpo”. Por lo que las diferencias en la densidad aparente de los suelos proporcionara las condiciones adecuadas para el desarrollo de ciertos grupos taxonómicos y su movilidad permitiendo la posibilidad de encontrarlos en muestreos posteriores.

Dentro de estas comunidades de nematodos solo los de vida libre y el género *Discocriconemella* mostraron diferencias en su abundancia entre el sistema de manejo orgánico y el sistema de manejo convencional. De igual forma George (2006), reporto que existe una tendencia muy clara denotada por el mayor número de nematodos de vida libre (saprozoicos) en las fincas orgánicas y específicamente en el tratamiento CMO (Café-Musa orgánico).

Debido a que las prácticas que se realizan en las fincas estudiadas están orientadas a la sustitución de la fertilización química por productos orgánicos como bocashis, biofertilizantes y teniendo en cuenta que en el proceso de la elaboración del bocashi se desarrollan bacterias lácticas, actinomicetos, levaduras, hongos de fermentación, entre otros, al incorporar estos abonos orgánicos fermentados se inoculan al suelo dichos organismos y según Ramón de Lara *et al.* (2003) mencionan que estos son una fuente de alimentación de algunos nematodos como el caso de los de vida libre, por lo que también puede favorecer a la riqueza de otros grupos taxonómicos, aunque en poca abundancia.

Sin embargo los nematodos fitoparásitos no presentaron diferencias entre los dos sistemas de manejo, siendo estos similares entre sí, lo cual se debe a que estos son especialistas de ciertas plantas o disponen de hospederos idóneos para su desarrollo, como el caso de *Meloidogyne* y *Pratylenchus*, que son específicos del cultivo de café, por lo que se encuentran presentes en ambos sistemas de manejo. Por lo tanto al haber poca diversidad

de plantas habrá poca diversidad de organismos asociados a ellas como los nematodos fitoparásitos

#### **4.2.3 Respuesta de los grupos tróficos**

Al agrupar los géneros de nematodos en grupos tróficos, se observó diferencia entre los sistemas de manejo, siendo el grupo de Vida Libre el que presenta mayor diferencia entre ambos, mientras los grupos de Fitoparásitos y Depredadores fueron similares. Estudios realizados por Achicanoy. *et al.* 2012 encontraron que el grupo trófico más abundante fue el bacterívoro con un 62.2% del número total encontrados y que los omnívoros y depredadores fueron los grupos tróficos menos abundantes con cerca de 6.15% y 3.52% del total; los datos son similares a los obtenidos en el estudio ya que el grupo funcional vida libre fue el más abundante; en los nematodos de vida libre se agruparon a los nematodos bacterívoros debido a no tener la capacidad de identificar el género de todos los nematodos encontrados.

Según Ramon de Lara *et al* 2003, los nematodos de vida libre se alimentan de bacterias, levaduras, hifas de hongos y de algas, pudiendo ser saprozoicos o coprozoicos, las especies depredadoras pueden comer rotíferos, tardígrados, pequeños anélidos y otros nematodos. Estos animales cuando están en el suelo pueden ser presa de ácaros, larvas de insectos y hasta de hongos que los capturan. Por lo tanto al haber una mayor presencia de este grupo puede significar un incremento en la cadena trófica y mejora de las propiedades de los suelos ya que ellos juegan un papel importante como reguladores de la fertilidad del suelo mediante la movilización y utilización de nutrientes, además de fungir como agentes de control biológico de plagas de insectos.

#### **4.2.4 Impacto de prácticas agroecológicas en la composición de comunidad de nematodos**

La composición de la comunidad de nematodos se ve influenciada por una serie de factores físico- químico y el manejo de las fincas, sin embargo algunas prácticas pueden llegar a modificar ciertas condiciones. Según FAO s.f, La materia orgánica del suelo proporciona el material para formar los agregados formándose así la estructura del suelo, el cual al tener una adecuada agregación permiten la circulación del aire y el agua, permitiendo las condiciones propicias para el desarrollo de los nematodos de interés; además de la incorporación de otros nutrientes mediante la incorporación de materia orgánica diversa. Como ya se ha mencionado las prácticas que se desarrollan en las fincas orgánicas, son enfocadas a la sustitución de fertilizantes químicos, mediante la incorporación de abonos orgánicos como bochashi y biofertilizante, uso de microorganismos de montaña y en algunas

ocasiones de controladores biológicos como *Beauveria bassiana*, cuyo impacto se verá focalizado solamente en la plantas de café y no en la finca en su totalidad.

Si bien el manejo del sistema orgánico con el convencional difiere en ciertas prácticas, estas no han sido suficientes como para dar una diferencia altamente significativa en la composición de las comunidades de nematodos. Otras prácticas que podría modificar la composición de la comunidad de nematodos podrían ser el uso de otras especies botánicas para sombra del cafeto, lo cual permitiría diversificar las fincas, permitiendo de esta forma el desarrollo de otros grupos taxonómicos de nematodos mejorando de esta forma la cadena trófica existente, además de incorporar otros nutrientes a través el material vegetal depositado en los suelos que luego se convertiría en materia orgánica.

#### **4.2.5 Índice de madurez Yeates**

Los índices de madurez presentados en las cuatro fincas fueron similares, dentro de las cuales las fincas manejadas de forma orgánica obtuvieron valores más altos, demostrando ser suelos menos perturbados comparados con las fincas manejadas de forma convencional; sin embargo los valores presentados fueron menores a 2 que pueden asociarse con nematodos en los que sus poblaciones crecen con estrategias r o colonizadoras “c”. Para Porazinska citado por Castilla Díaz (2015). “suelos con índice de madurez alrededor de 4 pueden asociarse con nematodos cuyas poblaciones crecen con estrategias k o persistentes “p”, y podrían ser interpretados como más estabilizados, y por lo tanto, más deseables para el fomento de producciones agrícolas”

Los índices de madurez se basan en el principio de que los diferentes taxones tienen diferentes sensibilidades al estrés o perturbaciones debido a las diferencias de las características de su ciclo de vida y según Ferris y Wasilewska, citados por Castilla Díaz (2015). “la sucesión puede ser interrumpida en varias etapas por prácticas agrícolas comunes, tales como el cultivo y aplicaciones de fertilizantes y pesticidas”, por lo que el manejo agrícola implica cierto grado de perturbación en el suelo, que afecta en primer lugar a los organismos más sensibles, como predadores y omnívoros, por lo que es común que los agroecosistemas presenten bajos valores del índice de madurez, que aumenta al reducir el grado de perturbación (Ferris citado por Sánchez Moreno, *et al.* 2013).

Las fincas orgánicas presentaron dominancia de nematodos colonizadores c-p1 y c-p2 Bongers y Ferris citado por Esquivel Hernández (2011) argumentan que una mayor presencia de nematodos c-p 1 en la muestra indica abundancia de alimento, mientras que un

incremento de nematodos c-p 2 acompañado de disminución de c-p 1 y c-p 3-5 refleja “estrés”. Un incremento en la proporción de c-p 3 a c-p 5 refleja sucesión natural, producto de estabilidad ambiental. Por lo que podemos decir que los sistemas presentan un bajo índice de madurez debido a las perturbaciones realizadas durante el manejo del cultivo, pero a pesar de ello las fincas orgánicas presentan altas poblaciones de nematodos colonizadores con habito alimenticio bacterívoro y fungívoro, debido a las enmiendas orgánicas que les provee de alimento.

## 5. CONCLUSIONES

El gremio de nematodos de Vida Libre; presento diferencias de abundancia; siendo mayor en el cafetal orgánico, significando esto una mayor degradación de la materia orgánica y un mejor balance de las comunidades de nematodos.

En la relación de factores físico-químicos y diversidad alfa solo el contenido de arcilla muestra asociación en cuanto a riqueza y número equivalente de grupos taxonómicos.

La alta presencia de restos vegetales provee un alto contenido de materia orgánica, que hace las condiciones propicias para mantener una alta diversidad de géneros de nematodos y una comunidad más estable.

Los resultados obtenidos según el Índice de Madurez demuestran que todas las fincas presentan un grado de perturbación, siendo mayor en las fincas convencionales, que influye negativamente en la presencia de grupos taxonómicos con estrategia “p”, es decir los persistentes, interpretados como más estabilizados, y por lo tanto, más deseables para el fomento de producciones agrícolas.

La utilización de abonos sustituyendo la aplicación de fertilizantes químicos y la eliminación de aplicación de plaguicidas sintéticos no afecta la presencia de fitoparásitos, ya que estos son especialistas y están asociados a la planta cultivada.

Las prácticas orgánicas implican otras prácticas además de la aplicación de abonos orgánicos, por lo que utilizar prácticas aisladas no tiene un impacto fuerte sobre la abundancia de ciertos grupos de nematodos.

## 6. RECOMENDACIONES

Diversificar más las especies botánicas usadas como sombra del cafetal, que permitirá el ingreso y desarrollo de otros géneros de nematodos, además de proporcionar otros nutrientes al suelo mediante la descomposición de la hojarasca en materia orgánica.

Realizar enmiendas a base de fosforo o incorporar abonos verdes para fortalecer el sistema radicular del cafeto, permitiéndole resistir al ataque del genero *Pratylenchus* presente en todas las fincas.

Realizar diversas prácticas orgánicas en conjunto dentro de las fincas para fortalecer el sistema y permitir el desarrollo de otros nematodos y mejorar la red trófica del sistema.

Evaluar fincas en un periodo de tiempo de 3 años, para verificar el impacto de la adopción de prácticas orgánicas en la dinámica de la composición de la comunidad de nematodos.

Uso de gremios alimenticios para simplificar el estudio ya que llegar a genero implica más tiempo, conocimiento y de equipo especializado.

Se sugiere seguir evaluando en otras zonas cafetaleras de El Salvador para que los resultados sean representativos y más detallados en cuanto a la diversidad de comunidades de nematodos de suelo en respuesta a las prácticas ecológicas implementadas.

Realizar investigaciones enfocadas en el uso de índices de madurez e índices de red tróficas propuestos por Bongers en diferentes cultivos y estaciones climáticas como medida de información de las perturbaciones y condiciones de la calidad de suelos provocadas por los diferentes manejos realizados en los cultivos

Los estudios de nematodos de suelo se deben realizar en un periodo de largo plazo, con seguimiento en época lluviosa, época seca y diferentes cultivos.

Los análisis nematológicos se deben realizar cada año, ya que son una herramienta fundamental a la hora de tomar decisiones sobre control de los mismos.

## 7. BIBLIOGRAFIA

**Achicanoy, J.; Navia, J.; Betancourth, C. 2012.** Dinámica poblacional de nematodos de vida libre en diferentes usos y manejos del suelo. Revista de Ciencias Agrícolas. Colombia

**Acton, D. F., & Gregorich, L. J. 1995.** The health of our soils-towards sustainable agriculture in Canada. Centre for Land and Biological Resources Research, Research Branch, Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa, CA. 138 p.

**Acuña, O; Peña, W; Serrano, E; Pocasangre, L; Rosales, F; Delgado, E; Trejos, J; Segura, A. 2006.** La importancia de los microorganismos en la calidad y dsalud de los suelos. 1 ed. CR., 232 p.

**Altieri, M; Nicholls, C. 2000.** Teoría y práctica para una agricultura sustentable. Distrito Federal, MX. 257 p.

**Altieri, M; Nicholls, C. 2009.** Biodiversidad y manejo de plagas en agroecosistemas.Trad. M Altieri. Barcelona, ES. Icaria.248 p.

**Altieri, MA; Nicholls, CI. 2002.** Un método agroecológico para la evaluacion de la sostenibilidad de cafetales. Manejo Integrado de Plagas y Agroecologia no.64: 17–24.

**Altieri, MA; Nicholls, C. 2012.** Agroecología: única esperanza para la soberanía alimentaria y la resiliencia socioecológica. Rio+20 ,2012: 21.

**Alulima, M. 2012.** Alternativas agroecologicas para el manejo de café. s.l., Universidad de Cuenca. 106 p.

**Anacafé (Asociacion Nacional del Café). 2016.** Los nematodos del café: plaga perenne, una atencion permanente.(En Linea).Guatemala.Consultado el 20 de abr 2017. Disponible en [https://www.anacafe.org/qlifos/index.php?title=Atencion\\_a\\_los\\_Nematodos](https://www.anacafe.org/qlifos/index.php?title=Atencion_a_los_Nematodos).

**Astier, M; Maass, M; Etchevers, J. 2002.** Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. Mexico, s.e., 620 p.

**Aristizábal G. 2010.** Biodiversidad (diapositivas). s.l. 29 diapositivas.

**Bongers, T. 1990.** The Maturity Index: An ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. Oecologia. Wageningen Agricultural University.

**Bongers, T., Ferris, H. 1999.** Nematode community structure as a biomonitor in environmental monitoring. (En línea). S.l. Consultado 1 jul. 2017. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/222468256\\_Nematode\\_community\\_structure\\_as\\_a\\_bioindicator\\_in\\_environmental\\_monitoring](https://www.researchgate.net/publication/222468256_Nematode_community_structure_as_a_bioindicator_in_environmental_monitoring)

**Bosse, H.R., Lorenz, W., Merino, A., Mihm, A., Rode, K., Schmidt-Thomé, M., Weber, H.S, and Wiesemann, G. 1978.** Geologische karte der Republick El Salvador/Mitte-lamerica. 1:100,000 herausgegeben von der Bunderstalt fur Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover. Six sheets.

**Cares, JE; Huang, SP. 2012.** Nematodos del suelo. Manual de biología de suelos tropicales. 1 ed. Mexico, Instituto Nacional de Ecología, p.163–176.

**Castilla Díaz, E.D. 2015.** Influencia de factores edáficos sobre la diversidad y distribución espacial de nematodos de vida libre. Tesis. Biólogo. Sinceleo, Sucre. CO. Universidad de Sucre, Facultad de Educación y Ciencia. 98 p.

**Consejo Salvadoreño del Café (CSC). 2013.** Cultivo del café en El Salvador. 2013: 14.

**Cruz, B; Barra, E; del castillo, R; Gutiérrez, C. 2004.** La Calidad del suelo y sus indicadores. Ecosistemas.

**Departamento de Suelos a. 1992.** Metodo de Hidrometro de Bouyoucos. Guia de Laboratorio de Edafología I. Facultad de Ciencias Agronomicas. Universidad de El Salvador. El Salvador.

**Departamento de Suelos b. 1992.** Determinación de densidad aparente por metodo de cilindro de volumen conocido. Guia de Laboratorio de Edafología I. Facultad de Ciencias Agronomicas. Universidad de El Salvador. El Salvador.

**Departamento de Química Agrícola. Sf.** Metodología para determinación de análisis químico. Guía de Laboratorio de Química. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de El Salvador. El Salvador.

**Esquivel Hernández, A. 2011.** Nematodos como indicadores ambientales (en línea). Universidad Nacional: Heredia-Costa Rica. Consultado 15 jul. 2017. Disponible en: <http://www.repositorio.una.ac.cr/bitstream/handle/11056/7460/Nematodos%20como%20indicadores%20ambientales.pdf?sequence=1>

**Esquivel, A. 1996.** Influencia del suelo sobre las poblaciones de nematodos. Escuela de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional. Heredia. CR.

**FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2012.** La Biodiversidad para el mantenimiento de los Agroecosistemas.

**FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2015.** El suelo es un recurso no renovable.

**FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) s.f.** Conservación de los recursos naturales para una agricultura sostenible. (En línea). Consultado 2 jul. 2017. Disponible en: [http://www.fao.org/ag/ca/training\\_materials/cd27-spanish/sf/soil\\_fertility.pdf](http://www.fao.org/ag/ca/training_materials/cd27-spanish/sf/soil_fertility.pdf)

**FHIA (Fundación Hondureña de Investigación Agrícola). Sf.** Cómo tomar muestras de raíces y suelo para análisis de nematodos. La Lima, Cortés, HN.

**FUNDESYRAM (Fundación para el desarrollo socio económico y restauración ambiental). 2010.** Guía para la innovación de la caficultura. De lo convencional a lo orgánico. San Salvador, SV. 122p.

**Gallardo Martínez, J.A.; Díaz Valdés, T.; Ruvalcaba, L.P.; Allende Molar, R.; Valdez Torres, J.B.; Castillo Fasio, J.A. 2014.** Nematodos fitoparásitos y su relación con factores edáficos de papaya en Colima, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 251–257p.

**García Salazar, J.M. 2012.** Densidad y diversidad de nematodos en sistemas agroforestales de café en asocio con bananos y sombra de leguminosas en Jinotega, Nicaragua. Tesis Mag.SCc. Turrialba, CR, CATIE, 94 p.

**García, F.T. 2010.** Microbiología del suelo. Consultado 15 may 2015. Disponible en [http://www.florgarcia.com/wp-content/uploads/2011/11/MICROBIOLOGIA\\_DEL\\_SUELO.pdf](http://www.florgarcia.com/wp-content/uploads/2011/11/MICROBIOLOGIA_DEL_SUELO.pdf)

**George, A. 2006.** Estudio comparativo de indicadores de calidad de suelo en fincas de café orgánico y convencional y convencional en Turrialba, Costa Rica. (Tesis). Mag. Sc. Turrialba, CR. CATIE. 118 p.

**Glanz, J. 1995.** Saving our soil: solutions for sustaining earth's vital resource (en línea). Consultado 20 ab.r 2017. Disponible en: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US9563871>.

**Gliessman, SR. 2015.** Agroecology. 3 ed. Boca Raton, FI, CRC Press, 386 p.

**Hart, R. 1985.** Conceptos básicos sobre agroecosistemas. Turrialba, Costa Rica, s.e., 161.

**Huang, S. P.; Cares, J. E. 2006.** Nematode communities in soils under different land-use systems in Brazilian amazon and savanna vegetation. CABI Publishing, London, pp. 163–183.

**Johnson, D. L., Ambrose, S. H., Bassett, T. J., Bowen, M. L., Crummey, D. E., Isaacson, J. S., Winter-Nelson, A. E. 1997.** Meanings of environmental terms. Journal of Environmental Quality, 26(3), 581–589

**Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G., Harris, R. F., & Schuman, G. E. 1997.** Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). Soil Science Society of America Journal, 61(1), 4–10.

**López-García, D; Llorente-Sánchez, M. 2010.** La agroecología:hacia un nuevo modelo agrario. Ed. Ecologistas en acción. 1 ed. Castilla, s.e., 43-46 p.

**MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2014.** Hidrología de El Salvador (en línea). consultado 22 mayo 2015. disponible en: <http://www.snet.gob.sv/ver/hidrologia/archivo+historico/adquisicion+de+datos/>.

**Moreira, F.; E. J. Huising y D. E. Bignell. 2012.** Manual de biología de suelos tropicales. Muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo suelo. Instituto Nacional de Ecología. México. P.163-176

**Oksanen, J; Blanchet, FG; Kindt, R; Legendre, P; Minching, P; O'hara, R; Simpson, G; Solymos, P; Stevens, MHH; Wagner, HH. 2016.** Vegan: Community Ecology Package.

**Peraza Padilla, W. 2010.** Nematofauna asociada al cultivo de café (*Coffea arabica*) orgánico y convencional en Aserri, Costa Rica. (En línea). Universidad de la Amazona. Consultado 2 jul. 2017. Disponible en:

[https://www.researchgate.net/publication/236900667\\_Nematofauna\\_asociada\\_al\\_cultivo\\_de\\_cafe\\_coffea\\_arabica\\_organico\\_y\\_convencional\\_en\\_Aserri\\_Costa\\_Rica](https://www.researchgate.net/publication/236900667_Nematofauna_asociada_al_cultivo_de_cafe_coffea_arabica_organico_y_convencional_en_Aserri_Costa_Rica)

**R. Core Team (2016).** R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for statistical computing. Vienna, Austria.

**Ramón de Lara, A.; Castro, B.; Castro, M.; Castro, M; Malpica, S. 2003.** La importancia de los nematodos de vida libre. (En línea). Departamento El Hombre y su Ambiente. División de CBS UAM-Xochimilco. MX. Consultado 22 jun. 2017. Disponible en: <http://www.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n48ne/nematodo.pdf>

**Ricklefs, R.E; Miller, G.L. 1999.** Ecology. 4 ed. Ed. W.H. Freeman. New York. US

**Salmerón, F; Salazar, D. 2014.** Estudio sobre los aportes del modelo de producción agroecológico tanto a la seguridad, soberanía alimentaria y nutricional (SAN), como al desarrollo sostenible en fincas de pequeños productores en Honduras, El Salvador y Nicaragua. *In* Protocolo de investigación regional. Managua, NI. 17 p.

**Sánchez Moreno, S., Talavera, M. 2013.** Los nematodos como indicadores ambientales en agroecosistemas. (En línea). España. Consultado 1 jul. 2017. Disponible en: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/viewFile/765/693>

**Segnini, S. 1995.** Medición de la diversidad en una comunidad de insectos. *10* (1), 105-13.

**Socarrás, A. 2013.** Mesofauna edáfica: indicador biológico de la calidad del suelo. Pastos y forrajes 36(1): 5-13.

**Sonco, S.R. 2013.** Estudio de la diversidad alfa ( $\alpha$ ) y beta ( $\beta$ ) en tres localidades de un bosque montano en la región de Madidi, La Paz, Bolivia. Tesis Ing.Agr. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés. 154 p.

**Spellerberg, I. F. 1991.** Monitoring ecological change Cambridge University Press. Cambridge, UK.

**Torres Arias, G.; Saleh Vargas, D.A. 2013.** Muestreos de suelo y foliar en cultivo de café. Programa de Café del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal “Enrique Álvarez Córdova” (CENTA). La Libertad, El Salvador.

**Wang, Y; Naumann, U; Wright, ST; Warton, DI. 2012.** Mvabund- an R package for model-based analysis of multivariate abundance data. *Methods in Ecology and Evolution* 3(3): 471–474.

**Whashington. 1978.** Control de nematodos parásitos de plantas. Limusa.

## 8. ANEXOS

### A-1. Fórmulas para determinación de textura de suelo

El cálculo del porcentaje de arena en la muestra se hizo mediante la fórmula siguiente:

$$\% \text{ LIMO} + \text{ARCILLA} = \frac{\text{Lectura corregida a los 40 segundos}}{\text{Peso seco del suelo}} \times 100$$

$$\% \text{ ARENA} = 100 - (\% \text{ LIMO} + \text{ARCILLA})$$

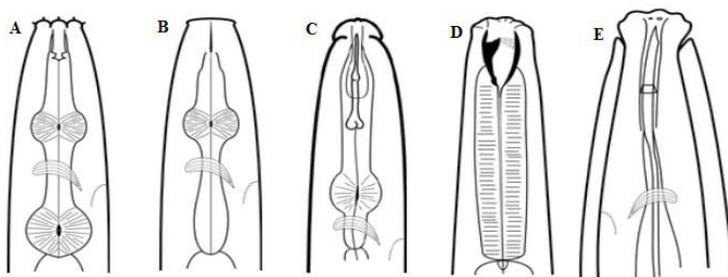
El cálculo de porcentaje de arcilla en la muestra se hizo mediante la fórmula siguiente:

$$\% \text{ ARCILLA} = \frac{\text{Lectura corregida a las dos horas}}{\text{Peso seco del suelo}} \times 100$$

El cálculo de porcentaje de limo en la muestra se hizo mediante la fórmula siguiente:

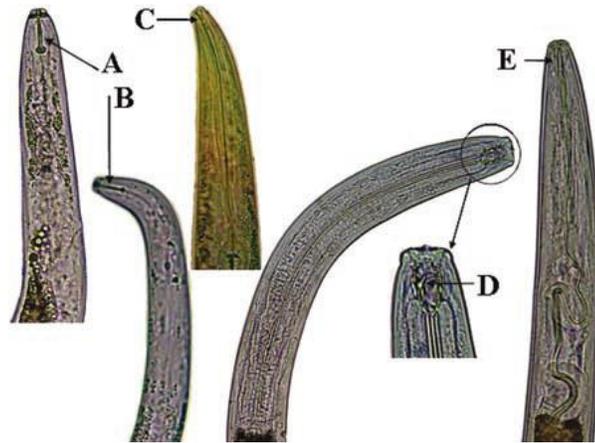
$$\% \text{ LIMO} = (\% \text{ LIMO} + \text{ARCILLA}) - \% \text{ ARCILLA}$$

La determinación del nombre la textura se realizó interpretando los valores obtenidos de los cálculos de arena, limo y arcilla en el triángulo textural.



**Figura A-2. Clasificación de los nematodos según su estructura bucal**

(A) Bacterivoros, (B) Fungivoros, (C) Fitófagos (D) Predadores y (E) Omnivoros.



**Figura A-3. Fotomicrografías de la región anterior en las que se muestra el aparato bucal de nematodos de suelo pertenecientes a diferentes grupos funcionales:**

a) Parásito de plantas; b) fugitivos; c) bacterívoros; d) depredador; e) omnívoro.



**Figura A-4. Muestreo**

**A.** Proceso de extracción de muestra para determinación de la densidad aparente. **B.** Toma de muestras de suelo para fertilidad. **C.** Toma de muestra para nematodos

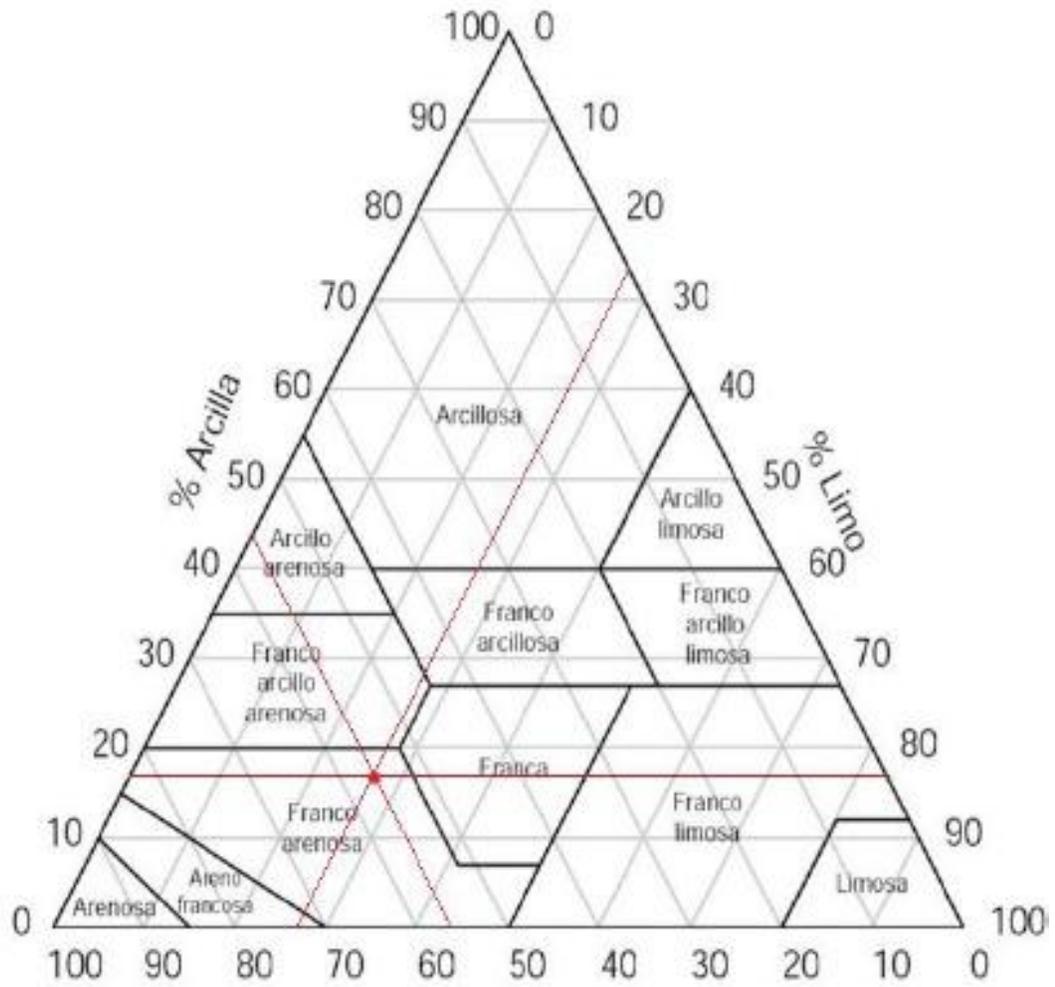


Figura A-5 Diagrama textural para la muestra de suelo



**Figura A-6: Extracción de nematodos con método centrifugación – flotación**

**A.** muestra de 100 ml; **B.** Desintegración de terrones; **C.** Tamizado en 60 mesh de sobrenadante; **D** y **E.** lavado de tamices; **F.** solución tamizada en tubos de centrifugadora; **G** y **H.** centrifugación 5 min a 3,500 rpm; **I.** decantación de sobrenadante y colocación de solución azucarada mezclado con el suelo; **J.** centrifugación 2 min a 3500 rpm; **K.** decantación de solución azucarada en taza evaporadora con agua; **L.** tamizado y lavado de solución azucarada en 500 msh; **M.** Recogido de lavado en taza evaporadora; **N.** muerte de nematodos con temperatura de 45°C; **O.** Frascos etiquetados nematodos fijados con formalina en volumen conocido.



**Figura A-7. Identificación y conteo de Nematodos**

**A, C y E.** captura de nematodos observados en estereoscopio; **B.** identificación y conteo en cámara de neubauer; **D.** muestra de 2ml en estereoscopio; **F.** observación de nematodo cazado en microscopio

**Cuadro A-8 Nematodos colectados en Fincas Orgánicas y Convencionales**

Familia	Genero	Grupo Trófico	Org 1	Orgo 2	Conv 1	Conv 2
v/l		Vida Libre	900	148	48	132
Aphelenchidae	Aphelenchus	Fungívoro	52	24	16	32
Aphelenchoididae	Aphelenchoides	Fungívoro	72	20	4	12
Cephalobidae	Acrobeles	Bacterívoro	12	8	4	0
Criconematidae	Criconemoides	Fitoparásito	8	36	0	4
	Ogma	Fitoparásito	16	0	0	0
	Discocriconemella	Fitoparásito	0	0	84	72
	Hemicriconemoides	Fitoparásito	0	0	4	0
Dhiptherophoridae	Diptherophora	Fitoparásito	12	0	0	0
Dolichodoridae	Tylenchorhynchus	Fitoparásito	0	0	0	8
Dorylaimidae	Dorylaimus	Omnívoro	40	16	0	4
Hoplolaimidae	Helicotylenchus	Fitoparásito	120	24	20	200
	Rotylenchus	Fitoparásito	8	0	0	24
	Rotylenchulus	Fitoparásito	4	8	8	8
Longidoridae	Xiphinema	Fitoparásito	16	4	0	0
Meloidogynidae	Meloidogyne	Fitoparásito	16	0	4	8
Mononchidae	Mononchus	Depredador	8	0	4	0
	Mylonchulus	Depredador	24	8	0	0
Pratylenchidae	Paratylenchus	Fitoparásito	20	24	12	0
	Pratylenchus	Fitoparásito	168	0	68	4
Rhabditidae	Rhabditis	Bacterívoro	520	148	104	116
Trichodoridae	Paratrichodorus	Fitoparásito	12	0	0	16
Tylenchidae	Psilenchus	Fitoparásito	0	0	0	4
	Trophurus	Fitoparásito	4	0	0	0
	Tylenchus	Fitoparásito	68	16	16	12
<b>Total por Finca</b>			<b>2100</b>	<b>484</b>	<b>396</b>	<b>656</b>
<b>TOTAL GLOBAL</b>			<b>3636</b>			

**Cuadro A-9. Parámetros de textura del suelo de las fincas orgánicas y convencionales.**

FINCAS	% ARCILLA	% LIMO	% ARENA	TEXTURA
ORGANICO1	28	38	34	FRANCO ARCILLOSO
ORGANICO2	14	52	34	FRANCO LIMOSO
CONVENCIONAL1	16	24	60	FRANCO ARENOSO
CONVENCIONAL2	16	34	50	FRANCO

**Cuadro A-10. Clasificación de la porosidad del suelo.**

Rango	Clasificación
> 70	Porosidad excesiva
55 -65	Porosidad excelente
50 -55	Porosidad satisfactoria
<50	Porosidad no satisfactoria
40 -25	Porosidad deficiente

**CuadroA-11. Valor cp para Índice de Madurez**

Familia	Valor cp
Aphelenchidae *	2
Aphelenchoididae *	2
Cephalobidae *	2
Criconematidae	3
Dhiptherophoridae	3
Dolichodoridae	3
Dorylaimidae *	4
Hoplolaimidae	3
Longidoridae	5
Meloidogynidae	3
Mononchidae *	4
Pratylenchidae	3
Rhabditidae *	1
Trichodoridae	4
Tylenchidae	2

\*Nematodos de vida libre