

Comunidades y grupos funcionales de nemátodos indicadores de la calidad del suelo en dos sistemas de manejo de cafetal en la zona oriental de el salvador

Escamilla-Valdez, JJ
Estudiante Tesista
Departamento de Protección Vegetal
Facultad de Ciencias Agronómicas
Universidad de El Salvador.
Correo electronico: juliana_210392@hotmail.com

Guzmán-Díaz, CJ
Estudiante Tesista
Departamento de Protección Vegetal
Facultad de Ciencias Agronómicas
Universidad de El Salvador.
Correo electronico: Cris_guzmn@hotmail.com

Arreaga-Monge, KR
Estudiante Tesista
Departamento de Protección Vegetal
Facultad de Ciencias Agronómicas
Universidad de El Salvador.
Correo electronico: Rafael55a.a@gmail.com

Rivas-Flores, AW
Docente Director
Departamento de Protección Vegetal
Facultad de Ciencias Agronómicas
Universidad de El Salvador.

Paniagua-Cienfuegos, MR
Docente Director
Departamento de Protección Vegetal
Facultad de Ciencias Agronómicas
Universidad de El Salvador.

Aguirre-Castro, CA
Docente Director
Departamento de Recursos Naturales
Facultad de Ciencias Agronómicas
Universidad de El Salvador.

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, El Salvador, a una altura promedio de 879 msnm con el objetivo de caracterizar las comunidades de nemátodos 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 nemátodos, por cada finca se tomaron muestras de suelo por el método del transepto en zigzag en las que se midieron parámetros físico-químicos del suelo y la composición de las comunidades de nemátodos en cada uno de los sistemas. Se estimó la diversidad alfa y beta de las comunidades de nemátodos 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 nemátodos 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 nemátodos ($p=0.042$). Al evaluar la abundancia de cada grupo taxonómico de manera individual se observó que los nemátodos de vida libre ($p=0.005$) y el género *Discocriconemella* ($p=0.007$) mostraron diferencias entre los sistemas. Se determinó una alta dominancia de nemátodos 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 nemátodos 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 clave: Cafetales, Nemátodos, edáficos, Calidad, suelo, Diversidad, Alfa, Diversidad, Beta, Índice, madurez.

Abstract

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 msnm 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 *Discocriconemella* ($p = 0.007$) 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.

Introducción

El suelo es un sistema vivo donde existe un equilibrio dinámico entre los organismos que lo habitan. 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 calidad de suelo es la capacidad de este 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). El uso de indicadores de la calidad del suelo es una herramienta rápida para la toma de decisiones, ya que estos son sensibles al manejo en el corto, mediano y largo plazo. Para medir la calidad del suelo se utilizan diferentes indicadores, representados por variables sensibles al deterioro o a la recuperación, estos indicadores pueden ser: Químicos, Físicos y Biológicos (García 2012). 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 conllevan a la disminución de la estabilidad de los procesos ecológicos dentro de los cuales se incluyen la fertilidad del suelo (Acuña *et al.* 2006).

Los nemátodos edáficos constituyen un grupo de invertebrados de elevada importancia ecológica y económica, siendo especialmente sensibles a las prácticas de manejo agrícola y a los contaminantes ambientales; pudiendo 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). La primera base sólida que afianzó la ecología de nemátodos la estableció Tom Bongers en 1990, cuando clasificó todas las Familias de nemátodos terrestres y acuáticos en la escala colonizador-persistente (cp) (Bongers 1990), una escala discreta de cinco grupos 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 (IM) tiene en cuenta la contribución promediada de cada uno de los grupos cp a la comunidad de nemátodos, de forma que suelos con mayores valores del IM presentan mayores contribuciones de los nemátodos más sensibles a las perturbaciones, consiguiendo así un

indicador del estado de sucesión ecológica (Bongers 1990). Los nemátodos 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, menos sensibles que los nemátodos 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). 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 objetivo principal de la investigación fue caracterizar las comunidades de nemátodos 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 en los sistemas de producción con manejo orgánico y convencional.

Materiales y Métodos

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 (Cuadro 1). Las cuales se encuentran geográficamente ubicadas en el municipio de Jucuapa, departamento de Usulután y Chinameca departamento de San Miguel, El Salvador, de 559 a 938 msnm y en 13°28'13.62" Norte y -88°124'17.72 Oeste, 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). La investigación se realizó en el periodo comprendido de octubre de 2015 al 2016.

Cuadro 1. Manejo de las parcelas de los sistemas orgánico y convencional

Criterio	Orgánico 1	Orgánico 2	Convencional 1	Convencional 2
Altitud	938 m.s.n.m.	687 m.s.n.m	578m.s.n.m	678m.s.n.m
variedad	Bourbon	Bourbon, Cuscatleco, Pacas y Catisic	Bourbon, Catisic y cuscatleco	Bourbon, Cuscatleco, Pacas y Catisic
Edad de la plantación	19 años	Entre 4 a 10 años	Entre 2 a 20 años	Entre 4 a 15 años
Fertilización	Bocashi, biofertilizantes, microorganismos de montaña	Bocashi, biofertilizantes,	Formula 15-15-15 y Fertilizantes foliares	Formula 15-15-15
Control de plagas		Biologico con <i>Beauveria bassiana</i>	Químico (amistar)	Quimico (amistar)
Control de plantas arvenses	Manual	Manual	Manual y Químico a base de Glifosato (Root out)	Manual
Especies de sombas	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>), Nispero (<i>Manilkara zapota</i>),	Pepeto (Inga sp.), 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 Museaceas (<i>Musaceae</i>), Pepeto (<i>Inga sp.</i>)	Laurel (<i>Cordia alliodora</i>), Pepeto (Inga sp.), 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>)
Regulación de sombra	No	No	No	No

Fase de campo

Delimitación de parcelas

En las dos parcelas orgánicas y dos parcelas convencionales, se delimitó un área de muestreo de 1 mz aproximadamente evitando los linderos.

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 (5 cm de diámetro y 5 cm de altura), se limpió y quito la capa de hojarasca y se introdujo completamente el cilindro en el suelo a una profundidad de 5 cm, se excavó para poder sacarlo y se colocó el suelo dentro del cilindro en una bolsa ziploc y se trasladaron al laboratorio de química donde se colocaron en una estufa a 105 °C, por 24 horas. Se homogenizaron las 10 muestras y se tomaron 50 gr de suelo para determinación de textura.

Toma de muestra de suelo para fertilidad química

Se tomaron 10 sub muestras para fertilidad química siguiendo un patrón de zig-zag 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, debidamente rotuladas se llevaron al laboratorio para determinar: %MO, pH, Nitrógeno, Fosforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Cobre, Hierro Y Zinc.

Toma de muestras para nemátodos

Se realizó 10 puntos de muestreo por cada finca siguiendo un patrón de zig-zag. Cada punto 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, descartando hojarasca y la primera capa superficial de aproximadamente dos centímetros tomando 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.

Fase de Laboratorio

Determinación de textura de suelo

Se determinó la textura por medio del método de hidrómetro de Bouyoucos, en el que se utilizó 50 g de suelo de muestra por finca. Se tomó la lectura del Hidrómetro de Bouyoucos en g/ml y se restó las lecturas corregidas por temperatura, luego se realizaron los cálculos de porcentaje de arena, limo y arcilla, que se leyeron en un triángulo textural para la clasificación de los suelos.

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 nortehlich 1, y el método de Espectrofotometría de absorción atómica.

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

Extracción de nemátodos 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 el procesamiento de 100 ml de muestra de suelo por cada punto; para lo cual se agregó 100 ml de agua en un beaker y luego se colocó muestra de suelo hasta llegar a un volumen de 200 ml, que pasó a un recipiente en donde se disolvieron los terrones y se dejó reposar por dos minutos, se tamizó el sobrenadante del recipiente en un tamiz de 60 mesh, y se repitió tres veces.

El tamizado se colectó en una cubeta y se pasó por dos tamices de 325 mesh al mismo tiempo, se lavaron los dos tamices con una pizeta y se depositó en una taza evaporadora que pasó a un tubo de centrifuga identificado, se llevó a centrifugar por 5 minutos a 3,500 rpm, se decantó el sobrenadante y se agregó el doble del volumen de solución azucarada (484 g/L) se agitó y se centrifugó de nuevo a 3500 rpm durante dos minutos. Se colocó la solución azucarada en una taza evaporadora con agua para evitar que los nemátodos se dañaran, luego se pasó por un tamiz de 500 mesh y se lavaron para eliminar el azúcar procurando no botar lo recolectado en la superficie, una vez eliminado el azúcar se lavó la malla con agua y se recolectó el lavado en una taza evaporadora. Luego se procedió a la muerte de los nemátodos llevando la muestra a una temperatura de 45°C, se pasó a unos frascos etiquetados y se agregaron 10 gotas de formalina pura, se dejó reposar para llevar las muestras a un volumen de 8 ml.

Reconocimiento taxonómico de nemátodos

La identificación taxonómica y contabilización se realizó a nivel de género presentes en 2 ml de la muestra total con la ayuda de la cámara de Neubauer que se observó bajo el microscopio compuesto, para su captura se utilizó una astilla de bambú con punta muy fina y la ayuda del estereoscopio. Una vez contabilizados los nemátodos se extrapoló en donde se multiplicó por 8 ml y dividió entre 2, para obtener el total de individuos en un volumen de 8 ml. La clasificación por grupos tróficos, fue conformado por 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.

Metodología estadística

Se estimó la diversidad alfa mediante la serie de números de Hill y beta de las comunidades de nemátodos de suelo de las parcelas orgánicas y convencionales en estudio mediante la similitud de comunidades, análisis multivariante basados en modelos usando grupos taxonómicos y gremios mediante un modelo lineal generalizado (glm) multivariante con distribución binomial negativa y función de enlace logarítmica para evaluar el impacto del tipo de manejo y parámetros físicos químicos, los modelos fueron llevados a cabo con la función `manyglm` del paquete “`mva`” (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). Determinación del Índice de madurez mediante frecuencia relativa de cada género, los valores c-p asignado por Bongers (1990) y el total de individuos.

Índice de Madurez

Este índice se determinó teniendo en cuenta la frecuencia relativa de cada género, los valores c-p asignado por Bongers y el análisis de los grupos

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

tróficos de la comunidad de nemátodos 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 fórmula usando solo nemátodos de vida libre:

Dónde:

v_i = frecuencia relativa del género.

f_i = valor del c-p para el género.

n = total de individuos

Resultados y Discusión

Características de la finca

Características resultantes del análisis del suelo (fertilidad física)

Las cuatro fincas presentaron densidades bajas, siendo la menor de 0.80 g/cc y la mayor de 0.95 g/cc, denotando suelos ricos en humus y que generaron una propiedad porosa con un máximo de 69.83% y una mínima de 64.18% considerada como excelente bien aireado, con buen drenaje y favorece la penetración de las raíces y por consiguiente un buen desarrollo de las plantas. Con texturas consideradas como medianas, obteniendo una Franco arcilloso para la orgánico 1, Franco Limoso en la orgánico 2, Franco arenoso en la convencional 1 y textura Franca para la convencional 2 (Cuadro 2).

Cuadro 2. Parámetros físicos de las fincas orgánicas y convencionales.

FINCAS	Promedio Densidad Aparente (g/cc)	Porcentaje Promedio de Porosidad (%)	Clase Textural
ORGÁNICO 1	0.94	64.64	Franco Arcilloso
ORGÁNICO 2	0.95	64.18	Franco Limoso
CONVENCIONAL 1	0.95	64.18	Franco Arenoso
CONVENCIONAL 2	0.80	69.83	Franco

Resultados de análisis químico del suelo

Los resultados demuestran valores de pH de 5.7 a 5.9 que los clasifica como moderadamente ácido. FUNDESYRAM (2010), describe para el café un rango óptimo de 5.5 a 6.5. Con respecto al porcentaje de materia orgánica se obtuvieron buenos aportes siendo más alto con 8.14% para la Convencional 2, mientras que la finca convencional 1 presentó el aporte más bajo con 5.13% en comparación de las demás (Cuadro 3). Los nutrientes principales de todas las fincas: Nitrógeno (N) y Potasio (K), presentaron una muy alta disponibilidad de estos con relación a los niveles establecidos por CENTA a excepción del Fósforo (P) que presentó valores muy bajos (Cuadro 4) pudiendo afectar el buen desarrollo radicular del café volviéndolo susceptible al ataque de los nemátodos fitoparásitos; en el caso del Calcio y Magnesio presentaron 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 presentó valores altos de aporte de Cobre y Hierro (Cuadro 5).

Cuadro 3. Rango de pH y materia orgánica por fincas.

FINCAS	Ph	Escala	MO %	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

Cuadro 4. Análisis químico de macronutrientes de las fincas orgánicas y convencionales.

FINCAS	N%	P ppm	Grado de disponibilidad de P	K ppm	Grado de disponibilidad de K
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

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

Comunidades de nemátodos

Abundancia relativa

De las cuatro fincas muestreadas se obtuvo un total de 3,636 individuos. Estos pertenecen a 15 Familias y 24 géneros que se distribuyeron de la siguiente manera por sistema: en el orgánico se colectaron 2,584 individuos (71%); y en el convencional 1,052 individuos (29 %) (Fig. 1).

De acuerdo a la separación por grupo trófico la distribución por sistemas de manejo fue la siguiente; 2,584 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. En las fincas Convencionales de un total de 1052 individuos 44.87% pertenece a Vida libre, 54.75% a Fitoparásitos y un 0.38% a Depredadores (Fig. 2).

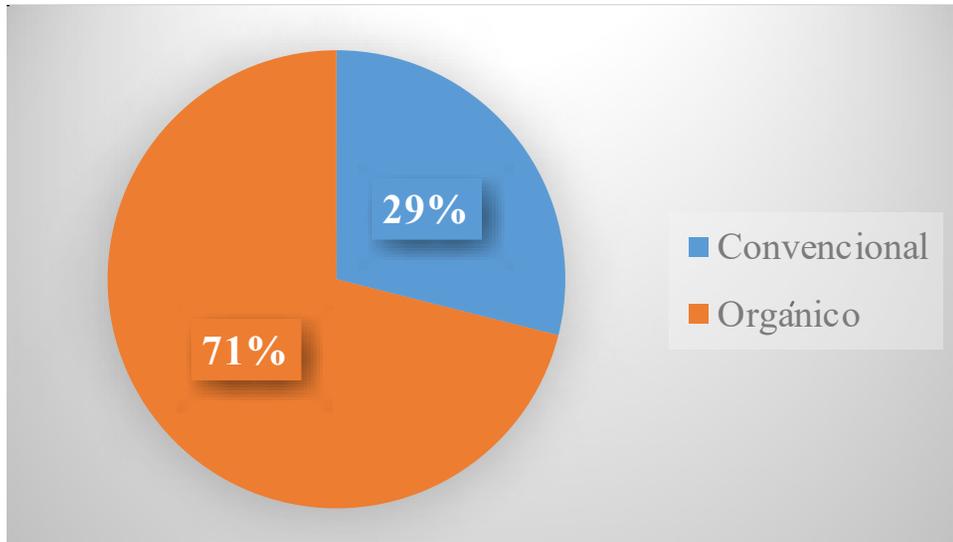


Figura 1. Distribución en porcentaje de los individuos recolectados en los sistemas orgánico y convencional.

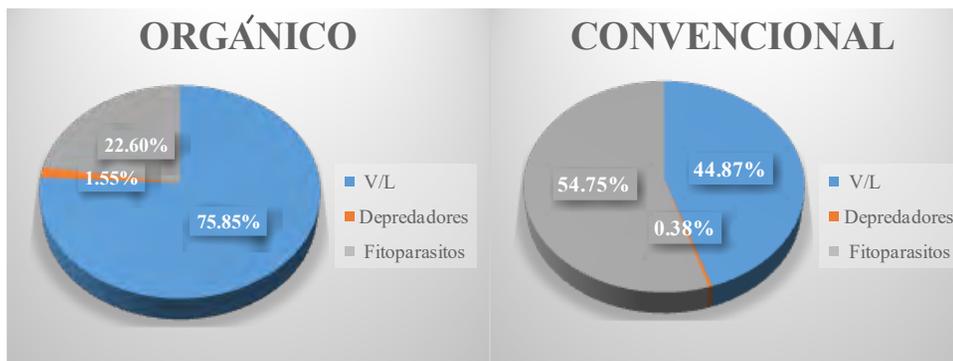


Figura 2. Porcentaje de nemátodos por gremios en fincas orgánicas y convencionales.

Diversidad Alfa

Números de Hill

La finca orgánica 1 presentó la mayor riqueza ($q=0$) con 22 grupos taxonómicos, mientras que la finca orgánica 2 con 14 grupos taxonómicos presentan la menor riqueza. En cuanto al número equivalente de especies ($q=1$) la finca convencional 1 presentó el valor más alto con un número equivalente de grupos taxonómicos aproximado a 9, siendo menos equitativa la finca orgánica 1 con un número equivalente de grupos taxonómicos aproximado a 7. En relación a la dominancia de individuos, cuando ($q=3$), la finca orgánica 1 presentó mayor dominancia con solo 4 grupos taxonómicos, en relación a las fincas convencionales 1 y 2 donde el número de dominio está siendo dado por 6 grupos taxonómicos (Cuadro 6).

Cuadro 6. 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

Efecto de las prácticas de manejo en la diversidad alfa

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. Esto puede deberse a que el sistema manejado de forma orgánica proporciona las condiciones ideales para el desarrollo de otros grupos taxonómicos. De igual forma Peraza (2010), reportó que en un sistema orgánico, la comunidad de nemátodos es más diversa y con una mayor dominancia de géneros de nemátodos 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.

Relación entre parámetros físico - químicos y diversidad alfa

Existe una relación entre la riqueza de grupos taxonómicos y los parámetros físico químicos ($R^2=0.344$, $P<0.001$), de los cuales solo el contenido de arcilla mostro cierta asociación con la riqueza de grupos taxonómicos $P<0.001$ y el número equivalente de grupos taxonómico $P<0.035$.

Asociación de factores físicos químicos del suelo en la composición de la comunidad de nemátodos

Los nemátodos se ven afectados por propiedades físicas y químicas sin embargo solo se observó relación entre el contenido de arcilla y la riqueza y número equivalente de grupos taxonómicos. Lo anterior concuerda con Castilla (2015), quien reportó mayor riqueza de nemátodos 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 nemátodos. Por eso es importante la textura y estructura del suelo sobre la presencia de nemátodos ya que según Wallace citado por Esquivel (1996), hay un “tamaño óptimo de partícula para el movimiento de cada especie de nematodo”, afectando la facilidad con la que los nemátodos 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 mostraron relación alguna, lo cual puede deberse a los pequeños rangos de diferencia de pH para que las comunidades de nemátodos 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 parte de la materia orgánica.

Diversidad Beta

Similitud de comunidades

La composición de grupos taxonómicos de las comunidades de nemátodos, presenta poco traslape entre los sistemas de manejo “orgánico” y “convencional”, por lo que no presentan diferencias en cuanto a la composición de sus comunidades de nemátodos, siendo diferentes entre los sistemas ($P=0.329$) (Fig. 3).

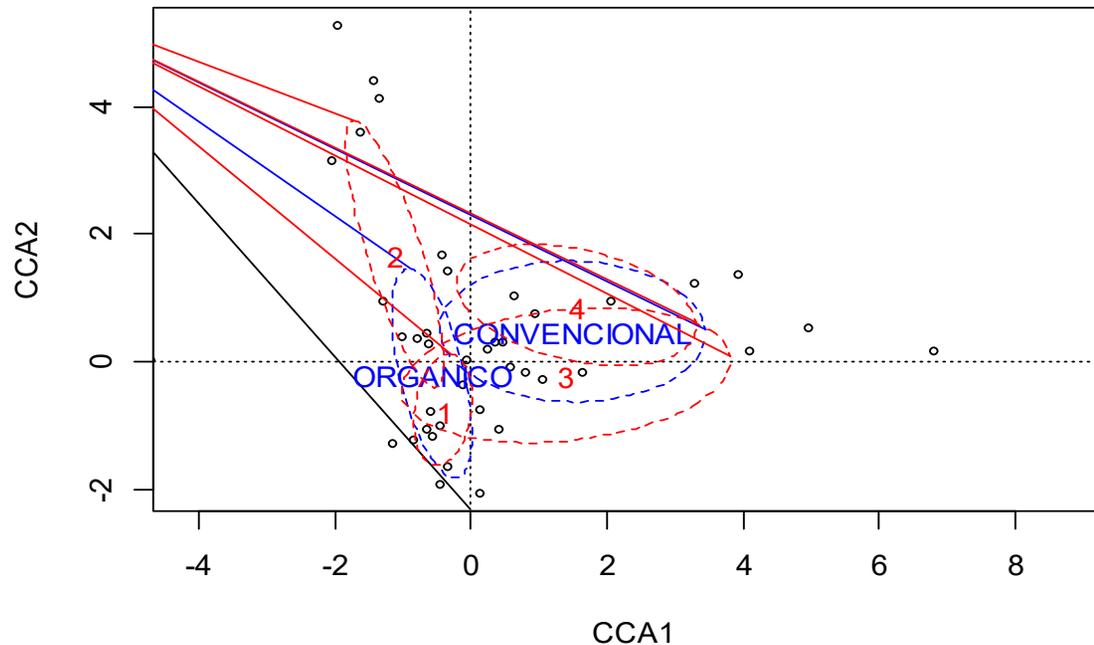


Figura 3. Biplot del análisis de correspondencias canónica entre las fincas convencionales y orgánicas.

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 convencionales con respecto a las orgánico (P=0.002) y que la densidad aparente tiene un impacto en la diferencia de la composición de las comunidades de nemátodos (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 factores evaluados, solo el grupo de vida libre (P=0.005) y el género *Discocriconemella* (P=0.007) mostraron diferencias en su abundancia entre el sistemas.

Composición de la comunidad de nemátodos en respuesta a las prácticas de manejo

La composición de las comunidades de nemátodos difiere entre los sistemas orgánico y convencional, que se ve influenciado por la densidad aparente, la cual proporciona información acerca de la dureza, el movimiento de agua, lo que concuerda con lo planteado por Esquivel (1996), que el “movimiento de los nemátodos en el suelo está relacionado con el diámetro de los poros, el diámetro del nematodo y la cantidad de agua en el espacio poroso. Por lo que las diferencias en la densidad aparente de los suelos proporcionara las condiciones adecuadas para el desarrollo de ciertos grupos taxonómicos. Dentro de estas comunidades de nemátodos solo los de vida libre y el género *Discocriconemella* mostraron diferencias en su abundancia entre el sistema de manejo orgánico y el convencional. De igual forma George (2006), reportó que existe una tendencia muy clara por el mayor número de nemátodos de vida libre (saprozoicos) en las fincas orgánicas y específicamente en el tratamiento CMO (Café-Musa orgánico).

La aplicación de bocashis, biofertilizantes inoculan al suelo bacterias lácticas, actinomicetos, levaduras, hongos de fermentación, entre otros, según Ramón de Lara *et al.* (2003) estos son una fuente de alimentación de algunos nemátodos como el caso de los de vida libre. Los nemátodos fitoparásitos no presentaron diferencias entre los dos sistemas de manejo, debido a que estos son especialistas de ciertas plantas o disponen de hospederos idóneos, 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 nemátodos fitoparásitos.

Análisis multivariante basados en modelos utilizando grupos tróficos

La abundancia de cada uno de estos grupos analizados en su conjunto, presentó diferencia entre los dos tipos de manejo (P=0.003). Al analizar la abundancia de los grupos por separado se observó que la abundancia de nemátodos Fitoparásitos (P=0.7524) como los Depredadores (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.

Respuesta de los grupos tróficos

Se observó diferencia entre los sistemas de manejo, siendo el grupo de Vida Libre el que presenta mayor diferencia entre ambos, 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; siendo similares a los obtenidos ya que en los nemátodos de vida libre se agruparon a los nemátodos bacterívoros.

Impacto de prácticas orgánicas en la composición de la comunidad de nemátodos

La composición de la comunidad de nemátodos es influencia 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 mejorando la estructura del suelo, permitiendo una adecuada circulación del aire y el agua, permitiendo las condiciones para el desarrollo de otros nemátodos. Aunque 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 nemátodos.

Índice de madurez (IM)

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 IM de 1.27 (Cuadro 7).

Cuadro 7. 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
Rhabditiidae	1	520	0.71	148	0.66	104	0.79	116	0.71
TOTAL			1.48		1.55		1.27		1.34

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 se asocian con nemátodos con estrategias “r” o colonizadoras “c”. Según Ferris y Wasilewska, citados por Castilla (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, *et al.* 2013).

Las fincas orgánicas presentaron dominancia de nemátodos colonizadores c-p1 y c-p2 Bongers y Ferris citado por Esquivel (2011), argumentan que una mayor presencia de nemátodos c-p 1 indica abundancia de alimento, mientras que un incremento de nemátodos c-p 2 acompañado de disminución de c-p 1 y c-p 3-5 refleja “estrés”. Por lo 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 nemátodos colonizadores con hábito alimenticio bacterívoro y fungívoro, debido a las enmiendas orgánicas que les provee de alimento.

Conclusiones

Existen diferencias de abundancia de nemátodos de Vida Libre entre los sistemas, siendo más abundantes en el cafetal manejado de forma orgánico.

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 nemátodos de vida libre.

El Índice de Madurez demuestra que todas 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 y la eliminación de aplicación de plaguicidas sintéticos no afectan la presencia de fitoparásitos, ya que estos son especialistas y están asociados a la planta cultivada.

El uso de prácticas orgánicas proporciona los medios para el desarrollo de una diversidad de nemátodos de vida libre que pudieran mejorar la estabilidad del ecosistema y generar redes tróficas complejas; sin embargo utilizar prácticas orgánicas aisladas no tiene un impacto fuerte sobre la abundancia de grupos de nemátodos Fitoparásitos.

Recomendaciones

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

Realizar enmiendas a base de fósforo o incorporar abonos verdes para fortalecer el sistema radicular del cafeto, permitiéndole resistir al ataque del género *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 nemátodos 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 nemátodos.

Uso de gremios alimenticios para simplificar el estudio ya que llegar a género implica más tiempo y conocimiento.

Se debe de 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 nemátodos 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 nemátodos 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.

Agradecimientos

Expresamos nuestros más sinceros agradecimientos 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 por su colaboración, tiempo y conocimientos impartidos para el logro de estos objetivos.

Bibliografía

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

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.

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.I. Consultado 1 jul. 2017. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/222468256_Nematode_community_structure_as_a_bioindicator_in_environmental_monitoring

Cares, JE; Huang, SP. 2012. Nemátodos 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 nemátodos de vida libre. Tesis. Biólogo. Sincelejo, Sucre. CO. Universidad de Sucre, Facultad de Educación y Ciencia. 98 p.

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 Quimica Agricola. Sf. Metodologia para determinacion de analisis quimico. Guia de Laboratoio de Quimica. Facultad de Ciencia Agronomicas. Universidad de El Salvador. El Salvador.

Esquivel Hernández, A. 2011. Nemátodos 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/Nemátodos%20como%20indicadores%20ambientales.pdf?sequence=1>

- Esquivel, A. 1996. Influencia del suelo sobre las poblaciones de nemátodos. Escuela de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional. Heredia. CR.
- 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
- FHIA (Fundacion Hondureña de Investigación Agrícola). Sf. Cómo tomar muestras de raíces y suelo para análisis de nemátodos. 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 Martinez, J.A.; Díaz Valdés, T.; Ruvalcaba, L.P.; Allende Molar, R.; Valdez Torres, J.B.; Castillo Fasio, J.A. 2014. Nemátodos fitoparásitos y su relación con factores.
- García Salazar, J.M. 2012. Densidad y diversidad de nemátodos en sistemas agroforestales de café en asocio con bananos y sombra de leguminosas en Jinotega, Nicaragua. Tesis Mag.SCc. Turrialba, CR, CATIE, 94 p.
- 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.
- Gliessman, SR. 2015. Agroecology. 3 ed. Boca Raton, Fl, CRC Press, 386 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/>.
- 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
- Ramón de Lara, A.; Castro, B.; Castro, M.; Castro, M; Malpica, S. 2003. La importancia de los nemátodos 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>
- Sánchez Moreno, S., Talavera, M. 2013. Los nemátodos 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>
- 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.